

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA
MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE
AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA
FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

LUIS ALFREDO HUACCHILLO DOMINGUEZ

Chiclayo, 22 de diciembre del 2017

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR
LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE
BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION
TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.**

POR:

LUIS ALFREDO HUACCHILLO DOMINGUEZ

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR

**Maximiliano Arroyo Ulloa
PRESIDENTE**

**Sonia Salazar Zegarra
SECRETARIO**

**Joselito Sánchez Pérez
ASESOR**

DEDICATORIA

Primero a Dios, que siempre está presente en mi día a día, dándome su bendición, la fuerza y la luz necesaria para seguir adelante en cada una de las metas que me propongo en la vida.

A mis padres, Marilú Dominguez y Luis Huacchillo, su apoyo y confianza tanto en mi vida profesional como personal valen oro para mí.

A mis hermanos, Kevin, Pierre y Jeisson, por motivarme cada día a ser ejemplo y orgullo para ellos.

A mí mismo, para que en años más adelante recuerde con alegría y entusiasmo como es que con disciplina, pasión y fe, puedo llegar a todo lo que yo me decida alcanzar en esta tan maravillosa vida que se me ha sido dada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer desde lo más profundo de mi corazón a Dios y a mi hermano Jeisson que intercede por mí ante sus ojos, ya que gracias a ellos he recibido la maravillosa bendición y dicha de poder culminar satisfactoriamente mi carrera profesional.

Agradecer a mis padres y a mis hermanos, por su comprensión, cariño, amor, y por darme la oportunidad de haber podido estudiar y vivir esta hermosa carrera, además de su sacrificio y ayuda mostrada en el día a día para poder continuar sin desistir.

A una excelente persona, mi asesor, el ingeniero Joselito Sánchez Pérez, quien me dio la oportunidad de realizar la presente tesis. Por su apoyo, paciencia, consejos y oportunidades brindadas a lo largo de mi etapa de formación profesional, motivándome siempre a seguir aprendiendo más de este maravilloso campo de la automatización, diseño y manufactura.

A todos los colaboradores de la empresa Fabrication Technology Company, en especial al señor Segundo y el señor Jorge, por brindarme las facilidades para el desarrollo de la presente tesis.

A todos los ingenieros, docentes y amigos que me escucharon y aconsejaron a lo largo de mi vida universitaria en todo lo que pudieron.

Muchas gracias. Este trabajo es por y para ustedes.

ÍNDICE

CARATULA	i
CARATULA CON JURADO	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN Y PALABRAS CLAVES.....	x
ABSTRACT AND KEY WORDS	xi
I. INTRODUCCIÓN	12
II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA	13
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	13
2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	15
2.2.1 Manufactura.....	15
2.2.2 Avellanado.....	16
2.2.3 Automatización Industrial	17
2.2.4 Controlador Lógico Programable	18
2.2.5 Electroneumática	21
2.2.6 Instrumentación para sistemas automatizados.....	22
2.2.7 Procesos desde el punto de vista de la automatización	27
2.2.8 Sistemas de lazo abierto y cerrado	29
2.2.9 Diseño asistido por computadora	31
2.2.10 Productividad e indicadores.....	31
2.2.11 Diagrama hombre máquina	33
2.2.12 Diagrama de espina de pescado.....	34
2.2.13 Estudio de tiempos	35
III. RESULTADOS	38
3.1 DIÁGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA	38
3.1.1 La empresa.....	38
3.1.2 Descripción del sistema de producción	40
3.2.2.1 Productos	40
3.2.2.2 Materiales e insumos	42
3.2.2.3 Proceso de producción.....	43
3.1.3 Diagnóstico por causas	48
3.2 DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORAS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO	75

3.2.1 Concepto general del diseño.....	75
3.2.1.1 Soporte general.....	80
3.2.1.2 Avance de brocas avellanadoras.....	84
3.2.1.3 Alimentación, posición y retiro de piezas	105
3.2.1.4 Sistema eléctrico y de control.....	113
3.2.2 Nuevos indicadores	134
3.2.3 Cuadro comparativo de indicadores	138
3.3 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	140
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	148
4.1 CONCLUSIONES.....	148
4.2 RECOMENDACIONES	148
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
VI. ANEXOS.....	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Maquinaria de la empresa.....	44
Tabla 2. Unidades reprocesadas promedio	51
Tabla 3. Observaciones de tiempos por tarea en segundos	54
Tabla 4. Cálculo de tiempo normal	56
Tabla 5. Costo por piezas reprocesadas	57
Tabla 6. Cálculo de tiempo estándar	59
Tabla 7. Cálculo de productividad de mano de obra	62
Tabla 8. Pedidos no atendidos de bujes y bocinas.....	68
Tabla 9. Utilidad no percibida de bocinas con pestaña 2016	70
Tabla 10. Ficha técnica taladro.....	71
Tabla 11. Causas con sus impactos económicos	73
Tabla 12. Causas con indicadores hallados	74
Tabla 13. Lista de materiales para soporte general	80
Tabla 14. Lista de materiales para subsistema de avance de broca.....	88
Tabla 15. Ficha técnica Guía Lineal (Conjunto raíl y rodamiento lineal).....	91
Tabla 16. Ficha técnica motor	95
Tabla 17. Características chumacera 20 mm	98
Tabla 18. Características portabrocas 16 mm.....	99
Tabla 19. Características de broca avellanadora	99
Tabla 20. Características actuador neumático	103
Tabla 21. Características sensor inductivo	105
Tabla 22. Lista de materiales para subsistema de.....	108
Tabla 23. Entradas digitales en el PLC.....	125
Tabla 24. Salidas digitales en el PLC	126
Tabla 25. Leyenda de variables en programación	131
Tabla 26. Demanda atendida de bujes y bocinas.....	136
Tabla 27. Capacidad ociosa del sistema automatizado.....	138
Tabla 28. Comparación indicadores para el proceso de avellanado.....	139
Tabla 29. Coste del sistema propuesto	141
Tabla 30. Demanda proyectada con sistema automatizado.....	143
Tabla 31. Demanda proyectada sin sistema automatizado	144
Tabla 32. Beneficio por incremento de ventas	145
Tabla 33. Flujo de caja de la propuesta	146
Tabla 33. Período de recuperación	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los procesos de manufactura	16
Figura 2. Proceso de avellanado	17
Figura 3. Avellanador cónico HSS de 90°	17
Figura 4. Pirámide la automatización.	18
Figura 5. Aplicación conceptual PLC.....	19
Figura 6. PLC Twido serie TWDLCAE40DRF	20
Figura 7. Ventajas de la neumática.....	21
Figura 8. Símbolo y funcionamiento de un actuador de doble efecto	22
Figura 9. Motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla	23
Figura 10. Variadores de velocidad Altivar código ATV12H075M2.	24
Figura 11. Tipos de sensores	25
Figura 12. Representación simbólica de sensores utilizados.....	26
Figura 13. Diversas configuraciones de botoneras industriales	26
Figura 14. Simbología y configuración de interruptores de un relevador	27
Figura 15. Clasificación de procesos	27
Figura 16. Concepto gráfico de sistema	29
Figura 17. Sistema a lazo abierto	30
Figura 18. Sistema a lazo cerrado.....	30
Figura 19. Ejemplo de diagrama hombre máquina.....	34
Figura 20. Ejemplo de diagrama de pescado	35
Figura 21. Sistema de Westinghouse.....	37
Figura 22. Organigrama de la empresa en estudio	39
Figura 23. Líneas de producción	41
Figura 24. Bocina con pestaña de 22,5 mm.....	42
Figura 25. Buje de 3/8	42
Figura 26. Forma de trabajo de la empresa en estudio.	45
Figura 27. Diagrama de flujo en bloques elaboración de bocinas.....	46
Figura 28. Diagrama pictórico elaboración de bocinas con pestaña.	46
Figura 29. Diagrama de flujo en bloques elaboración de bujes	47
Figura 30. Diagrama pictórico elaboración de bujes.....	48
Figura 31. Diagrama de Ishikawa baja productividad.....	49
Figura 32. Proceso de avellanado	50
Figura 33. Flujograma del proceso de avellanado.....	58
Figura 34. Diagrama hombre máquina del proceso actual de avellanado	60
Figura 35. Productividad de mano de obra.....	62
Figura 36. Colaborador avellanando	63
Figura 37. Esquema flujo estación de avellanado.	64
Figura 38. Diagrama de Análisis de Proceso Bocinas con pestaña	65
Figura 39. Diagrama de análisis de proceso Bujes	66
Figura 40. Proceso de avellanado actual (Forma vertical)	75
Figura 41. Proceso de avellanado propuesto (Forma horizontal).....	76
Figura 42. Concepto general de diseño - vista trimétrica	78
Figura 43. Vista trimétrica del diseño – Renderizado generado en Solidworks	79
Figura 44. Vistas subsistema de soporte general	81
Figura 45. Vista explosionada soporte general.....	82
Figura 46. Guía lineal: Carro (Rodamiento lineal) y Raíl	84
Figura 47. Funcionamiento de guía lineal	85

Figura 48. Vistas subsistema de avance de brocas	86
Figura 49. Vistas explosionada avance de brocas	87
Figura 50. Guía lineal SKF y su diseño CAD	90
Figura 51. Disposición en X	90
Figura 52. Par motor 0,5 HP	95
Figura 53. Motor WEG y su diseño CAD	96
Figura 54. Acople de broca avellanadora	98
Figura 55. Chumacera de piso 17 mm SKF y su diseño CAD	99
Figura 56. Portabrocas industrial y su diseño CAD	100
Figura 57. Avellanador y su diseño CAD.....	100
Figura 58. Actuador neumático y versión CAD	103
Figura 59. Concepto de calibración de avance de broca avellanadora.....	104
Figura 60. Vistas subsistema de alimentación, posición y retiro de piezas.....	106
Figura 61. Vista explosionada subsistema de alimentación, posición y retiro de piezas	107
Figura 62. Posición y retiro de piezas	110
Figura 63. Contenedor y su versión CAD	111
Figura 64. Plano eléctrico y neumático	114
Figura 65. Altivar ATV 312H037N4	116
Figura 66. Datos Motor trifásico WEG W22 IE3 0,5 HP.....	117
Figura 67. Interruptor C60N 24350.....	120
Figura 68. Interruptor C60N 24337	121
Figura 69. Guardamotor GV2ME06.....	121
Figura 70. Fuente de alimentación ABL 8REM24050.....	122
Figura 71. Pulsador rojo XB7NA42	123
Figura 72. Pulsador verde XB7NA31	123
Figura 73. Pulsador emergencia XA2ES542.....	123
Figura 74. Controlador lógico programable Modicon TM241CE40R.....	124
Figura 75. Variables del proceso automatizado.....	125
Figura 76. Diagrama de movimientos del proceso automatizado de avellanado de bujes y bocinas.....	127
Figura 77. Identificación de entradas y salidas.....	128
Figura 78. So Machine	129
Figura 79. Programación lenguaje ladder proceso automatizado de avellanado.....	131
Figura 80. Diagrama hombre máquina del proceso de.....	134
Figura 81. Nuevo flujo de producción estación de avellanado.....	137
Figura 82. Empresas donde se cotizó el proyecto	140
Figura 83. Tendencia de la demanda	143

RESUMEN Y PALABRAS CLAVES

El presente proyecto de investigación se centra en la empresa metalmecánica Fabrication Technology Company S.A.C., dedicada a la producción y comercialización de repuestos de mototaxis en el departamento de Lambayeque. Dos de las piezas que fabrica son los bujes y las bocinas, ambas con una gran demanda en el mercado aún no atendida en su totalidad, y con un proceso de manufactura en común llamado avellanado, el cual presenta una baja productividad debido a los errores constantes del operario al avellanar, a la saturación del operario durante el proceso de avellanado y a la baja capacidad de maquinaria para avellanar piezas, generando así un impacto económico anual de 94 148,6 soles sobre la empresa. Frente a estos inconvenientes se presenta la siguiente pregunta, ¿un sistema automatizado mejorará la productividad del proceso de avellanado de bujes y bocinas en la empresa Fabrication Technology Company S.A.C.?

Se logró diseñar el sistema automatizado en el software Solidworks, los planos eléctricos y neumáticos del sistema y la programación del PLC Modicon 241 en el software So Machine. Con el avellanado automatizado de bujes y bocinas, mejoraron los indicadores, teniendo como resultado que el 100% de las piezas que entran al proceso son avellanadas sin reprocesos; que el porcentaje de saturación del operario se redujo sustancialmente de 100% a 25%, que la productividad de mano de obra aumentó en un 193,4% comparado al proceso manual y que se logró atender a la demanda insatisfecha que se incurría por la ausencia de un sistema automatizado en la línea de bocinas con pestaña. Se determinó que el proyecto tendrá una inversión total de S/. 22 257,80, con una tasa interna de retorno del 246%, un valor neto actual de S/. 198.998,33 a un plazo de 5 años y un período de recuperación de 146 días, siendo un proyecto muy viable y rentable para la empresa en estudio.

Palabras clave: Automatización industrial, avellanado, productividad, PLC, So Machine, bujes, bocinas.

ABSTRACT AND KEY WORDS

This research project focuses on the company Fabrication Technology Company S.A.C., dedicated to the production and sales of motorcycle parts in Lambayeque, Peru. Two of the pieces the company produces are “bocinas” and “bujes”, both with a great demand in the market still not attended in its totality, and with a common manufacturing process called countersinking, which presents a low productivity due to the constant errors of the operator, the saturation of the operator during the countersinking process and the low capacity of machinery for countersunk parts, thus generating an annual economic impact of S /. 94 148,60n the company. Faced with these problems, the following problems arise: Will an automated system improves the productivity of the countersinking process of “bujes” and “bocinas” Fabrication Technology Company S.A.C.?

The design of the automated system was presented in Solidworks, the electric and pneumatics plans were presented and also the programming of the PLC Modicon241 was presented in So Machine software. With the automated countersinking of the “bujes” and “bocinas”, the indicators were improved, with the result that 100% of the pieces that enter the process are countersunked without reprocessing; the percentage of saturation of the operator was reduced substantially (from 100% to 25%), that labor productivity increased by 193.4% compared to the manual process and that was managed to meet the unmet demand that was incurred by the absence of an automated system in the line of “bocinas” It was determined that the project will have a total investment of S /. 22 257.80, with an internal rate of return of 246%, a current net value of S /. 198,998.33 for a period of 5 years and a recovery period of 146 days, being a very viable and profitable project for the company under study.

Key words: Industrial automation, countersinking, productivity, PLC, So Machine, bocinas, bujes.

I. INTRODUCCIÓN

Según el Comité Metalmeccánico de la Sociedad Nacional de Industrias, el rubro de la metalmeccánica ocupa el primer lugar en crecimiento en el 2015, con un 18,2 % en el sector industrial en la región Lambayeque. Dicha organización afirmó, además, que existe una mayor apertura en el mercado de la metalmeccánica, pues en la región se encuentra presente la agroindustria, así como la confección de carrocerías para mototaxis. (Comité Metalmeccánico de la SIN, 2015).

El 65,5% de las empresas en el país realizan actividades de innovación, con el fin de aprovechar una demanda insatisfecha del mercado, obtener mayor ventaja competitiva y aprovechar ideas generadas al interior de la empresa. (Ministerio de la producción, 2012) Para que las empresas mantengan una alta calidad a precios bajos se necesita tal innovación, reflejada en el uso de tecnologías de vanguardia y de precisión fiable en el producto terminado, y teniendo como principal opción a la automatización de sus procesos.

La automatización en la industria ha pasado de ser una herramienta de trabajo deseable a una herramienta indispensable para competir en el mercado globalizado, ya que nos puede conducir a obtener productos de mejor calidad, reducir tiempos de producción, mejorar la productividad, simplificar el trabajo, reducir desperdicios, evitar re-procesos y sobre todo aumentar la rentabilidad (Ruedas, 2008).

Fabrication Technology Company S.A.C., es una empresa del rubro metalmeccánico que inició sus operaciones desde el año 2012 en el populoso distrito de José Leonardo Ortiz, departamento de Lambayeque. Desde sus inicios se dedicó a la producción y comercialización de repuestos de mototaxis hacia las principales ciudades del norte del Perú. Dos de las piezas que fabrica son los bujes y las bocinas, ambas con una gran demanda en el mercado aún no atendida en su totalidad, y con un proceso de manufactura en común llamado avellanado, el cual consiste en realizar un agujero escalonado en el interior de otro agujero, en forma de cono. Este proceso se realiza en un taladro columna de forma manual con la ayuda de una broca de tipo avellanador.

El proceso de avellanado de bujes y bocinas actual presenta una baja productividad debido a diferentes causas lo cual genera grandes pérdidas económicas en la empresa anualmente, por lo que nace la siguiente pregunta ¿un sistema automatizado mejorará la productividad del proceso de avellanado de bujes y bocinas en la empresa Fabrication Technology Company S.A.C.?

Es por ello que se tiene como principal objetivo en el presente trabajo de investigación diseñar un sistema automatizado para mejorar la productividad del proceso de avellanado de bujes y bocinas en la empresa en estudio. Para cumplir con este objetivo, se diagnosticará la situación actual del proceso de avellanado, se propondrá el diseño automatizado para la mejora de la productividad a través de diferentes softwares de ingeniería, detallando y justificando los elementos que componen el sistema y finalmente se realizará el análisis costo beneficio de proyecto.

El sistema automatizado presentado, será capaz de avellanar bujes o bocinas con

pestaña, en todas sus medidas, en un tiempo menor al actual, controlando el proceso mediante PLC, logrando así aumentar la productividad del proceso, y como consecuencia obtener productos de mejor calidad, simplificar y mejorar las condiciones de trabajo para el colaborador, reducir desperdicios, evitar reprocesos y finalmente aumentar la rentabilidad en la empresa.

II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Patel et al. (2016), in the article “Design and fabrication of Semi-Automatic Hydraulic Blanking Maching using PLC” shows that nowadays automation is prime requirement in industry. Hydraulic system, PLC, controller are crucial components of any automation. Machining attributes a major channel of finish goods. Accuracy and precision are prime requirement for each machine tool. CNC turning centres, VMC and CNC grinding are available in market. Most the blanking machines available in market are either mechanical of manual hydraulic. Here attempt is made to semi automate the blanking machine using PLC and hydraulic system.

Según Patel et al. (2016), en el artículo “Diseño y fabricación de una máquina punzonadora hidráulica semi automática utilizando PLC”, comentaron que actualmente en el mercado existen diferentes máquinas automatizadas para el mecanizado de piezas como los CNC, pero en lo que se refiere al proceso de punzonado, únicamente existen máquinas punzonadoras totalmente manuales, por lo que el presente proyecto tuvo como objetivo diseñar una máquina punzonadora a través de control por PLC y de un sistema hidráulico. La metodología consistió en primer lugar en mostrar que actualmente la automatización es un requisito primordial en las industrias y que en el mecanizado de piezas la precisión y el acabado es de vital importancia para garantizar un buen proceso. A continuación, se procedió a elegir los componentes esenciales para la máquina como el depósito hidráulico, filtros, válvulas de control de dirección, actuadores hidráulicos, válvulas de control de flujo, sensores de proximidad y PLC. Se presentó el circuito hidráulico y la programación del PLC propuesta, así como la explicación el funcionamiento de la máquina. Como resultado se obtuvo una máquina punzonadora automática con grandes ventajas en comparación a las mecánicas como la posibilidad de controlar la velocidad de punzonado, de sujetar las piezas de una manera automática y la presencia de un equipo con un mejor consumo de energía.

Patel y Sheth (2014), in the article “Design of Semi-automatic Slotter Machine using PLC” shows that nowadays automation is prime requirement in industry. Hydraulic system, PLC, controller are key components of any automation. Machining attributes a major channel of finish goods. CNC turning centres, VMC and CNC grinding are available in the market but a retro fitting of Slotter machine is prime requirement as it is not readily available. So here attempt is to made to semi automate the Slotter machine using PLC and hydraulic system.

Según Patel y Sheth (2014), en el artículo “Diseño de una máquina ranuradora semi automática utilizando PLC” comentaron que actualmente en el mercado existen diferentes máquinas automatizadas para el trabajo de mecanizado de piezas como los CNC, pero en lo que se refiere a máquinas para ranurar aún no existen actualmente máquinas automáticas en venta, por lo que el presente proyecto tuvo como objetivo diseñar una máquina ranuradora a través de control por PLC y un sistema hidráulico. Para el diseño del equipo se procedió a elegir los componentes esenciales como el depósito hidráulico, filtros, válvulas de control de dirección, actuadores hidráulicos, válvulas de control de flujo, sensores de proximidad y PLC. Se presentó el circuito hidráulico y la programación del PLC propuesta, así como la explicación el funcionamiento de la máquina. Como resultado se obtuvo una máquina ranuradora con grandes ventajas en comparación a las ranuradoras convencionales como una mayor precisión en la longitud de carrera del vástago que ranura, la posibilidad de controlar y variar la velocidad de corte y un equipo con un mejor consumo de energía.

Según Reguis (2014), en el artículo “Automatización de una sierra ingletadora para la fabricación de disipadores de calor modelo TUC37644-2”, presentó la automatización del proceso de corte con la sierra ingletadora, dentro del proceso de manufactura de disipadores de calor para televisores modelo TUC37644-2. La metodología utilizada se basó en primer lugar en identificar el problema, para luego realizar los cálculos necesarios para el desarrollo del sistema automatizado, como el parámetro de corte de la sierra ingletadora, así como cálculos del mecanismo biela-manivela. A continuación, se realizó el diseño CAD, así como la elección de los principales componentes del sistema como el motor –reductor, variador de frecuencia, cilindros neumáticos, electroválvulas y PLC. Con los planos del equipo y los elementos ya identificados se comenzó la manufactura de la máquina automatizada. Como principal resultado se tuvo un aumento de la producción de los disipadores de calor, incrementado de 50 400 perfiles mensuales a 63 000 perfiles mensuales, logrando así cumplir con los pedidos de los clientes, lo cual conllevó a obtener mayores ganancias.

Según Álvarez y Martínez, en el artículo “Diseño de un sistema para despaletizar botellas”, tuvieron como objetivo diseñar un sistema despaletizador de botellas de cerveza con el fin de abastecer la demanda del mercado nacional, en una empresa de la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Se comentó que el principal problema de comprar una máquina en el exterior son los altos costos tanto en la importación como en el mantenimiento, ya que las piezas son importadas y se requiere de mucho tiempo. Es por ello que se construyó un despaletizador sencillo, fácil de operar, aprovechando materiales, partes y elementos que se pueden encontrar en el medio para de esa manera reducir los costos de importación y ayudar al crecimiento de la industria en el país de Ecuador. La metodología a seguir consistió en el planteamiento del diseño a través de un software CAD, en donde se muestra la estructura tanto como el movimiento de ella mediante poleas, engranes y cojinetes. Como resultado se obtuvo un sistema capaz de recibir 45 000 botellas por hora y una máquina que es capaz de recibir botellas ordenadas en pallets, de elevar el pallet, barrer las botellas y finalmente recorrer el pallet vacío. Se comenta, además, que el trabajo es realizado íntegramente por personal ecuatoriano, aportando al desarrollo del país a través de la generación de nuevas fuentes de trabajo.

Según Moreno et al. (2012), en el artículo “Un prototipo mecánico para la automatización del proceso de selección del mango tipo exportación”, presentaron el diseño de un prototipo mecánico para automatizar el proceso de clasificación del mango de azúcar (*Mangifera indica*) tipo exportación, en una empresa colombiana. El principal problema que se diagnosticó para proponer la mejora fue por el tratamiento manual que recibía el mango en cada una de las etapas previas a su comercialización. La metodología para el logro del objetivo consistió en el diseño de un sistema automatizado que consistía en un sistema de bandas que permitían la rotación automática del mango para que con un sistema de adquisición capture diferentes caras del fruto. Las imágenes obtenidas se analizaron mediante técnicas computacionales que permitieron obtener una aproximación tridimensional, lo que permitió la estimación del volumen de cada fruto. Definido cada calibre, el sistema activaba en tiempo real un clasificador mecánico que selecciona el fruto de acuerdo a las características estimada desde las imágenes. Para lograrlo se tuvo especial interés en identificar y describir los principales componentes electromecánicos, así como las diferentes técnicas para la estimación de características del mango basados en literaturas útiles para la incorporación en el modelo. Se llegó a la conclusión de que el prototipo mostró una precisión superior del 90%, de los 150 mangos 136 fueron clasificados correctamente; reemplazando de manera efectiva a la inspección física realizada por humanos y superando las limitaciones que esta presentaba respecto a la precisión, tiempo y número de personas necesarias para tratar un grupo considerables de frutas.

2.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1 Manufactura

El término manufactura se deriva de las palabras latinas *manus* (mano) y *factum* (hacer), que significa hecho a mano. Este término describe adecuadamente los métodos manuales que se utilizaban cuando se acuñó la expresión. En el contexto tecnológico que se vive actualmente, manufactura se refiere a la aplicación de procesos físicos y químicos por los cuales se alteran la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio para fabricar piezas o productos. A dichos procesos se les conoce como procesos de manufactura, e implican una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual. (Hernández y Mendoza 2015, 23)

En la figura 1 se muestra la clasificación de los procesos de manufactura.

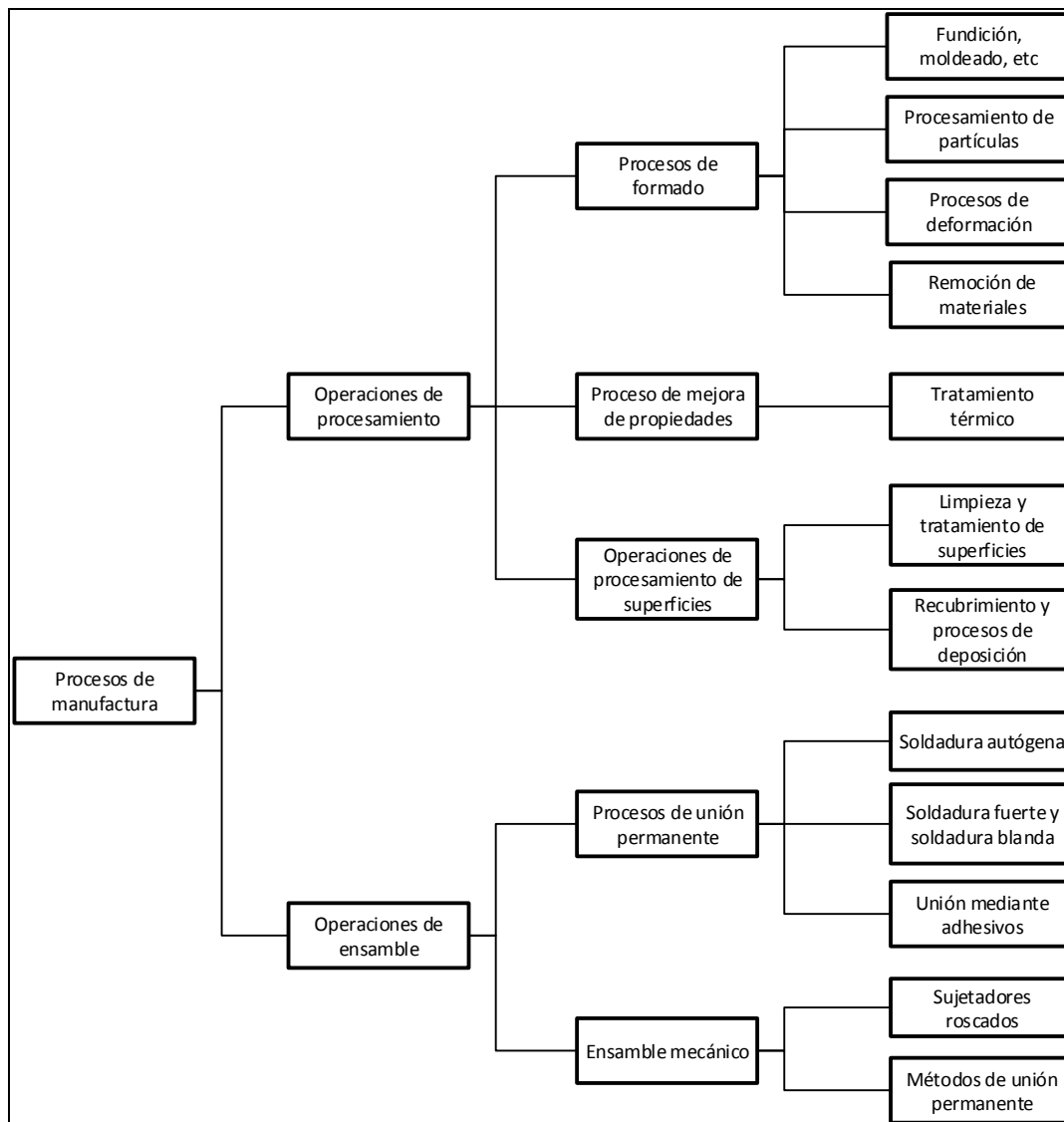


Figura 1. Clasificación de los procesos de manufactura

Fuente: Groover (2014)

2.2.2 Avellanado

El avellanado es un proceso de manufactura el cual consiste en realizar un agujero escalonado en el interior de otro agujero, en forma de cono. Este proceso se realiza en un taladro con la ayuda de una broca de tipo avellanador. La broca avellanadora está diseñada específicamente para quitar material y formar la cavidad requerida, y la intención en su diseño incluye la velocidad con el que material ha de ser retirado, la dureza del material y demás cualidades características del mismo. (Groover 2014, 361-362)

En la figura 2 se muestra el proceso de avellanado y en la figura 3 se muestra una broca de tipo avellanadora.

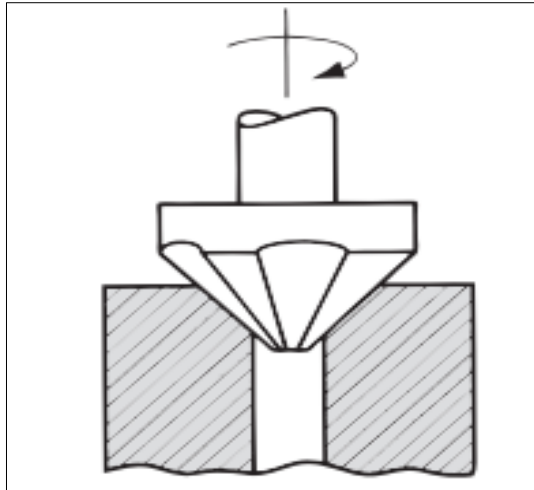


Figura 2. Proceso de avellanado
Fuente: Groover (2014)



Figura 3. Avellanador cónico HSS de 90°
Fuente: Alpen Drills

2.2.3 Automatización Industrial

La automatización industrial es un conjunto de tecnologías que, agrupadas en forma secuencial, logran alternativas de desarrollo para cualquier tipo de industrias. Automatizar significa optimizar las condiciones de calidad, seguridad y producción. Requiere el diseño como base principal de desarrollo y para crear el modelo virtual de cualquier parte del proceso. (Hernández y Mendoza 2015, 63)

El conjunto de tecnologías mencionadas anteriormente, se resumen en la pirámide de la automatización, la cual muestra la evolución de la manufactura moderna, partiendo de una base sólida hasta las nuevas tendencias del desarrollo tecnológico en el rubro de la automatización industrial.

En la figura 4 se muestra la pirámide de la automatización.

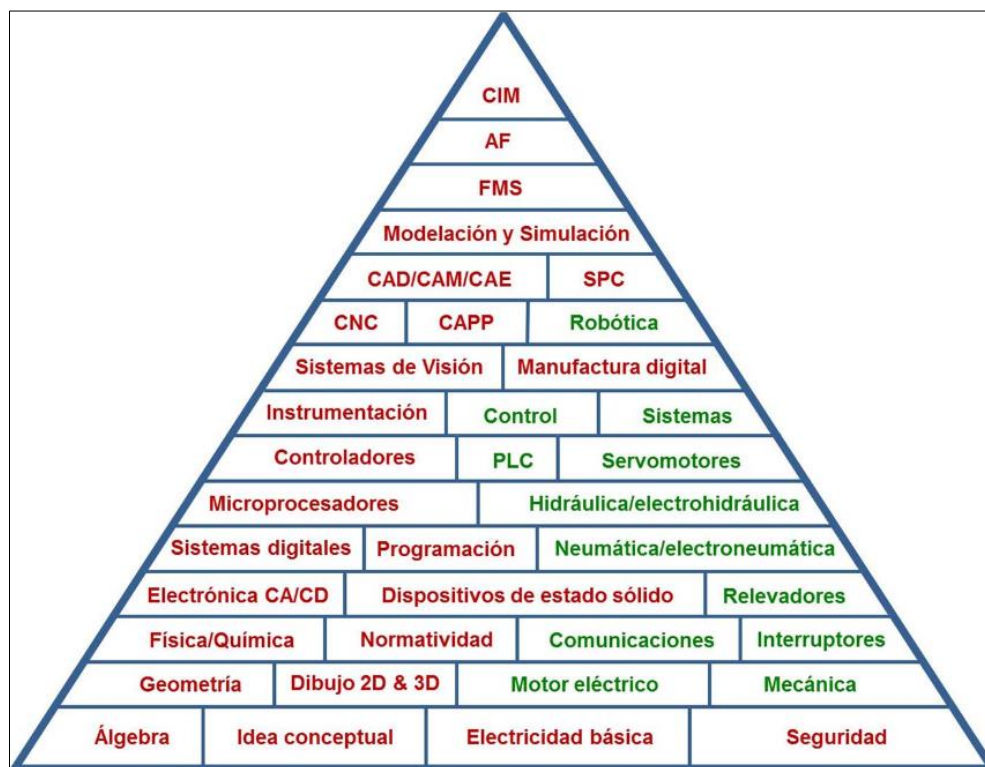


Figura 4. Pirámide la automatización.

Fuente: Hernández y Mendoza (2015).

Cada nivel de la pirámide recibe información del anterior y emite información al siguiente, desde la base hasta la punta. Muchos elementos de la pirámide de la automatización tienen gran importancia para el desarrollo de la presente tesis, los cuales se irán detallando y explicando en las siguientes páginas.

2.2.4 Controlador Lógico Programable

Conocido también por PLC debido a sus siglas en inglés (Programmable Logic Controller). Los PLC son los dispositivos electrónicos más usados y óptimos para cualquier solución de automatización en cualquier proceso industrial.

Los PLC operan mediante el procesamiento de señales de entrada y salida; considerándose entradas todo tipo de sensores (interruptores, temperatura, posición, velocidad, luz, etc) y como salidas de muchos tipos de actuadores: motores, válvulas

electro neumáticas, indicadores luminosos y sonoros, etc; con el fin de controlar máquinas industriales y procesos. (Hernández y Mendoza 2015, 298-299)

En la figura 5 se muestra el concepto de funcionamiento del PLC

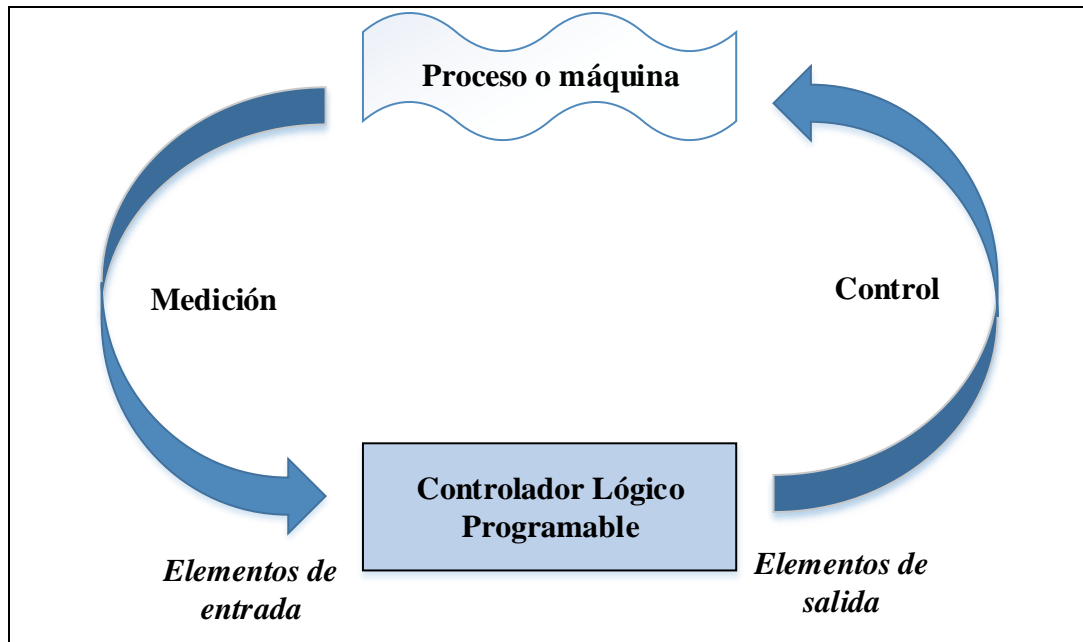


Figura 5. Aplicación conceptual PLC

Fuente: Bryan y Bryan (1997)

Los PLC, son procesadores digitales secuenciales programables que actúan sobre las variables de salida mediante la ejecución de una secuencia de instrucciones. En la actualidad los PLC cuentan con una unidad central de procesamiento (CPU) y son capaces de realizar operaciones aritméticas y lógicas. Además, tienen una memoria interna para almacenar el programa y datos de control.

Pueden trabajar con señales digitales y analógicas. Las conexiones de las entradas y salidas de los PLC están aisladas del interior del equipo, ya sea con relevadores o con acopladores ópticos. Esto permite conectar todo tipo de sensores de corriente alterna o directa sin necesidad de circuitos adicionales. (Hernández y Mendoza 2015, 298-299)

Las principales ventajas de los PLC son:

- Rápidos y fáciles de programar.
- Poseen operaciones aritméticas, de conteo y temporizadores.
- Son modulares, es decir, que se pueden incrementar el número y tipo de entradas y salidas que manejan.
- Construcción robusta para ambiente industrial.
- Gran velocidad de procesamiento de información.

Desde su inserción al mercado, el PLC ha sido satisfactoriamente aplicado en cada segmento de la industria, incluyendo el mecanizado de acero, plantas de papel, plantas de procesamiento de alimentos, plantas químicas y plantas de producción de energía.

En la figura 6 se muestra un PLC de la marca Schneider, serie TWIDO.

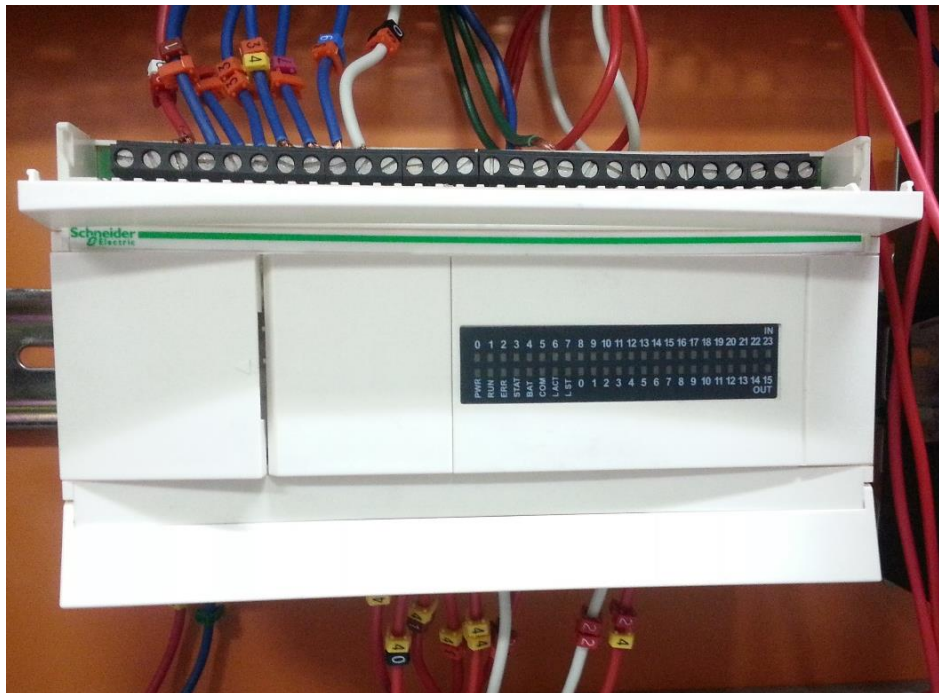


Figura 6. PLC Twido serie TWDLCAE40DRF

Fuente: Laboratorio procesos industriales USAT

Las formas de programar un PLC son variadas. La primera y más antigua es por lógica de escalera y lógica de contactos. Otra es por medios de mnemónicos, que son líneas de código de pocas letras para acciones específicas. También es posible programar mediante bloques de funciones predefinidas. Inclusive, algunos PLC permiten el uso de diagrama de flujo tipo Grafcet. Cada PLC tiene su propio software de programación, el cual permite la escritura de un programa en las diferentes formas mencionadas. (Hernández y Mendoza 2015, 299)

Tanto como los PLC se han desarrollado y expandido, los lenguajes de programación también lo han hecho a la par. Para la presente investigación, se dará especial énfasis en el lenguaje de escalera, contactos o también llamado ladder. Para programar un PLC con este lenguaje, se debe conocer sus elementos básicos como los temporizadores, contadores, memorias auxiliares, entradas y salidas digitales, contactos de las salidas, entre otros. La facilidad y tiempo de programación dependerá mucho de la habilidad del programador.

2.2.5 Electroneumática

Para definir lo que es electroneumática, debemos conocer primero que es neumática. La neumática es una herramienta tecnológica de gran aplicación industrial, ya que su importancia radica en su rapidez y capacidad al utilizar dispositivos de movimiento lineal y rotatorio.

La neumática industrial se basa en las propiedades del aire comprimido, el cual fluye hacia cada elemento neumático mediante señales de entrada y salida que se traducen en ausencia o presencia de presión. Implementar esta herramienta tecnológica en cualquier proceso de manufactura requiere la preparación, mantenimiento, distribución y consumo de aire comprimido. (Hernández y Mendoza 2015, 243)

El elemento principal de todo sistema neumático es el compresor, el cual genera el aire comprimido.

En la figura 7 se muestran las ventajas de utilizar esta técnica de automatización.

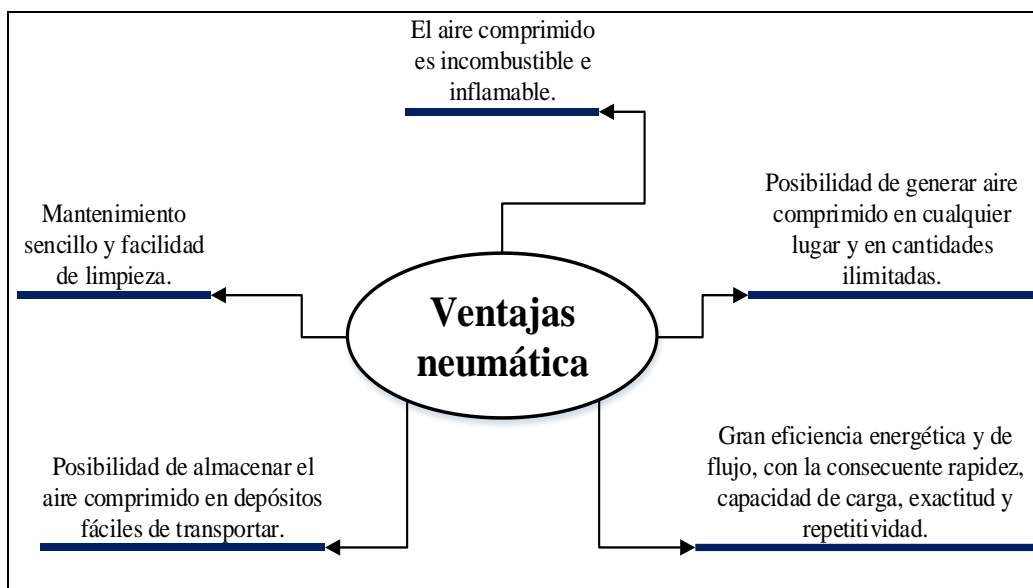


Figura 7. Ventajas de la neumática

Fuente: Hernández y Mendoza (2015).

La electroneumática es la combinación de electricidad más neumática, y surge por la necesidad de estar de acorde a las nuevas tendencias de la automatización, debido a que la neumática por sí sola no es suficiente y no ofrece soluciones a la versatilidad en los procesos que existen. El funcionamiento de la electroneumática depende de la combinación de la neumática para la parte de trabajo y una parte eléctrica para el control. (Hernández y Mendoza 2015, 274)

2.2.6 Instrumentación para sistemas automatizados

Como se comentó anteriormente, tanto la electroneumática y la automatización requieren puntos claves para su implementación, tales como cilindros y motores neumáticos, sensores, convertidores de frecuencia, motores eléctricos y dispositivos de control y seguridad.

- **Cilindros neumáticos:** Abarcan varios tipos, pero para la presente investigación se enfatizará en el cilindro de doble efecto. También conocido actuador de doble efecto, es un diseño mecánico por el cual circula aire comprimido y de acuerdo a ello, ejecuta una tarea específica u operación como ensamblar, pegar, doblar, sostener, etc. Para la siguiente explicación es necesario que mientras lee, se dirija a la figura 8, en donde se muestra el símbolo, así como el funcionamiento de un actuador de doble efecto.

El funcionamiento de un actuador de doble efecto se debe al flujo y presión de aire comprimido en su entrada (posición B en figura 8), que impulsa la base del émbolo para llevar el vástago a su posición de final de carrera; cuando la entrada de aire cambia de posición (posición C en figura 8), el émbolo se impulsa en posición opuesta haciendo que el vástago regrese a su posición inicial de carrera. (Hernández y Mendoza 2015, 245-246)

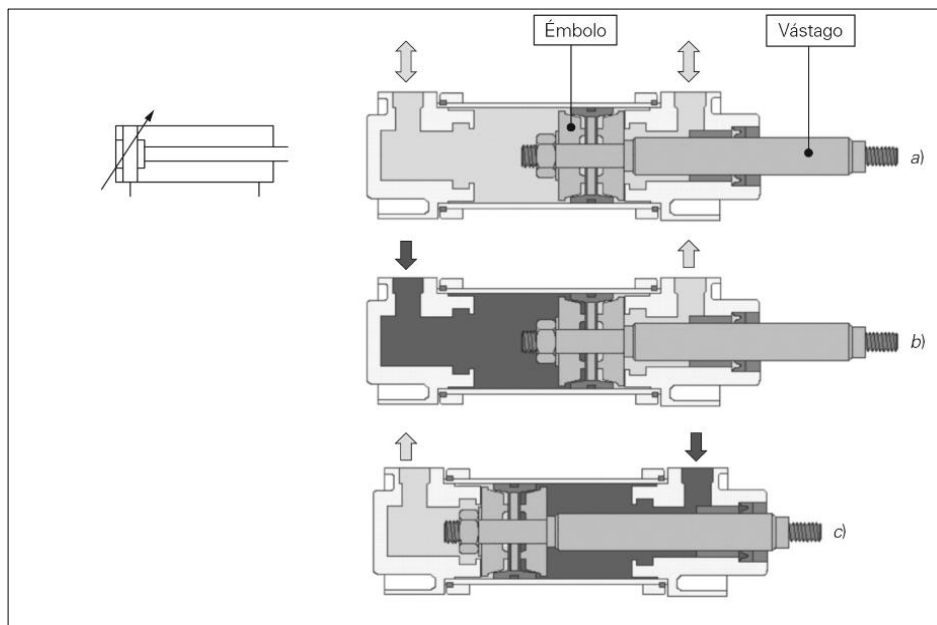


Figura 8. Símbolo y funcionamiento de un actuador de doble efecto

Fuente: Hernández y Mendoza, 2015

- **Motor eléctrico:** Máquina eléctrica que transforma en energía mecánica la energía eléctrica que absorben por sus bornes. Consta de dos elementos principales: el rotor y estator. El campo magnético inducido en el estator, hace girar al rotor del motor convirtiendo así la energía eléctrica en mecánica.

Dependiendo del tipo de corriente se clasifican en motores de corriente continua y alterna, dentro de esta última categoría se encuentran los motores asíncronos y síncronos. Todos los motores de corriente continua, así como los síncronos de corriente alterna tienen una utilización y aplicaciones muy específicas. En cambio, el motor de corriente alterna asíncrono, tanto monofásico como trifásico, es el que tiene una aplicación más generalizada gracias a su facilidad de utilización, poco mantenimiento y bajo coste.

Para controlar la velocidad suele utilizarse un reductor de velocidad, el cual simplemente es acoplado al motor. Cuando el reductor está acoplado al motor, se le conoce generalmente a la nueva unión como motorreductor.

En la figura 9 se muestra un motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla, el cual tiene acoplado un reductor de velocidad.



Figura 9. Motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla
Fuente: Laboratorio de procesos industriales USAT

- **Convertidor de frecuencia:** Conocido también como variador de velocidad o frecuencia. Muy utilizados cuando existe la necesidad de arrancar un motor, variar la velocidad y controlar el par, especialmente en los motores asíncronos trifásicos de jaula de ardilla.

Para definir el equipo más adecuado para resolver una aplicación de variación de velocidad, se debe tener en cuenta aspectos como tipo de carga, tipo de motor, rangos de funcionamiento, par de arranque, condiciones ambientales, consideraciones de la red y de la aplicación. (Schneider Electric)

En la figura 10 se muestra imágenes de variadores de velocidad de la marca Schneider Electric, presentes en el laboratorio de procesos industriales.



Figura 10. Variadores de velocidad Altivar código ATV12H075M2.

Fuente: Laboratorio de Procesos Industriales USAT

▪ **Sensores:** Son elementos que se integran al sistema automáticamente al detectar la presencia de objetos o condiciones de operación en los equipos. La clasificación de los sensores se muestra en la figura 11. El nombre de cada sensor se debe a la acción de su funcionamiento.

Un sensor óptico tiene la capacidad de detectar gran variedad de objetos y en materiales diferentes. Su funcionamiento se basa en la emisión de un rayo de intensidad luminosa que al interferir dentro de su alcance detecta la presencia de un objeto y envía la señal de salida.

Un sensor magnético tiene la capacidad de detectar el campo magnético de los imanes permanentes. Se suelen utilizar en los actuadores neumáticos para la detección de la posición de inicio y fin de carrera.

El sensor inductivo tiene en la mira a todos los metales, desde la detección de su presencia hasta la medición de distancias. Su funcionamiento se basa en la generación de un campo electromagnético.

El sensor capacitivo puede detectar metales, madera, vidrio, papel, líquido, etc, gracias a su campo electrostático, el cual percibe el producto y genera una señal de salida. Por lo común se usan en la medición de niveles de llenado de cualquier líquido. (Hernández y Mendoza 2015, 276-277)

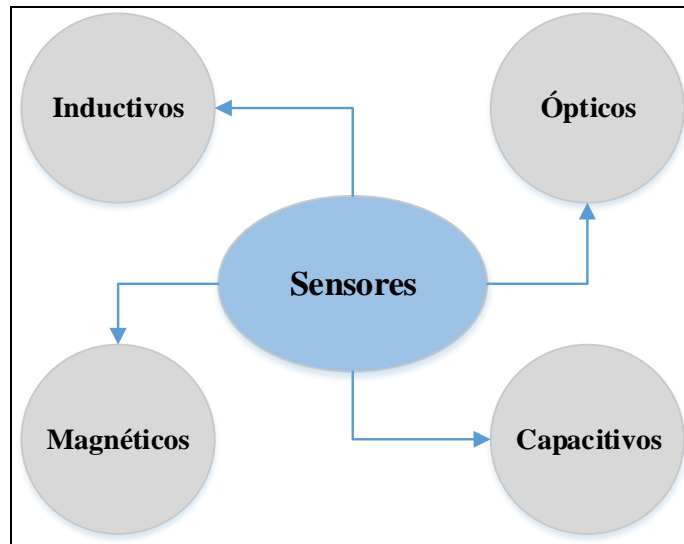


Figura 11. Tipos de sensores

Fuente: Hernández y Mendoza, 2015.

Con estos cuatro sensores se puede obtener muchas posibilidades en el desarrollo de sistemas automáticos. En la figura 12 se muestra la representación simbólica de los principales sensores utilizados en los sistemas automáticos.

- **Otros dispositivos de control y seguridad:** Otros dispositivos que se pueden mencionar son los interruptores y relevadores, los cuales conjugan el paso de la corriente a un sistema lógico de encendido y/o apagado.

Existen diversas configuraciones de interruptores, tanto en su presentación como en su arreglo interno. En muchas ocasiones las botoneras están compuestas por indicadores luminosos, permitiendo así la comprobación del funcionamiento del dispositivo, o bien, incluyen una llave para liberar el interruptor al accionarlo o desbloquearlo. El uso de estos interruptores permite el accionar de un equipo e el paro inmediato si es necesario por cuestiones de seguridad industrial. El diseño de estos dispositivos comprende formas ergonómicas, colores y simbología estandarizada para su fácil interpretación y funcionamiento.

Un relevador es un dispositivo lógico que integra un arreglo por pares de interruptores; normalmente abierto y normalmente cerrado. Su funcionamiento depende de una bobina que al estar energizada invierte el estado de los interruptores. Además, existen relevadores que integran un reloj que retarda la salida de la señal, denominados temporizadores. (Hernández y Mendoza 2015, 275)

En la figura 13 se muestran diversas configuraciones de botoneras industriales. En la figura 14 se muestra la simbología y configuración de interruptores de un relevador, en este caso de un relé de tiempo.

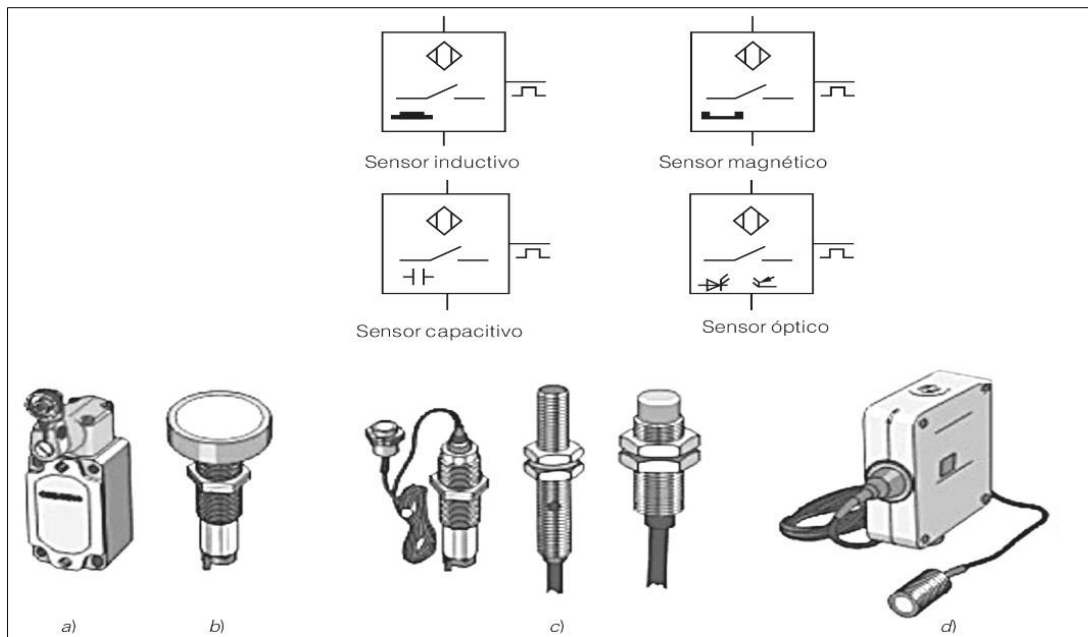


Figura 12. Representación simbólica de sensores utilizados en el desarrollo de sistemas automáticos. a) sensor mecánico de rodillo b) sensor capacitivo c) sensor inductivo d) sensor óptico.

Fuente: Hernández y Mendoza (2015)



Figura 13. Diversas configuraciones de botoneras industriales: a) interruptor de accionamiento manual con enclavamiento NA; b) interruptor de accionamiento manual con enclavamiento NC; c) pulsador de accionamiento NA, y d) pulsador de accionamiento NC

Fuente: Hernández y Mendoza (2015)



Figura 14. Simbología y configuración de interruptores de un relevador
 Fuente: Hernández y Mendoza (2015)

Todos estos dispositivos y configuraciones son necesarias para realizar cualquier operación lógica en un circuito eléctrico.

2.2.7 Procesos desde el punto de vista de la automatización

Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto.

Los procesos industriales se clasifican en procesos continuos, procesos discretos y procesos Batch. (Universidad Politécnica de Cataluña)

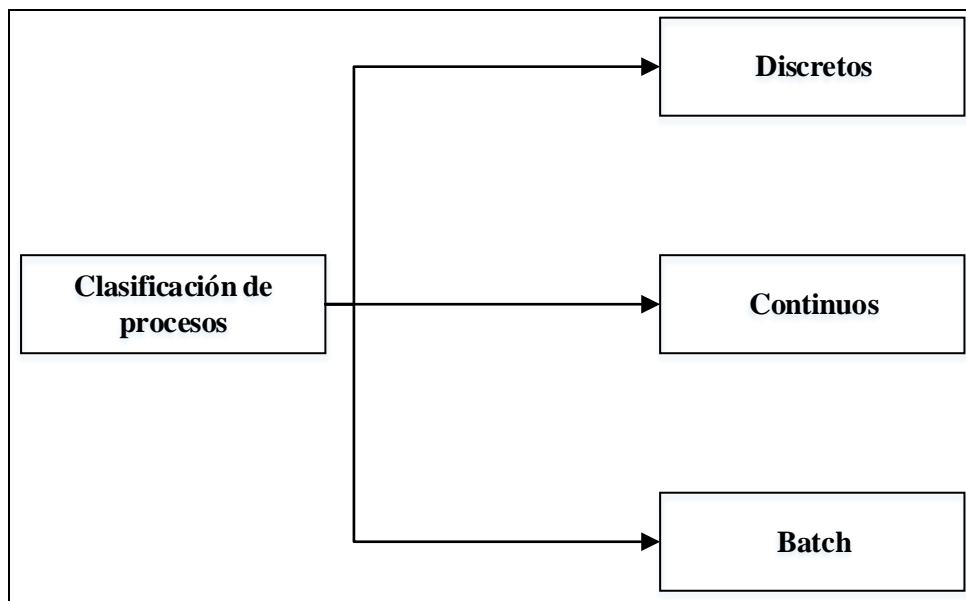


Figura 15. Clasificación de procesos
 Fuente: Universidad Politécnica de Cataluña

a) **Procesos discretos**

Los procesos discretos contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. (Universidad Politécnica de Cataluña)

Los procesos discretos suelen estar emplazados dentro de una secuencia temporal que podremos acelerar o frenar, o incluso parar, sin grandes implicaciones. Por ejemplo, una cinta transportadora de un supermercado o una máquina que fabrique cápsulas de café, serían procesos industriales discretos. En el primer ejemplo, arrancaríamos la cinta dependiendo de si ha llegado un cliente o no, de la cantidad de productos que haya en la cinta transportadora y vayamos despachando o en el segundo ejemplo, si necesito incorporar un tercer turno nocturno de producción o quitarlo. En definitiva, los procesos discretos se pueden parar fácilmente sin consecuencias graves. Por supuesto, en los procesos con automatización discreta también hay magnitudes analógicas, pero las digitales representan un porcentaje mucho más alto.

La automoción y la industria de la máquina de herramienta son dos grandes segmentos y jugadores de la industria con automatización discreta. Pero también lo son la aeronáutica, los computadores y el ensamblaje de componentes, entre otros.

Aquí los productos involucrados suelen ser los PLCs, las Pantallas (HMI), los accionamientos como variadores, servos, servomotores, motores lineales o también los robots industriales, y los paquetes de software para diseño e ingeniería del proceso discreto. (ABB)

b) **Procesos continuos**

Los procesos continuos se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. (Universidad Politécnica de Cataluña)

Por el contrario de un discreto, un proceso continuo no se puede parar fácilmente. De ahí que sea continuo. Una central hidroeléctrica producirá más o menos energía dependiendo del caudal y de las necesidades, pero siempre estará produciendo. Lo mismo sucede con un horno industrial o con una papelera. Esto es debido a que las materias primas que se utilizan en estos procesos (el metal y la pasta de papel en nuestros dos ejemplos), alcanzan un estado al arrancar la producción, que impide que se pueda parar el proceso sin consecuencias negativas, tanto de seguridad para las materias y para las personas, como económicas.

Se denominan continuos porque se suelen manejar magnitudes de tipo continuo y gradual, como son las temperaturas, los flujos, los caudales, las presiones, el nivel, etc. En general, hablamos de magnitudes definidas en formato analógico (infinitos valores). La variable tiempo entra en juego normalmente, en todas ellas (temperatura en función del tiempo, etc.)

Como procesos industriales continuos automatizados, podemos destacar los procesos de petróleo, gas y la generación eléctrica (como puede ser una central hidroeléctrica),

entre otros. Estos procesos continuos se automatizan normalmente con ordenadores industriales, PLCs de alta capacidad, DCS y sistemas de supervisión SCADA. (ABB)

c) **Procesos Batch**

Finalmente, los procesos batch son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza. (Universidad Politécnica de Cataluña)

2.2.8 Sistemas de lazo abierto y cerrado

Un sistema es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo. (Universidad Nacional San Juan)

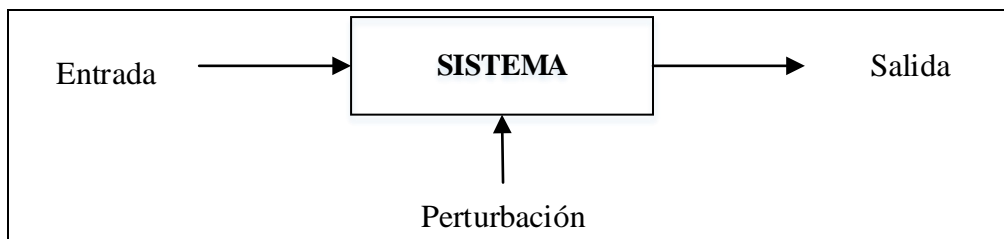


Figura 16. Concepto gráfico de sistema

Fuente: Universidad Nacional San Juan

Donde:

- **Variable de entrada:** Es una variable del sistema tal que una modificación de su magnitud o condición puede alterar el estado del sistema.
- **Variable de salida:** Es una variable del sistema cuya magnitud o condición se mide.
- **Perturbación:** Es una señal que tiende a afectar el valor de la salida de un sistema.

a) **Sistema de control a lazo abierto**

Son sistemas en los cuales la salida no se compara con la entrada de referencia, por lo tanto, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija. La señal de salida no tiene efecto sobre la señal de entrada. (Ver figura 17)

En sistemas de control de lazo abierto los tipos de control más comunes son los de dos posiciones (encendido-apagado), secuencias o acciones conmutadas por tiempo. Como ejemplo podemos encontrar las lavadoras, calefactores, sistemas que operen mediante tiempos y motores. (Universidad Autónoma de Nuevo León)

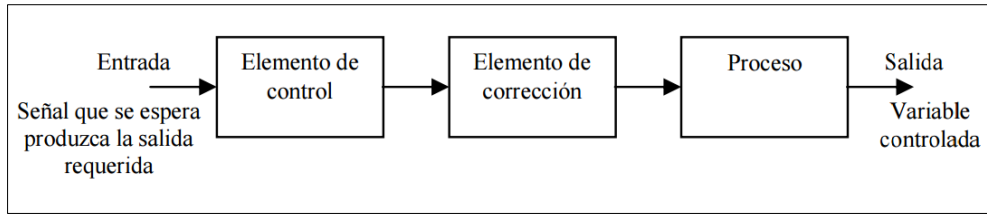


Figura 17. Sistema a lazo abierto

Fuente: Universidad Autónoma de Nuevo León

b) Sistema de control a lazo cerrado

Son sistemas que mantienen una relación prescrita entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control. Lo que se desea es mantener la salida constante a pesar de los cambios en las condiciones de operación. (Ver figura 18)

En sistemas de control de lazo cerrado los tipos de control son a menudo el control de dos posiciones, el control proporcional, el control proporcional más integral, el controlador proporcional más derivativo, el controlador proporcional más integral más derivativo y el controlador lógico difuso. Como ejemplos se tiene el calefactor eléctrico con termostato, el aire acondicionado, el refrigerador, entre otros. (Universidad Autónoma de Nuevo León)

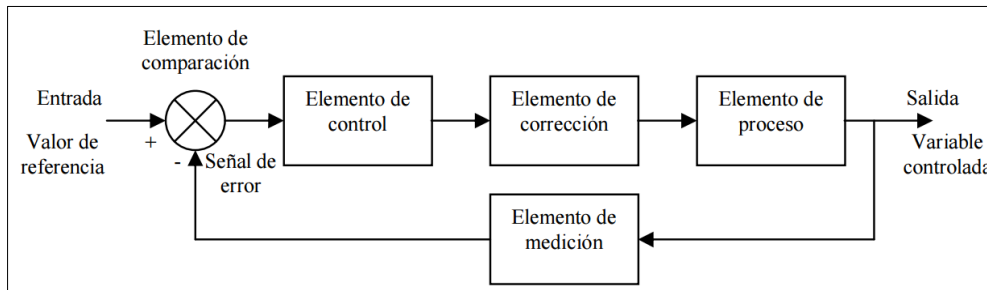


Figura 18. Sistema a lazo cerrado

Fuente: Universidad Autónoma de Nuevo León

En lazo abierto la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea adecuada.

En los sistemas de lazo abierto no existen problemas de estabilidad. Una ventaja del sistema de lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. En lazo cerrado los sistemas pueden presentar problemas de estabilidad al corregir en exceso los errores y producir oscilaciones en su respuesta. (Universidad Autónoma de Nuevo León)

2.2.9 Diseño asistido por computadora

Conocido mayormente como CAD. El diseño asistido por computadora garantiza un modelo de diseño que ya tiene un 90% de éxito y sólo 10% en adecuaciones, y esa es la razón de que el concepto de realidad virtual se presente con tanta fuerza, pues el individuo puede interactuar con una computadora que le proporciona toda la información necesaria, detalles del diseño, como una alternativa en la toma de decisiones, sin que ello implique tener físicamente el objeto. (Hernández y Mendoza 2015, 73)

En el mercado existen diferentes Softwares CAD, de entre los cuales se pueden destacar Inventor, Pro Engineer, CATIA, Solidworks, Solidedge y Siemens NX; los cuales nos permiten el diseño de superficies, generación de planos o dibujos, operaciones de ensamble, renderizado de imágenes, croquis simples, entre otros.

Para el desarrollo de la presente tesis, se utilizará el software Solidworks, debido a que es uno de los más populares, cuenta con un entorno amigable para el usuario y la universidad cuenta con la licencia educacional para su uso. Solidworks definitivamente podrá abarcar sin problemas todos los aspectos para el desarrollo del diseño 2D y 3D del producto.

2.2.10 Productividad e indicadores

La productividad es el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar los objetivos pre determinados. Todo ingeniero industrial, debe tener como objetivo fabricar artículos a un menor costo, a través del empleo eficiente de los recursos primarios de la producción. (Vásquez 2012, 27-28)

Aumentar la productividad de una empresa significa aumentar su rentabilidad. La existencia de indicadores de gestión en un sistema productivo es de vital importancia, ya que gracias a ellos es que se permiten acciones de mejora continua, con el fin de llevar estos indicadores a su valor más óptimo posible.

Los siguientes indicadores son tomados del artículo de Juan Marin García y Julio García Sabater, miembros de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Valencia, titulado “Indicadores Productivos”

▪ FTT (First Time Through – Piezas bien hechas a la primera)

El FTT es el indicador básico de calidad de un proceso, que como su nombre indica nos muestra el porcentaje correcto de piezas que se hacen bien a la primera, sin necesidad de retrabajos adicionales.

El indicador FTT viene expresada por la siguiente ecuación:

$$FTT = \frac{\textit{unidades entrantes} - \textit{scrap} - \textit{piezas retrabajadas}}{\textit{unidades entrantes}}$$

Donde:

- Unidades entrantes: Unidades que entran al proceso de producción.
- Scrap: Piezas resultantes del proceso de producción que ya no tienen ningún valor ni puede ser retrabajadas.
- Piezas retrabajadas: número de piezas que han entrado al proceso y que han tenido que volver a procesarse debido a defectos

Para calcular este indicador en el denominador se pone la cantidad de piezas que ha entrado en el proceso durante la toma de datos (que debe ser la más larga posible).

En el numerador al número entrante se le debe restar aquellas piezas que ya no tienen ningún valor (scrap – desecho – chatarra) y aquellas que han tenido que ser retrabajadas. Se define a las piezas retrabajadas como al número de piezas que han entrado al proceso y que han tenido que volver a procesarse debido a defectos. El trabajo puede ser interno, es decir que se hace durante el mismo proceso sin sacarlo de la máquina o línea, o externo, que se hace en otro lugar o en otro momento.

▪ Rendimiento de volumen

El rendimiento de volumen se calcula como:

$$Rto_{vol} = \frac{\textit{Piezas Reales}}{\textit{Piezas programadas}}$$

Donde:

- Piezas programadas: Son las piezas que según la programación del día debería sacar la máquina. Para este valor lo único que importa es la cantidad de piezas que debería haber sacado.
- Piezas reales: Son las piezas que realmente ha sacado la máquina.

▪ Productividad de mano de obra

Mide el número de unidades producidas por hora de mano de obra trabajada.

$$P_{MO} = \frac{\textit{Piezas fabricadas}}{\textit{Tiempo empleado en la fabricación} \times \textit{número de operarios}}$$

Donde:

- Piezas fabricadas: Producción realizada
- Tiempo empleado en la fabricación: Cantidad de tiempo utilizado para la producción de las piezas fabricadas.
- Número de operarios: Cantidad de operarios requeridos para dicha producción en tal intervalo de tiempo.

La productividad también puede ser medida por la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\textit{Producción obtenida}}{\textit{Cantidad de recurso empleado}}$$

La cantidad de recurso empleado puede referirse a mano de obra, materia prima, maquinaria, energía y capital. (Vásquez 2012, 28). Si el recurso utilizado fuera energía, nos quedaría la siguiente relación:

$$P_E = \frac{\textit{Unidades obtenidas por hora en la máquina X}}{\textit{kWh consumidos en la máquina X}}$$

2.2.11 Diagrama hombre máquina

El diagrama de procesos hombre – máquina se utiliza para estudiar, analizar y mejorar una estación de trabajo a la vez. El diagrama muestra la relación de tiempo exacta entre el ciclo de trabajo de la persona y el ciclo de operación de la máquina. Estos hechos pueden conducir a una utilización más completa del tiempo de trabajador y de la máquina, así como a obtener un mejor balance del ciclo de trabajo.

En razón que los diagramas hombre – máquina se dibujan siempre a escala, en analista debe seleccionar una distancia en centímetros o pulgadas para estar de acuerdo con una unidad de tiempo tal que el diagrama pueda distribuirse adecuadamente. Una vez hecho esto, el diagrama puede empezar a ser dibujado. Antes de construirse, debe realizarse un estudio de tiempos detallado. Los tiempos mostrarán valores que deben representar tiempos estándar que incluyan una tolerancia aceptable para la fatiga, retrasos inevitables y retardos del personal.

El diagrama hombre máquina muestra claramente las áreas en las que ocurre el tiempo ocioso de la máquina y el tiempo ocioso del trabajador. Por lo general, estas áreas son un buen lugar para comenzar a llevar a cabo las mejoras. Además de ello, debe analizar el costo de la máquina ociosa vs el costo del trabajador ocioso para reforzar su decisión y posibles planes de mejora. (Niebel y Freivalds 2009, 40-41)

En la figura 19 se muestra el ejemplo de un diagrama hombre máquina de un operario con 2 máquinas. Como podrá observar, se muestra la relación de tiempo exacto entre el ciclo de trabajo de la persona y el ciclo de operación de la máquina. Los principales indicadores que se pueden extraer de un diagrama hombre máquina son: (Vásquez 2012, 73-74).

- Eficiencia de la máquina

$$E_m = \frac{\text{Tiempo del ciclo de máquina}}{\text{Tiempo total del ciclo}} \times 100$$

- Saturación del operario

$$S_o = \frac{\text{Tiempo de trabajo del hombre}}{\text{Tiempo total del ciclo}} \times 100$$

DIAGRAMA HOMBRE MÁQUINA							
Operación _____				Pag. N° ___ De _____			
Máquina Tipo _____				Fecha _____			
Departamento _____				Realizado por _____			
	Hombre	Tiempo	Máquina 1	Tiempo	Máquina 2	Tiempo	
1							
2							
3	Descarga y carga Maq2	5'	Descarga y carga Maq2	5'			
4							
5							
6	Camino a Maq. 2	1'					
7	Limpio la pieza de W	1'					
8							
9			Maquinado 1	6'			
10	Descarga y carga Maq2	5'			Descarga y carga Maq2	5'	
11							
12							
13	Camino a Maq. 1	1'	Tiempo muerto	3'			
14	Limpio la pieza de W	1'					
15							
16					Maquinado 2	7'	
17	Descarga y carga Maq1	5'	Descarga y carga Maq1	5'			
18							
19							

Figura 19. Ejemplo de diagrama hombre máquina

Fuente: Vásquez (2012)

2.2.12 Diagrama de espina de pescado

También conocido como diagrama causa – efecto, fueron desarrollados por Ishikawa a principio de los años cincuenta mientras trabajaba en un proyecto de control de calidad para Kawasaki Steel Company.

El método consiste en definir la ocurrencia de un evento o problema no deseable, esto es, en efecto como la “cabeza del pescado” y, después, identificar los factores que contribuyen a su conformación, esto es, las causas, como las “espinas del pescado” unidas a la columna vertebral y a la cabeza del pescado. Por lo general, las principales causas se subdividen en cinco o seis categorías principales – humanas, de las máquinas, de los métodos, de los materiales, del medio ambiente, administrativas -, cada una de las cuales se subdividen en subcausas. El proceso continúa hasta que se detectan todas las causas posibles. (Niebel y Freivalds 2009, 24-25)

En la figura 20 se muestra como ejemplo un diagrama de pescado relacionado a un tema industrial.

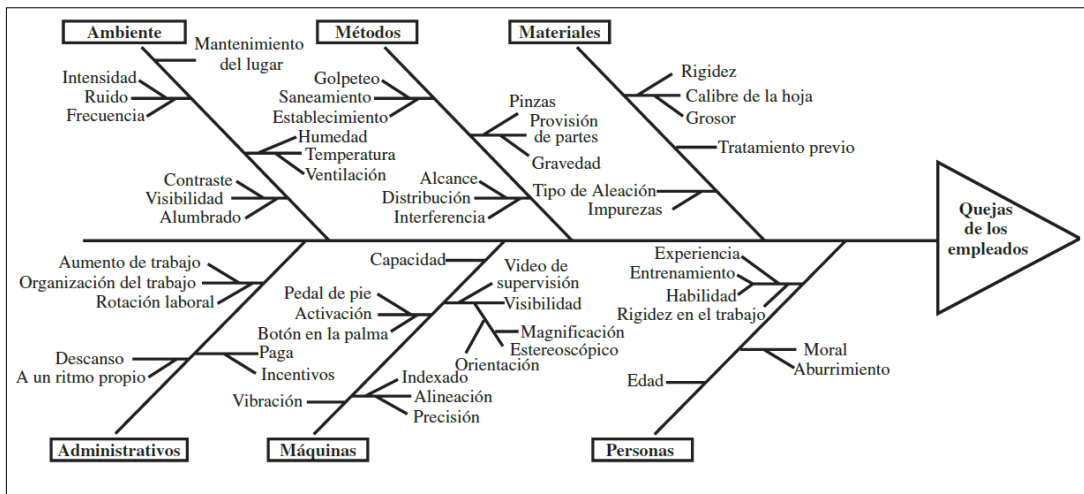


Figura 20. Diagrama de pescado de las quejas relacionadas con la salud de los operadores en una operación de corte

Fuente: Niebel y Freivalds (2009)

2.2.13 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos consiste en la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea definida, efectuándola según un método de trabajo preestablecido. El estudio de tiempos permite revisar y controlar el método de trabajo, determinar costos de producción, planear las operaciones y proveer la base racional de un sistema de incentivos.

Para la toma y registro de mediciones de tiempo se recurre normalmente al cronometraje industrial es una técnica empleada para registrar tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, teniendo como objetivo determinar el tiempo estándar en la tarea seleccionada. (Vásquez 2012, 90).

El tamaño de la muestra o cálculo de número de observaciones es vital en el cronometraje y uno de los métodos más utilizados es el método estadístico. El método estadístico requiere que se efectúen cierto número de observaciones preliminares, para luego aplicar la siguiente fórmula con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error de más o menos 5 %. (Zumaeta 2014, 93).

$$n = \left(\frac{40\sqrt{(n'\sum x^2 - \sum(x)^2)}}{\sum x} \right)$$

Donde:

- n = Tamaño de la muestra que deseamos calcular (número de observaciones)
- n' = Número de observaciones preliminares.

- 40 = Constante para un nivel de confianza del 95 % y un margen de error de más menos 5 %.
- Σ = Suma de valores.
- x = Valor de las observaciones

Las observaciones preliminares deberán superar al número de observaciones requeridas para validar el tamaño de la muestra.

Una vez medido el tiempo promedio con la cantidad de observaciones requeridas, se procede a determinar el tiempo normal. El tiempo normal es el tiempo en el que un trabajador efectúa una labor en un ritmo considerado normal, y satisfaciendo tanto al operario como a la empresa. (Vásquez 2012, 94).

$$T_{normal} = T_{observado} \times Valoración$$

La valoración o factor de calificación es un factor que ajusta el tiempo observado a un tiempo considerado normal.

El sistema Westinghouse es uno de los sistemas de calificación más antiguos y con mayor aplicación.

Este método considera los factores de habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia. La habilidad de un operario es el resultado de la experiencia y las aptitudes inherentes de coordinación y ritmo. El esfuerzo es representativo de la velocidad con la que se aplica la habilidad. Las condiciones a las que se refiere este procedimiento de calificación del desempeño es hacia el operario y no a la operación, los elementos que afectan las condiciones de trabajo incluyen temperatura, ventilación, luz y ruido. La consistencia es el grado de variación en los tiempos transcurridos, mínimos y máximos en relación con la media. (Niebel y Freivalds 2009, 414-417)

En la figura 21 se presenta la calificación del desempeño mediante el sistema de Westinghouse.

Una vez que se ha asignado una calificación de habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia del operario y se han establecido valores numéricos, se debe determinar el factor de desempeño global mediante la suma aritmética de los 4 valores y agregado la unidad a esa suma. El factor calificación es por tarea o elemento.

Calculado el tiempo normal, se procede a calcular el tiempo estándar.

El tiempo estándar es el tiempo en que se puede realizar una tarea específica por una persona bien entrenada, trabajando a un ritmo normal y siguiendo un método establecido. Es el ajuste del tiempo normal agregando los suplementos personales (personales, fatiga, entre otros) (Vásquez 2012, 98).

$$T_{estandar} = T_{normal} \times (1 + Factor\ de\ suplemento)$$

HABILIDAD		ESFUERZO	
+0.15	A1	+0.13	A1
+0.13	A2 - Habilísimo	+0.12	A2 - Excesivo
+0.11	B1	+0.10	B1
+0.08	B2 - Excelente	+0.08	B2 - Excelente
+0.06	C1	+0.05	C1
+0.03	C2 - Bueno	+0.02	C2 - Bueno
0.00	D - Promedio	0.00	D - Promedio
-0.05	E1	-0.04	E1
-0.10	E2 - Regular	-0.08	E2 - Regular
-0.15	F1	-0.12	F1
-0.22	F2 - Deficiente	-0.17	F2 - Deficiente

CONDICIONES		CONSISTENCIA	
+0.06	A - Ideales	+0.04	A - Perfecto
+0.04	B - Excelentes	+0.03	B - Excelente
+0.02	C - Buenas	+0.01	C - Buena
0.00	D - Promedio	0.00	D - Promedio
-0.03	E - Regulares	-0.02	E - Regular
-0.07	F - Malas	-0.04	F - Deficiente

Figura 21. Sistema de Westinghouse

Fuente: Maynard (2010)

III. RESULTADOS

3.1 DIAGNOSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Esta etapa consistió en realizar un diagnóstico general de la empresa, dando énfasis a la línea de bujes y bocinas, piezas en estudio de la presente investigación. La metodología utilizada fue presentar en primer lugar datos relevantes de la empresa como sus inicios, productos y servicios que ofrece, estructura organizacional, forma de trabajo e instalaciones, para luego proceder a realizar el diagnóstico por causas, partiendo de la construcción de un diagrama de Ishikawa, del cual se logra identificar las causas principales que conllevan a la baja productividad en la fabricación de bujes y bocinas. Para cada causa se debió demostrar su evidencia respectiva, indicadores, así como el impacto económico que le genera a la empresa.

3.1.1 La empresa

Fabrication Technology Company S.A.C, es una pequeña empresa perteneciente al sector metalmeccánico con 5 años en el mercado, cuyo rubro de trabajo actualmente gira a la producción y comercialización de piezas de mototaxis, al préstamo de servicios de manufactura, y a la fabricación y diseño de máquinas industriales.

El crecimiento de la empresa ha sido rápido, debido al incremento de la demanda de piezas de mototaxis en el departamento de Lambayeque, región conocida por ensamblar grandes cantidades de estos vehículos de transporte.

A continuación, se presenta una breve descripción de la empresa donde se llevó a cabo el proyecto de investigación:

- **Nombre de la empresa:** Fabrication Technology Company S.A.C.
- **Ubicación:** Cal. Henry Francois Nro. 101 Urb. Santa María, José Leonardo Ortiz, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.
- **Actividad económica:** Fabricación y comercialización de muebles metálicos, piezas en serie en torno revólver, paralelo, electroerosionadora y centro mecanizado.
- **Fecha de inicio de actividades:** 2012
- **RUC:** 20488026489
- **Representante legal:** Julio César Acosta Mendoza
- **Visión:** Ser la empresa reconocida en la producción y comercialización de piezas para mototaxis, así como otros artículos de la industria metalmeccánica, reconocida por la calidad de sus productos y el excelente servicio brindado a sus clientes.

- **Misión:** Brindar productos y servicios de la mejor calidad y garantía, gracias al uso de procesos eficientes y personal competente, con el fin de satisfacer las expectativas del cliente.
- **Principales competidores:** Las organizaciones con las cuales compite la empresa son empresas importadoras y fabricantes, entre las que se puede destacar La Casa del Tornillo S.R.L, Rectificaciones Sánchez E.I.R.L y Renorsa S.R.L.
- **Estructura organizacional:** En la figura 22 se presenta el organigrama de la empresa.

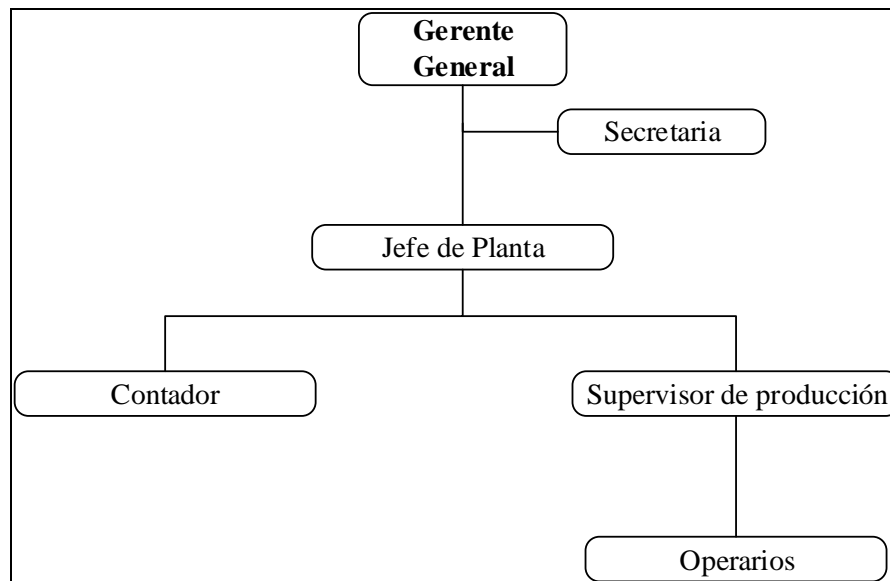


Figura 22. Organigrama de la empresa en estudio

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C.

La gerencia general establece objetivos, elabora estrategias, asigna recursos y supervisa las distintas operaciones realizadas en la empresa. Es la máxima cabeza de la empresa. El gerente es el dueño de la organización, y realiza sus funciones desde la ciudad de Lima, con visitas frecuentes a la ciudad de Chiclayo. Mencionar que la empresa es manejada por dos hermanos, siendo uno gerente general con residencia en la ciudad de Lima, y el otro hermano, quién es el jefe de planta, ubicado en la ciudad de Chiclayo. El gerente general cuenta con su secretaria para establecer cualquier tipo de comunicación entre personal de ambas ciudades y agendar citas, visitas y reuniones.

Como se mencionaba anteriormente, el jefe de planta, es el hermano del gerente general. Es el encargado de llevar el control de la producción, logística, mantenimiento y ventas en la ciudad de Chiclayo. Entrega resultados de forma quincenal a Lima al gerente general. La empresa además tiene su contador, encargado de realizar la contabilidad general de la empresa.

El supervisor de producción es la mano derecha del jefe de planta, y es la persona encargada de planificar y controlar la producción, sacando los productos en el tiempo

que el jefe de planta lo disponga e informándole de los posibles problemas que presente la maquinaria para su posterior mantenimiento.

Finalmente, en la última escala del organigrama, pero no por ello menos importantes, se encuentran los operarios, los cuales son personas competentes en el uso de la maquinaria a cargo en los diferentes procesos. Los operarios cuentan además con el apoyo del jefe de planta y del supervisor de producción, personas expertas en el maquinado del acero, los cuales intervienen en ciertas oportunidades a realizar labores operativas en su día a día, más no solo de gestión y supervisión.

3.1.2 Descripción del sistema de producción

3.2.2.1 Productos

La empresa comercializa sus productos a clientes ubicados en los departamentos de Lambayeque, Cajamarca, Amazonas, La Libertad y Tumbes. Los clientes con los que cuenta la empresa están dedicados al rubro de ventas de moto-repuestos y ensamblaje de mototaxis, y exigen productos de buena calidad en cuanto a prestaciones, acabado, durabilidad y a su vez, tiempos de entregas cortos y justo en el momento y lugar necesario. La empresa, a su vez, brinda soluciones para la fabricación y diseño de máquinas industriales, elaborando prensas, muebles metálicos, matrices, módulos eléctricos educativos, entre otros, para sus principales clientes ubicados en la ciudad de Chiclayo.

Al final del año 2016, los productos que comercializa la empresa se clasifican en las siguientes líneas:

- **Línea de carretos:** Incluye carretos, ejes de carretos y separadores de 12 mm. Esta línea brinda productos utilizados para el sistema de arrastre de las mototaxis.
- **Línea de pernería:** Incluye pernos de medida M12 X 254 mm; M12 X 210 mm; M15 X 235 mm; M15 X 280 mm, M15 X 300 mm y tuercas M12 y M14. Esta línea brinda pernos y tuercas necesarias para el ensamble de las estructuras de las mototaxis.
- **Línea de bujes y bocinas:** Incluye bocinas con pestaña de medidas de 21,5 mm; 22,5 mm; 23 mm y 24 mm y bujes de 3/8 de pulgada. Esta línea brinda bocinas y bujes utilizados en el sistema de transmisión de las mototaxis y para el ensamble de las estructuras de las mismas.
- **Línea de pines y trapecios:** Incluye pines de amortiguador de medidas de 3/4 de pulgada, 5/8 de pulgada y de 12mm, y trapecios, utilizados en el sistema de arrastre de las mototaxis.

La empresa actualmente cuenta con más de 20 productos que fabrica ubicados en las distintas líneas ya mencionadas. En la figura 23 se muestran las 4 líneas principales de producción.

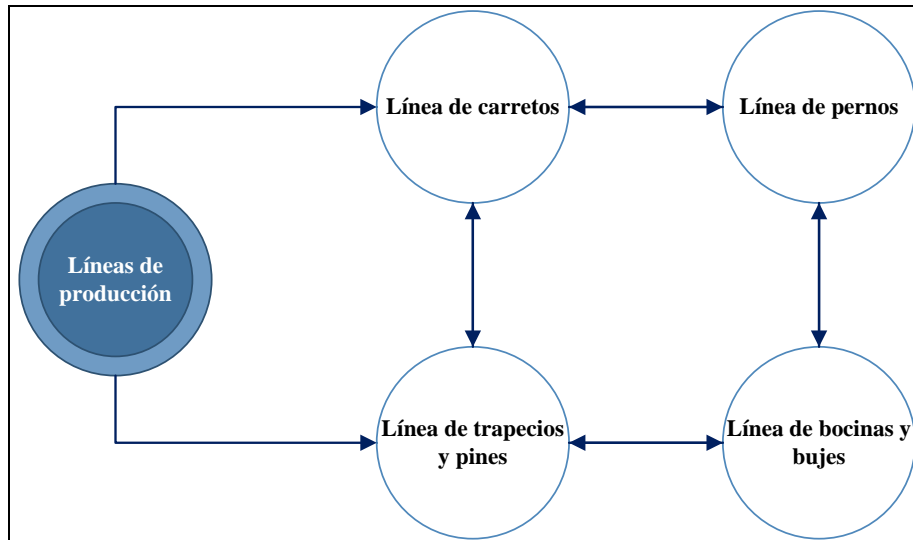


Figura 23. Líneas de producción

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C.

Así mismo, los servicios que brinda la empresa son los siguientes:

- Fabricación de piezas y estructuras a base de acero (incluye acero inoxidable) a partir de pedidos por proyectos, realizando propuestas de mejora en la manufactura de estos y planteando las soluciones necesarias a los problemas surgidos durante el proceso.
- Servicio de torneado, laminado, roscado y troquelado.
- Servicio de soldadura eléctrica, MIG MAG y TIG

Para la presente investigación, se diseñará el sistema automatizado para la línea de bujes y bocinas, específicamente para las bocinas con pestaña de todos los espesores y los bujes de categoría cb de 3/8 de pulgada. Estas piezas, presentan un ingreso importante hacia la empresa ya que son muy utilizadas en el sistema de transmisión y en el ensamblaje de estructuras de mototaxis, como durante el mantenimiento, que se les da en un taller mecánico cuando las requieren.

En la figura 24 se muestra una fotografía de una bocina con pestaña de 22,5 mm y en la figura 25 de un buje de 3/8 de pulgada.



Figura 24. Bocina con pestaña de 22,5 mm
Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C



Figura 25. Buje de 3/8
Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Las bocinas con pestaña se encuentran en medidas de 21,5 mm; 22,5 mm; 23 mm y 24 mm; y los bujes en medidas de 3/8 de pulgada o también conocidos como categoría CB (por el tipo de moto).

Los bujes y bocinas son productos de rápida salida y muy demandados en el norte del Perú, por lo que la empresa se ve en la necesidad de todos los días laborales del año fabricar bujes y bocinas. Al año 2015, se estimaba una población de 80 000 mototaxis solo en la región Lambayeque, sin contar aun las que se ensamblan día a día en la región. Cada mototaxi necesita 4 bocinas y 4 bujes, por lo que definitivamente la oferta dada por la empresa es muchísima menor a la demanda que solo hay en la región Lambayeque, sin contar las regiones vecinas.

3.2.2.2 Materiales e insumos

La materia prima utilizada para la producción de bocinas con pestaña, es la barra redonda lisa de 1 pulgada de diámetro por 6 metros de largo. La materia prima

utilizada para la producción de bujes es la barra calibrada de acero en 24mm de diámetro por 6 metros de largo.

La barra calibrada, a diferencia de la barra lisa, se caracteriza por su alta exactitud dimensional y buena calidad superficial, siendo así muy útil para la fabricación de piezas en la industria metalmeccánica que requieran alta exactitud, en este caso, como el de los bujes.

El fabricante de dichas materias primas es Aceros Arequipa, y el proveedor lambayecano con quién trabaja la empresa en estudio es 3A.

Como único y principal insumo dentro de todo el proceso de maquinado se encuentra el líquido refrigerante (Emulsol), utilizado para refrigerar las bocinas y bujes en los procesos de taladrado y torneado.

3.2.2.3 Proceso de producción

La empresa cuenta con 700 metros cuadrados, con espacios para administración, servicios higiénicos, vestidores, área para estacionamiento de vehículos, producción de piezas, almacén de producto terminado y almacén de materia prima.

El tipo de sistema de producción es intermitente, con puestos de trabajos integrados por personas y máquinas, siendo el producto el que pasa de un puesto a otro. Este tipo de distribución permite una variedad y flexibilidad en el tipo de producto y la posibilidad de realizar lotes pequeños de cualquier producto. Como principales desventajas están los tiempos largos de procesos y producto en espera a ser procesado.

La maquinaria con la que cuenta la empresa se presenta en la tabla 1.

La empresa sigue un patrón de procedimientos establecidos para la realización de cualquier producto. Los pasos a seguir son los siguientes:

- **Diseño del producto:** Se especifican los parámetros y requisitos según el producto a fabricar, incluyendo medidas como tolerancias.
- **Recepción y almacenamiento de materia prima:** El jefe de planta compra la materia prima en base a las órdenes de producción programada. Cabe recordar que la empresa está ubicada estratégicamente en la zona de José Leonardo Ortiz, muy cerca de la avenida Leguía, por lo que su principal proveedora de acero (3A), se encuentra a pocos metros de la empresa.
- **Abastecimiento de materia prima al área de producción:** Adquirida ya la materia prima, se procede a abastecer a las diferentes áreas para empezar con el proceso de producción.
- **Fabricación de piezas:** Se fabrica según la orden y medida especificada.

- **Control de calidad:** Al ser piezas que muchas veces están en unidades milimétricas, es necesario realizar un control de calidad para ver si cumple con las especificaciones dadas. El control de calidad se realiza durante y al finalizar la producción.
- **Empaquetado:** El producto se empaqueta en cajas con los nombres del cliente.
- **Almacenamiento de producto terminado:** El producto terminado se almacena para su posterior venta.
- **Venta de producto terminado:** Los clientes vienen a la empresa a comprar el producto y a los clientes que han hecho su pedido con anticipación se les lleva a su mismo centro de trabajo en un vehículo menor.

En la figura 26 se presenta las principales actividades que realiza la empresa.

Tabla 1. Maquinaria de la empresa

Máquina	Cant.	Estado	Procesos que realiza
Taladro columna	2	Operativo	Roscado interior, aborcadado, avellanado, centrado, taladrado.
Torno paralelo	1	Operativo	Careado, torneado, achaflanado, tronzado, roscado, taladrado, perforado.
Torno automático	1	Operativo	Careado, torneado, achaflanado, tronzado, roscado, taladrado, perforado.
Torno revólver	3	Operativo	Careado, torneado, achaflanado, tronzado, roscado, taladrado, perforado.
Máquina de soldadura arco eléctrico	1	Operativo	Soldadura
Máquina de soldar MIG MAG	1	Operativo	Soldadura
Máquina de soldar TIG	1	Operativo	Soldadura
Laminadora	1	Operativo	Roscado externo
Prensa excéntrica	1	Operativo	Corte, doblado
Prensa de fricción	1	Operativo	Embutido, aplanado, forjado
Compresora	1	Operativo	Generación de aire comprimido para pintado
Máquina de oxicorte	1	Operativo	Oxicorte
Horno	1	Operativo	Pintado
Fresa	1	Operativo	Fresado

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C.

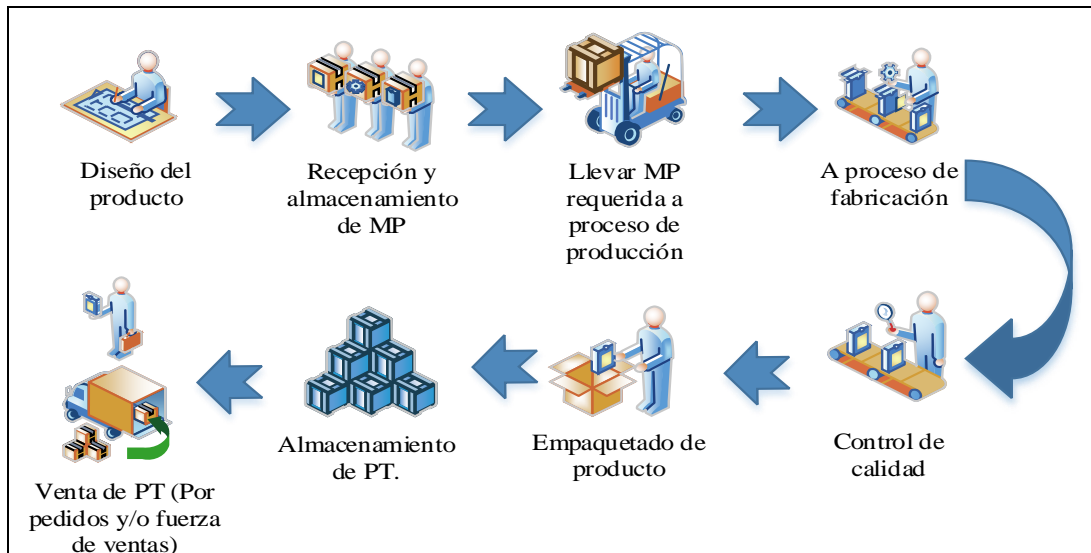


Figura 26. Forma de trabajo de la empresa en estudio.

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C.

Para la fabricación de las bocinas se tiene los siguientes procesos de maquinado:

- a) **Cortado:** La barra redonda lisa de 1 pulgada por 6000 mm se corta en dos partes iguales de 3000 mm. Esto se debe a que el alimentador del torno, máquina utilizada para las siguientes operaciones, tiene una capacidad de 3000 mm. Se cortan toda la cantidad de barras que serán utilizados en el turno. El proceso es realizado en la cortadora de disco.
- b) **Podado:** Se ajustan los bordes y se eliminan los restantes del proceso de cortado en la cara de la barra. Se realiza también con una cortadora de disco.
- c) **Habilitado:** Se realiza el respectivo desbaste y acabado según las especificaciones, luego se le realiza el agujero con la profundidad especificada, se le ajustan los bordes (achaflanado) y finalmente se tronza la pieza en el caso de las bocinas a los 24 mm de largo. Proceso realizado en el torno.
- d) **Avellanado:** Realizado en el taladro, en donde se le forman asientos cónicos en la superficie taladrada para facilitar el paso de otras piezas.

El producto final se guarda en baldes y cajas y se llevan a almacén para su posterior venta.

En la figura 27 se muestra el diagrama de flujo en bloques para la elaboración de bocinas.

En la figura 28 se presenta el diagrama pictórico de la elaboración de las bocinas con pestañas en sus diferentes medidas.

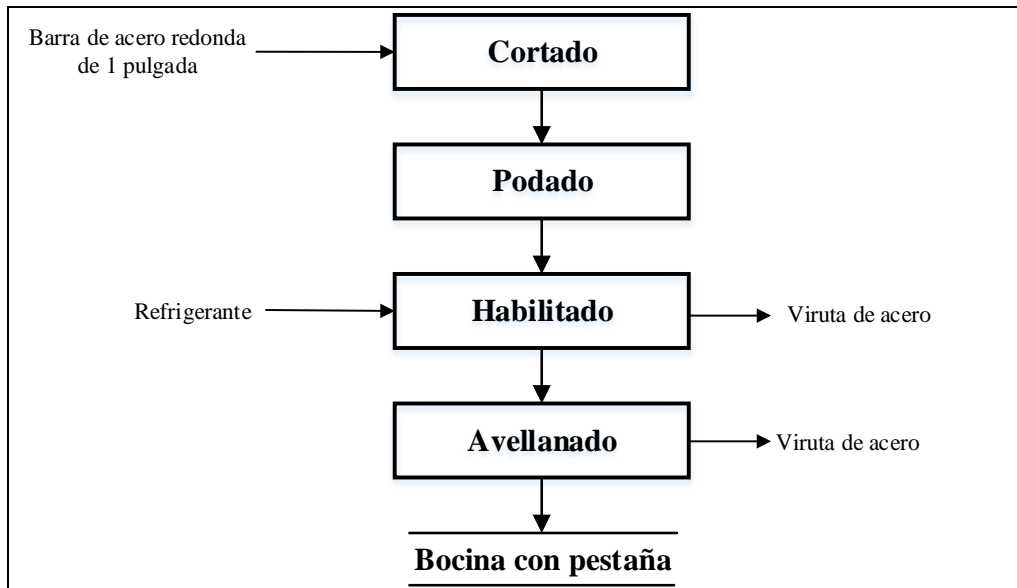


Figura 27. Diagrama de flujo en bloques elaboración de bocinas
 Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C



Figura 28. Diagrama pictórico elaboración de bocinas con pestaña.
 Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Para la fabricación de bujes se tiene las siguientes operaciones:

- a) **Cortado:** La barra calibrada de acero en 24 mm por 6000 mm se corta en dos partes iguales de 3000mm para poder ser ingresada en el alimentador del torno. Proceso realizado en la cortadora de discos.
- b) **Podado:** Se ajustan los bordes y se eliminan los restantes del proceso de cortado en la cara de la barra.
- c) **Habilitado:** Se le realiza el agujero con la profundidad especificada y finalmente se tronza la pieza en el caso de los bujes a los 18 mm de largo. Proceso realizado en el torno.
- d) **Avellanado:** Realizado en el taladro, en donde se le forman asientos cónicos en la superficie taladrada para facilitar el paso de otras piezas.
- e) **Roscado interno:** Se crean las roscas en la superficie perforada con la herramienta llamado “macho” en el taladro columna, según especificación.
- f) **Zincado:** Consiste en recubrir la pieza en un baño de zinc a través de una electrólisis con el fin de protegerla de la oxidación y la corrosión.

En la figura 29 se presenta el diagrama de flujo en bloques para la elaboración de bujes y en la figura 30 el diagrama pictórico de la misma pieza.

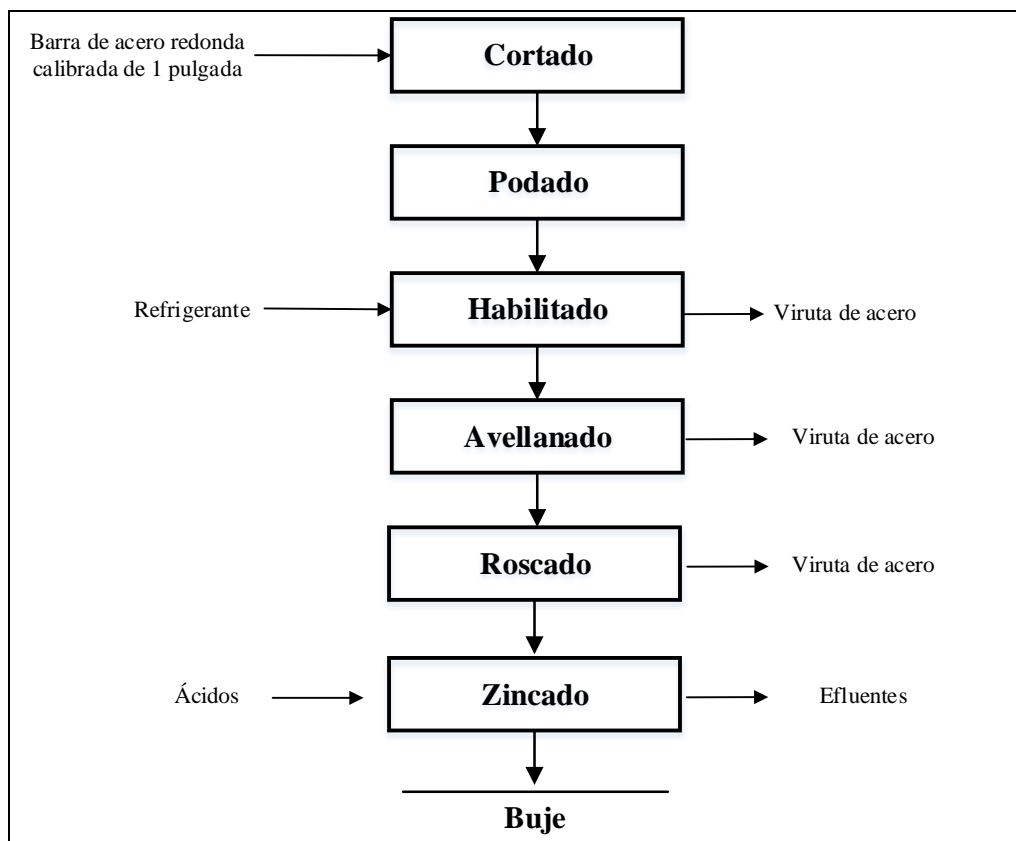


Figura 29. Diagrama de flujo en bloques elaboración de bujes

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

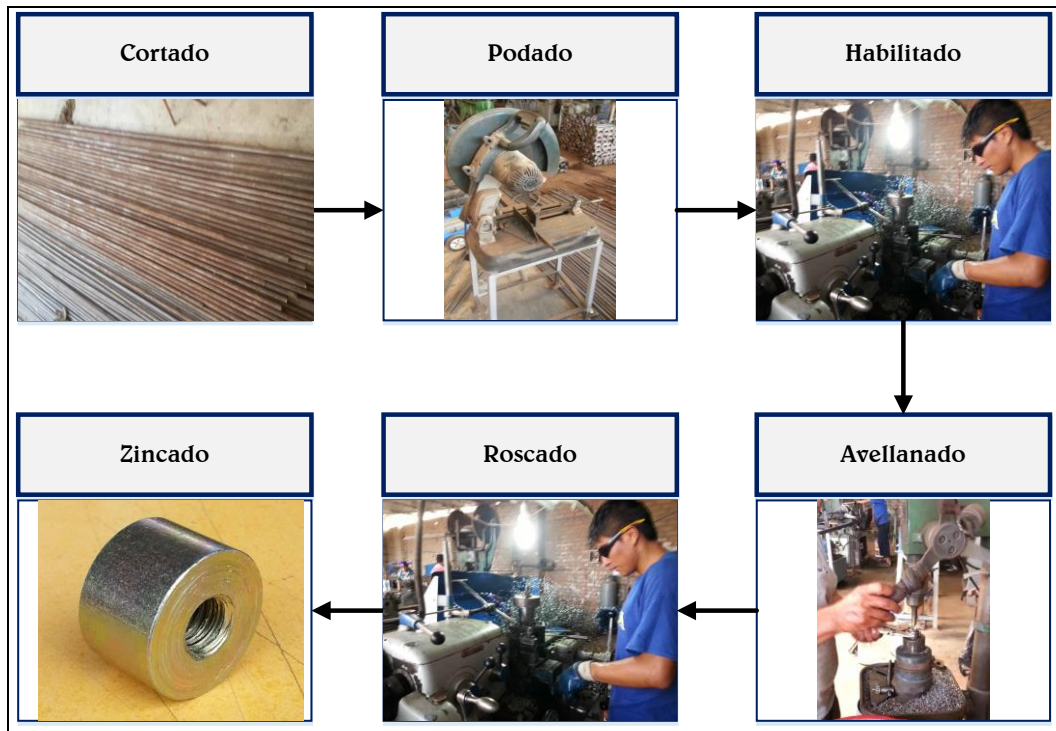


Figura 30. Diagrama pictórico elaboración de bujes.

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

El producto final se guarda en baldes y cajas y se lleva a almacén para su posterior venta.

Las diferentes medidas en las bocinas y bujes se obtienen a través de la calibración del torno antes de que la materia prima entre a esta máquina. En los anexos 1, 2, 3, 4 y 5 se muestran los planos detallados de las piezas en todas sus medidas.

Como se puede observar en los diagramas de flujo en bloques de ambas piezas, presentadas en las figuras 27 y 29, ambas piezas presentan un proceso en común: el avellanado. El presente trabajo de investigación se centra en dicho proceso, debido a que es el que genera mayores problemas y el que presenta mayor oportunidad para mejora, como se verá en el siguiente punto.

3.1.3 Diagnóstico por causas

Después de analizar el proceso de avellanado, se determinó que son 3 las causas que conllevan a una baja productividad en el proceso de avellanado de bujes y bocinas. En la figura 31 se muestra el diagrama de Ishikawa elaborado para el presente diagnóstico por causas.

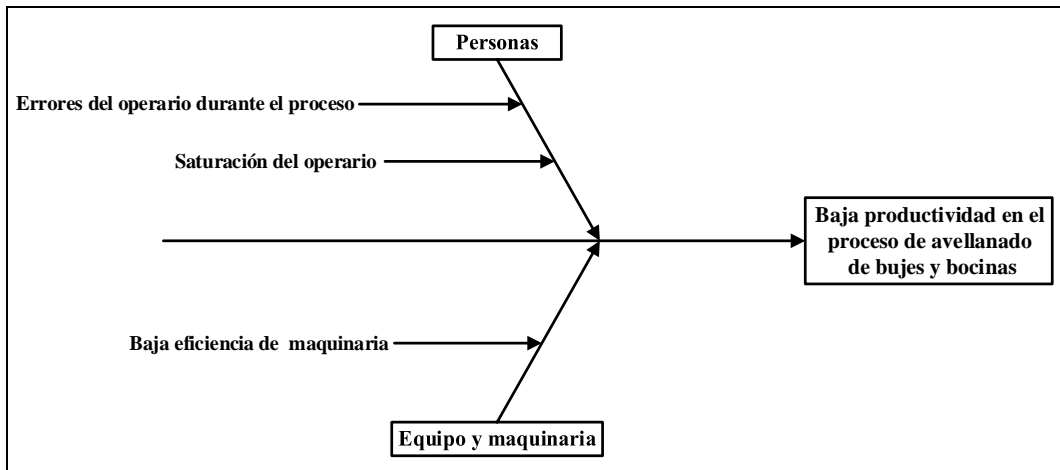


Figura 31. Diagrama de Ishikawa baja productividad

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Problema: Baja productividad en el proceso de avellanado de bujes y bocinas.

A. Mano de obra.

a) **Causa:** Errores del operario durante el proceso de avellanado.

- **Evidencia:**

El operario encargado del proceso de avellanado debe estar capacitado en el uso del taladro y debe tener experiencia en el trabajo de piezas similares con la misma máquina.

Para una persona sin experiencia, aprender a avellanar puede ser un problema, debido a que en un inicio sus capacidades no son las ideales para realizar esta tarea, teniendo muchos errores que hacen que una misma pieza vuelva a ser reprocesada, lo que equivale una pérdida de dinero para la empresa por el tiempo adicional utilizado.

Por otro lado, para una persona con experiencia en el área, y totalmente capacitada en el puesto, de igual manera presenta errores que hacen que las piezas vuelvan a ser reprocesadas, y esto se debe a que tiene que realizar repetitivamente la tarea durante 8 horas.

En la figura 32 se observa al colaborador avellanado una pieza. Los errores a los cuales se ha hecho mención anteriormente, y ocasionan que las piezas vuelvan a ser reprocesadas, se deben a:

- Mal sujetado de la pieza por parte del operario. Como se observa en la figura 32, la pieza es sujetada por un alicate a presión, y este último sujetado por la mano izquierda del operario. Al avellanar la pieza, se produce una leve vibración lo cual

causa que, si el operario no ha sujetado bien la pieza al alicate, esta se escape y salte hacia un costado, provocando que se tenga que reprocesar de nuevo el buje o bocina. Cabe resaltar que para una persona diestra la mano izquierda es la menos hábil para un proceso que requiere precisión como el de avellanado.

- Mal cálculo de la distancia que el operario realiza entre la broca avellanadora y la pieza. Como se observa en la figura 32, si el operario hace un mal cálculo de la distancia entre la broca y la pieza, al momento de entrar la broca, la pieza se desubica, haciendo que la herramienta de corte no entre por completo a la pieza y en algunos casos se escape hacia un costado, provocando que se tenga que reprocesar de nuevo el buje o bocina.



Figura 32. Proceso de avellanado

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Para evidenciar que lo anteriormente comentado afecta a la productividad del proceso de avellanado, se presenta la tabla 2. El objetivo de la tabla es mostrar las unidades reprocesadas y su valor en porcentaje por los errores cometidos por el operario.

Tabla 2. Unidades reprocesadas promedio (Observaciones en período de enero - febrero 2016)

Horario	Unidades promedio avellanadas a la primera (A)	Unidades promedio reprocesadas (B)	Total, de unidades promedio (A) + (B) = (C)	% de piezas reprocesadas promedio (B) / [(A) + (B)] = (D)
08 h 00 a 09 h 00	129	11	140	7,86
09 h 00 a 10 h 00	206	16	222	7,21
10 h 00 a 11 h 00	204	14	218	6,42
11 h 00 a 12 h 00	200	17	217	7,83
12 h 00 a 13 h 00	187	18	205	8,78
14 h 00 a 15 h 00	187	17	204	8,33
15 h 00 a 16 h 00	199	14	213	6,57
16 h 00 a 17 h 00	136	10	146	6,85
Total	1 448	117	1 565	7,48

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Los datos presentados en la tabla 2 son promedios en base a una data de 10 días de trabajo en las cuales se recolectó información de la empresa en un período de un mes y medio a un ritmo de 2 visitas por semana durante los meses de enero y febrero del 2016. En el anexo 6 se presentan las observaciones utilizadas para poder obtener los promedios mostrados en la tabla 2. El autor del proyecto tuvo la oportunidad de realizar prácticas pre profesionales por un período de 3 meses en la empresa en estudio, con el objetivo de aprender más de los procesos de manufactura, realizar un estudio de tiempos y poder recolectar información importante para el presente trabajo de investigación.

Cabe resaltar que se trabaja en 1 turno, de las 08 h 00 a las 17 h 00, con un descanso de 1 hora (13 h 00 a 14 h 00) y en caso se requiera mayor volumen de producción, se suele trabajar horas extras, las cuales no pasa de la hora. No se terceriza en ninguno de los casos la elaboración de los productos.

Volviendo a la tabla 2, en la columna (C) se presentan las unidades avellanadas promedio por intervalos de una hora. Debido a errores por parte del operario, ya sea en el manejo del alicate que sostiene la pieza, y/o en mal cálculo entre la distancia de la pieza y la broca avellanadora, se vuelven a reprocesar una cantidad considerable de piezas, los cuales se pueden ver en la columna (B). En la columna (A) se muestran las unidades promedio avellanadas a la primera, en las cuales el operario no cometió ningún error y el avellanado de la pieza se realizó sin ningún inconveniente. En la columna (D) se muestra el porcentaje de piezas reprocesadas las cuales conforman un total del 5 al 10% de las unidades que entran a proceso (C).

En la primera hora de trabajo se utilizan 20 minutos mientras el operario se alista, acomoda su área, deja todo en correcto orden y prepara la maquinaria para empezar su trabajo. En la última hora, se utilizan 20 minutos para el conteo general de las piezas y la toma de datos de la producción realizada. Este tiempo utilizado, el cual es ya planificado, reduce las horas disponibles a 7,33 horas (440 minutos) y es el causante de que las unidades avellanadas en el primer y último intervalo sean menores en relación a otras horas como se puede ver en la tabla 2.

Para la elaboración de la tabla 2, se ha considerado tanto a las bocinas como a los bujes como un solo producto para el proceso de avellanado ya que el operario junto con el taladro realiza la misma acción para ambas piezas.

En promedio entraron al proceso 1565 unidades (Sumatoria (C)) y se reprocesaron 117 unidades (Sumatoria (B)), el equivalente a un 7,48% como promedio del total.

- **Indicador:**

El indicador más adecuado para esta causa será el FTT (First Time Through o Piezas bien a la primera). El FTT es un indicador importante de productividad y calidad de un proceso, que como su nombre indica, nos muestra el porcentaje correcto de piezas que se hacen bien a la primera, sin necesidad de reprocesos adicionales.

El valor ideal del FTT debería ser del 100%, en donde ninguna pieza sea reprocesada. Valores menores al 100%, nos indican que se está perdiendo tiempo y dinero en volver a reprocesar las piezas, afectando así la rentabilidad de la empresa.

Se procedió a calcular el FTT con la ecuación 1 y los datos de la tabla 2.

$$FTT = \frac{1565 - 0 - 117}{1565} = 92,52 \%$$

Este indicador quiere decir que el 92,52 % de las piezas que se avellanaron fueron hechas bien a la primera. Es necesario automatizar el proceso para que el indicador se eleve al 100%, debido a que en una máquina automatizada la precisión es la mayor posible y es de manera constante.

- **Impacto económico:**

El reprocesar una pieza incurre definitivamente en un costo de reproceso. Para calcularlo se utilizaron los datos de la tabla 2, el tiempo estándar de proceso de avellanado, el pago que se realiza al colaborador por turno de trabajo de 8 horas y los datos de producción del año 2016.

Para hallar el tiempo estándar del proceso de avellanado se procedió a realizar los siguientes pasos.

1. Determinar los elementos o tareas que componen el proceso de avellanado
2. Usando el cronómetro, se midió el tiempo de cada tarea (15 veces)
3. Calcular el tiempo normal con un factor de nivelación 1 para cada tarea.
4. Calcular el tiempo estándar con suplementos de un 12 %.

Calcular el tiempo estándar será de vital importancia para poder realizar el diagrama hombre máquina del cual se podrán extraer mayor cantidad de indicadores y los cuales se presentarán más adelante.

Las tareas que componen el proceso de avellanado son las siguientes

- Sujetar pieza y colocar en la mesa de taladro.
- Bajar la palanca de avance manual por primera vez.
- Subir la palanca de avance manual por primera vez.
- Voltar pieza y colocar en la mesa de taladro.
- Bajar la palanca de avance manual por segunda vez.
- Subir la palanca de avance manual por segunda vez.
- Inspección visual de calidad de avellanado.
- Soltar pieza en depósito.

En tabla 3 se presentan los resultados de 15 mediciones por tarea.

Tabla 3. Observaciones de tiempos por tarea en segundos (12 de febrero del 2016)

Elemento o tarea	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Tiempo promedio	Número de observaciones preliminares	Número de observaciones requeridas (A)
Sujetar pieza y colocar en la mesa de taladro.	2,5	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,5	2,4	2,5	2,3	2,5	2,4	2,5	15	1
Bajar la palanca de avance manual por primera vez.	2,2	2,3	2,2	2,2	2,3	2,2	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,2	15	1
Subir la palanca de avance manual por primera vez.	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1	1,3	1,2	1,3	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	15	5
Voltear pieza y colocar en la mesa de taladro.	0,9	1	0,9	0,8	1	0,9	0,9	1,1	1	1	0,8	0,9	0,9	1	0,8	0,9	15	14
Bajar la palanca de avance manual por segunda vez.	2,3	2,3	2,2	2,2	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	2,2	2,3	2,2	2,3	2,2	15	1
Subir la palanca de avance manual por segunda vez.	1,2	1,3	1,2	1,2	1,3	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,1	1,2	1,3	1,3	1,2	1,2	15	5
Inspección visual de calidad de avellanado.	2,5	2,4	2,4	2,3	2,3	2,2	2,3	2,4	2,5	2,4	2,4	2,5	2,3	2,4	2,6	2,4	15	3
Soltar pieza en depósito.	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,9	1	0,9	0,8	1	1	0,9	0,9	0,8	0,9	0,9	15	9
Tiempo total																13,6		

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Para corroborar que el número de observaciones está bien establecido se utilizará el método estadístico. El método estadístico requiere que se efectúen cierto número de observaciones preliminares, para luego aplicar la ecuación que se presenta a continuación, con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error de más menos 5 %. (Zumaeta 2014, 93).

$$n = \left(\frac{40\sqrt{(n'\sum x^2 - \sum(x)^2)}}{\sum x} \right)$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra que deseamos calcular (número de observaciones)

n' = Número de observaciones preliminares.

40 = Constante para un nivel de confianza del 95 % y un margen de error de más menos 5 %.

\sum = Suma de valores.

x = Valor de las observaciones

El resultado del cálculo en base a la ecuación 8 tomando en cuenta 15 observaciones preliminares, se muestra en la columna (A). Como se puede observar, el número de observaciones preliminares es mayor al número de observaciones requeridas en todas las ocasiones, por lo que la cantidad de observaciones ya realizadas son más que suficientes y brindan un valor representativo para cada elemento.

Una vez realizado el cronometraje del trabajo, con la cantidad de observaciones suficientes, se debe abordar una de las etapas más importantes del estudio de tiempos, dar la valoración del ritmo de trabajo o factor de calificación y la determinación de los suplementos, para hallar el tiempo normal y estándar respectivamente.

El tiempo normal no debería variar en teoría y una persona saludable y con una actitud mental correcta puede sin dificultad mantener un ritmo del 100%. Además de ello, se ha demostrado que no es cómodo trabajar a una razón muy superior o muy inferior al 100%. (Vásquez 2012, 95)

Para determinar el factor de calificación se utilizará el sistema de calificación de Westinghouse, el cual considera los factores de habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia. La escala dada será establecida por el observador. Para la presentación investigación, en todas las tareas se ha considerado una habilidad del operario promedio, con un esfuerzo promedio, en condiciones promedio y consistencia promedio. En condiciones promedio en los 4 factores evaluados la variabilidad es de más menos 0, por lo que el factor de calificación es de 1 para cada tarea. Recordar que en el marco teórico (figura 21, página 37), se muestra la escala de calificación para cada factor. En la tabla 4 se muestra el cálculo del tiempo normal para cada etapa.

Tabla 4. Cálculo de tiempo normal

Elemento o tarea	Tiempo promedio (s)	Factor de calificación	Tiempo normal (s)
Sujetar pieza y colocar en la mesa de taladro.	2,5	1	2,46
Bajar la palanca de avance manual por primera vez.	2,2	1	2,23
Subir la palanca de avance manual por primera vez.	1,24	1	1,24
Voltear pieza y colocar en la mesa de taladro.	0,93	1	0,93
Bajar la palanca de avance manual por segunda vez.	2,25	1	2,25
Subir la palanca de avance manual por segunda vez.	1,22	1	1,22
Inspección visual de calidad de avellanado.	2,39	1	2,39
Soltar pieza en depósito.	0,88	1	0,88
Tiempo normal de tarea			13,6

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Finalmente, se procede a calcular el tiempo estándar del proceso de avellanado teniendo en cuenta los suplementos de 5 % por necesidades personales, 4 % por fatiga, 2 % por trabajo de pie, 1 % por trabajo monótono, lo cual da un total de 12 %. Los porcentajes han sido extraídos del sistema de suplementos establecido por la Organización Industrial del Trabajo los cuales se presentan en el anexo 7.

Con el porcentaje de suplementos ya establecido, se procede a calcular el tiempo estándar.

$$T_{estandar} = T_{normal} \times (1 + \text{Factor de suplemento})$$

$$T_{estandar} = 13,6 \times (1 + 0,12) = 15,2 \text{ s}$$

En base a la producción del año 2016, considerando que el tiempo estándar del proceso de avellanado es de avellanado es de 15,2 segundos, que el pago realizado al colaborador por turno de 8 horas es de 64 soles (lo que equivale a 0,00222 soles por segundo) y que el porcentaje promedio de piezas reprocesadas es del 7,54% (tabla 2) la relación entre estos datos para hallar el costo por reproceso sería la siguiente ecuación formulada por el autor:

$$\text{Costo por reproceso} = \text{Unidades reprocesadas} \times \text{Tiempo de Ciclo} \times \text{Pago de colaborador por segundo}$$

Tabla 5. Costo por piezas reprocesadas

Mes del 2016	Producción de bujes y bocinas (A)	Unidades reprocesadas promedio ((A) x 7,48 %) = (B)	Tiempo que representa (s) ((B) x Tc) = (C)	Costo por reproceso (S/.) ((C) x 0,00222) = (D)
Enero	41 709	3 120	47 421,46	105,3
Febrero	43 344	3 242	49 280,39	109,4
Marzo	43 842	3 279	49 846,60	110,7
Abril	42 851	3 205	48 719,87	108,2
Mayo	43 079	3 222	48 979,10	108,7
Junio	44 306	3 314	50 374,15	111,8
Julio	42 851	3 205	48 719,87	108,2
Agosto	43 693	3 268	49 677,19	110,3
Septiembre	43 793	3 276	49 790,89	110,5
Octubre	43 372	3 244	49 312,23	109,5
Noviembre	44 721	3 345	50 845,99	112,9
Diciembre	44 753	3 348	50 882,37	113,0
Total	522 314	39 069	593 850,13	1 318,3

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

El cálculo es muy sencillo, por ejemplo, para el mes de enero la aplicación de la fórmula vendría dada de la siguiente manera:

$$\text{Costo por reproceso} = 41\,709 \text{ un} \times 0,0748 \times 15,2 \frac{\text{s}}{\text{un}} \times 0,00222 \frac{\text{S/.}}{\text{s}} = 105,3\text{S/}.$$

Finalmente, realizado todos los cálculos de la tabla 5, se afirma que se reprocesaron un total de 39 069 piezas, con un costo equivalente a 1318,2 soles en un año.

b) Causa: Saturación del operario

- Evidencia:

El operario durante 8 horas debe avellanar las bocinas y bujes según la orden de producción, en el taladro de banco, de manera manual. En la figura 33 se presenta el flujograma del proceso de avellanado. Tanto bujes y bocinas se avellan por ambos lados y siguen el mismo flujograma que se presenta a continuación.

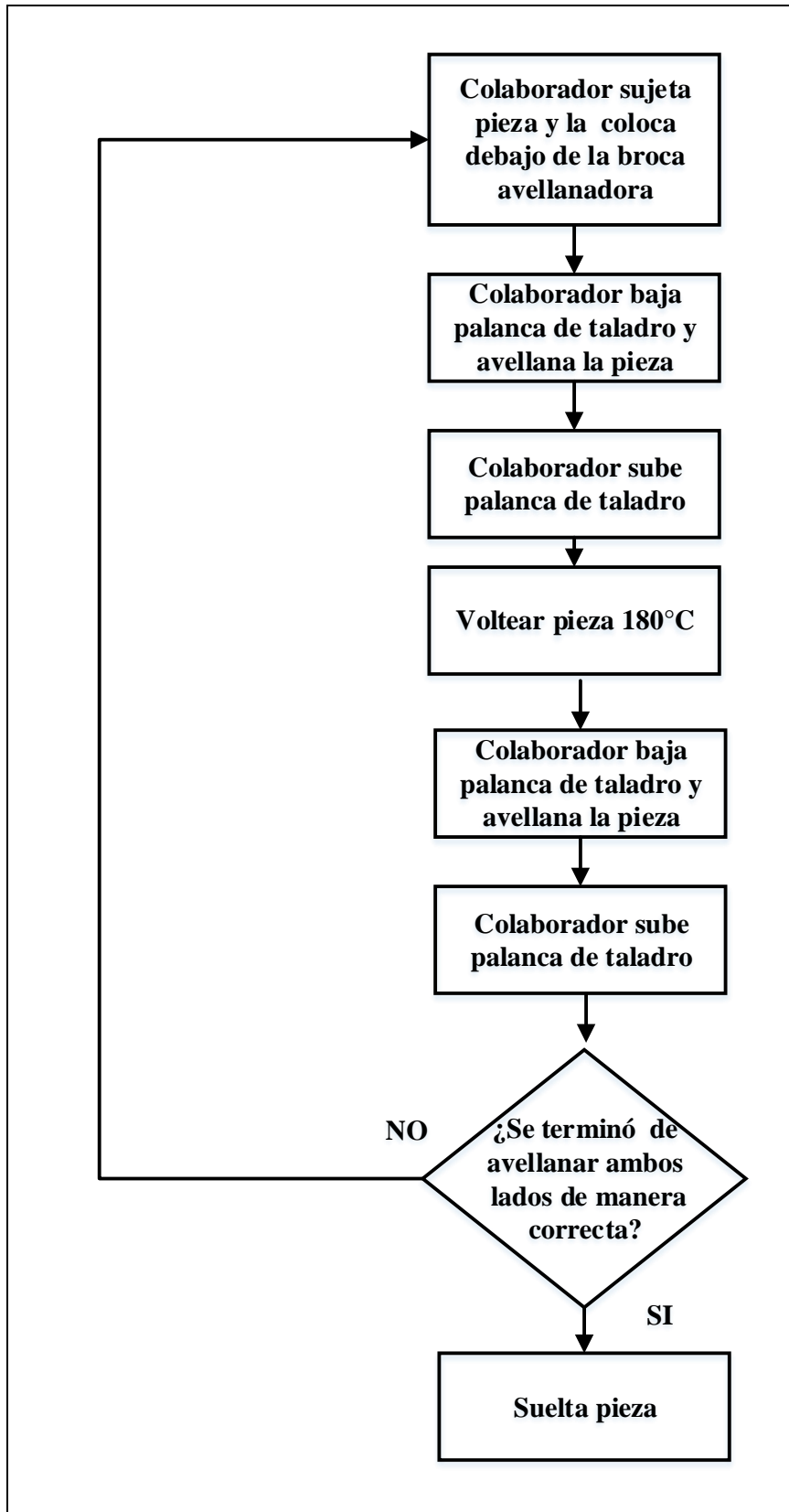


Figura 33. Flujograma del proceso de avellanado
 Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Teniendo presente el flujograma de la figura 33, el proceso de avellanado se basa en coger la pieza con un alicate a presión para luego llevar el alicate con la pieza sujeta hacia la mesa del taladro, en alineación con la broca avellanadora. Una vez ubicada, el operario baja la palanca de avance manual del taladro avellanando así un lado. Terminado el avellanado sube la palanca de taladro para luego girar el alicate con la pieza sujeta en un ángulo de 180 grados. Girada ya la pieza y ubicada otra vez en la mesa del taladro en alineación con la broca avellanadora, vuelve a bajar la palanca de avance manual del taladro avellanando así el otro lado restante de la pieza. Termina de avellanar del segundo lado, sube la palanca de taladro, realiza una inspección de la calidad de avellanado de la pieza y finalmente la suelta haciendo caer la pieza en un depósito. Luego sigue con la siguiente unidad.

Cabe resaltar que después de avellanar la pieza, el colaborador se asegura de que el trabajo realizado haya sido el correcto, en caso no sea así, vuelve avellanar la pieza (reproceso). Se debe reprocesar también cuando al operario se le escapa la pieza del alicate a presión.

Durante todo el proceso el operario está trabajando sin descanso. Realizar un diagrama hombre máquina es de suma importancia para el análisis de esta causa, ya que permite y facilita ver la relación entre los tiempos del operador y los tiempos de máquina, y determinar la saturación del colaborador. Con base en la figura 33 y a los tiempos estándar presentados en la tabla 6, se presenta en la siguiente página el diagrama hombre máquina del proceso de avellanado de bujes y bocinas en la figura 34.

Tabla 6. Cálculo de tiempo estándar

Elemento o tarea	Tiempo normal (s)	Suplemento	Tiempo estándar (s)
Sujetar pieza y colocar en la mesa de taladro.	2,5	1,12	2,8
Bajar la palanca de avance manual por primera vez.	2,2	1,12	2,5
Subir la palanca de avance manual por primera vez.	1,2	1,12	1,3
Voltear pieza y colocar en la mesa de taladro.	0,9	1,12	1,0
Bajar la palanca de avance manual por segunda vez.	2,3	1,12	2,6
Subir la palanca de avance manual por segunda vez.	1,2	1,12	1,3
Inspección visual de calidad de avellanado.	2,4	1,12	2,7
Soltar pieza en depósito.	0,9	1,12	1,0
	Tiempo estándar de tarea		15,2

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Diagrama Hombre Máquina

Operación: Avellanado

Máquina tipo: Taladro columna

Fecha: 12 de febrero 2016

Diagramador: Luis

Ciclo: 15,2 segundos

Hombre	Tiempo		Máquina	Tiempo	
Sujetar la pieza y colocar en la mesa de taladro	2,8 s		Tiempo muerto	2,8 s	
Bajar la palanca de avance manual por primera vez	2,5 s		Avellanado	2,5 s	
Subir la palanca de avance manual por primera vez	1,3 s		Palanca de taladro utilizada	1,3 s	
Voltear pieza y colocar en la mesa de taladro	1,0 s		Tiempo muerto	1,0	
Bajar la palanca de avance manual por segunda vez	2,6 s		Avellanado	2,6 s	
Subir la palanca de avance manual por segunda vez	1,3 s		Palanca de taladro utilizada	1,3 s	
Inspección visual de calidad de avellanado	2,7 s		Tiempo muerto	2,7 s	
Soltar pieza en depósito	1,0 s		Tiempo muerto	1,0 s	

Figura 34. Diagrama hombre máquina del proceso actual de avellanado

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

La saturación del operario es el porcentaje de la división de la cantidad de tiempo que el operario añade valor al producto entre el tiempo total de ciclo. También es conocido como eficiencia de la mano de la obra o porcentaje de tiempo de persona utilizado eficazmente.

En base al diagrama hombre máquina propuesto en donde se observa que el tiempo de ciclo es de 15,2 segundos, se logra determinar que la saturación del operario es del 100 %.

$$\text{Saturación del operario} = \frac{\text{Tiempo productivo operario}}{\text{Tiempo de ciclo}} \times 100$$

$$\text{Saturación del operario} = \frac{15,2 \text{ s}}{15,2 \text{ s}} \times 100 = 100\%$$

Este indicador nos da a entender que el operario está totalmente saturado durante el avellanado de 1 pieza, sea buje o bocina, por ambos lados. La automatización se presenta como una alternativa para disminuir este porcentaje de saturación del operario y mejorar las condiciones de trabajo del colaborador.

Al estar el operario saturado al 100%, se puede asegurar que su productividad decaerá con el paso de las horas. Se procede a calcular la productividad promedio de mano de obra en base a la tabla 2 (página 51).

$$P_{MO} = \frac{\text{Piezas fabricadas}}{\text{Tiempo empleado en la fabricación} \times \text{número de operarios}}$$

$$P_{MO} = \frac{1\,565 \text{ unidades}}{1 \text{ día} \times 1 \text{ operario}} = 1565 \frac{\text{unidades}}{\text{día hombre}}$$

$$P_{MO} = \frac{1\,565 \text{ unidades}}{7,3 \text{ horas} \times 1 \text{ operario}} = 213 \frac{\text{unidades}}{\text{hora hombre}}$$

Se consideran 7,33 horas el tiempo empleado a la fabricación debido a que los primeros 20 minutos son de preparación del operario y la maquinaria y los últimos 20 minutos de las 8 horas laborales son de conteo de piezas y limpieza de área, lo cual nos da un restante de 440 minutos o el equivalente a 7,33 horas.

En promedio se producen 213 unidades por hora hombre. Producir dicha cantidad por hora hombre en la realidad no es constante. (Ver figura 35 y tabla 7 en la siguiente página) Esto se debe a que realizar la tarea de pie y repetitivamente provoca molestias en el operario, principalmente en el hombro derecho, codos, muñecas y espalda, además de aburrirlo y cansarlo rápidamente. (Ver figura 36)

Tabla 7. Cálculo de productividad de mano de obra

Horario	Total, de unidades promedio Avellanadas (A)	Cantidad de operarios requeridos (B)	Productividad de mano de obra [(A) / (E) = (F)]
08 h 00 a 09 h 00	140	1	140
09 h 00 a 10 h 00	222	1	222
10 h 00 a 11 h 00	218	1	218
11 h 00 a 12 h 00	217	1	217
12 h 00 a 13 h 00	205	1	205
14 h 00 a 15 h 00	204	1	204
15 h 00 a 16 h 00	213	1	213
16 h 00 a 17 h 00	146	1	146
Total	1 565	1	1 565

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

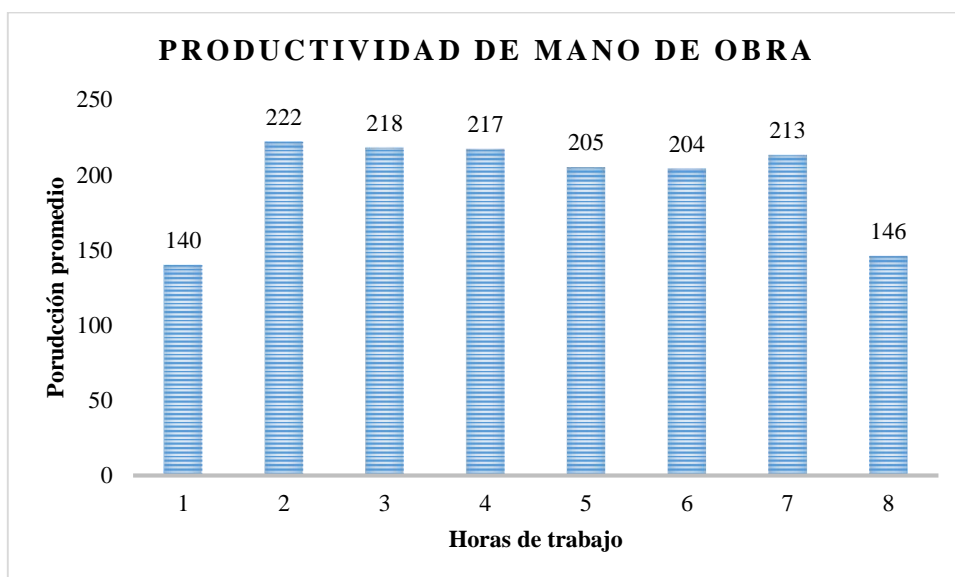


Figura 35. Productividad de mano de obra

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C



Figura 36. Colaborador avellanando
Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Por otro lado, la empresa cuenta con cinco tornos disponibles (tabla 1), de los cuales se designa a tres para realizar el habilitado de los bujes y las bocinas, 2 de ellos operativos y 1 de retén. Cada torno tiene una capacidad de producción de 144 unidades por hora (considerando un tiempo estándar de 25 segundos en el habilitado tanto para bocinas y bujes). Los 2 tornos operativos pueden producir un total de 288 unidades que pasan luego al proceso de avellanado, cuando en realidad esta última estación puede avellanar como máximo 236 unidades por hora considerando un tiempo estándar de 15,2 segundos ya calculado anteriormente. (Ver figura 37)

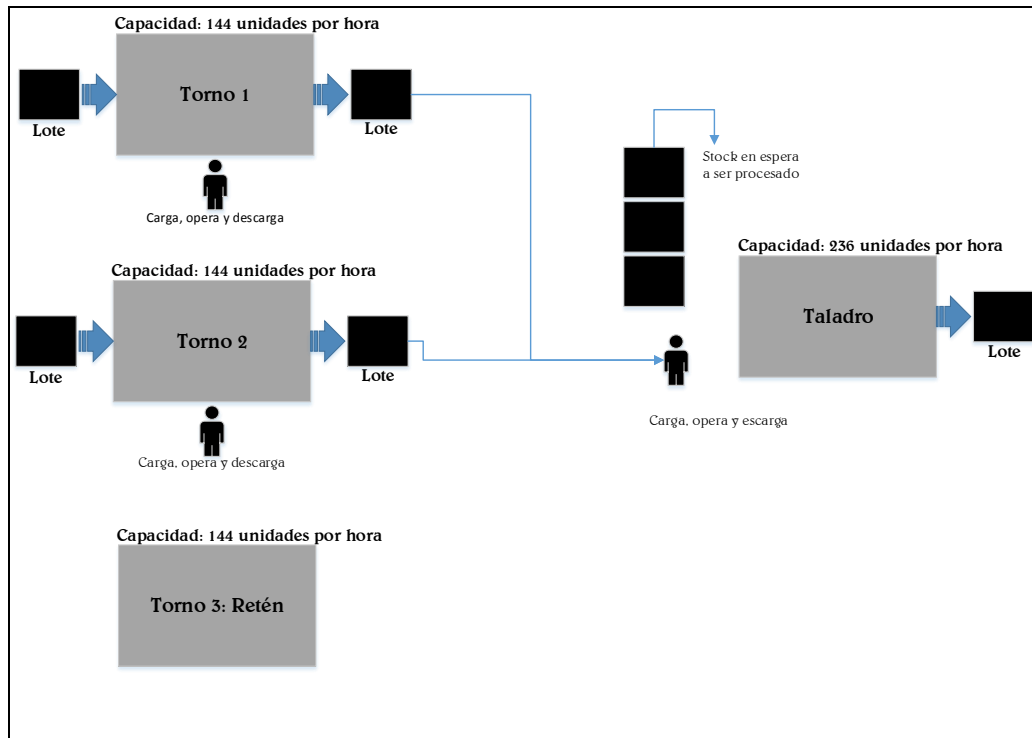


Figura 37. Esquema flujo estación de avellanado.

Tal como el lector ya ha podido deducir, la capacidad del taladro columna viene dada por la habilidad del operario. Mientras menos saturado se encuentre el operador más piezas podrá producir, caso contrario, menos piezas producirá. Aumentar la capacidad de la estación de taladro a través de un sistema automatizado permitirá igualar el flujo de producción y evitar los tiempos de espera y el stock que se acumula en el área de avellanado, mejorando así la productividad del proceso.

Se realizó un estudio de tiempos durante todo el proceso de elaboración de bujes y bocinas, cuyos DAP se presentan en la figura 38 y figura 39.

Se tomaron las siguientes consideraciones para la elaboración de los DAP.

- La cantidad se especificó por unidad. De acuerdo a los planos del producto, por ejemplo, todas las bocinas tienen un largo de 24mm, por lo que de una barra redonda de acero de 1 pulgada se obtienen 250 unidades de bocinas con pestaña. El cortado tiene una duración de 2 minutos, por lo que el tiempo por unidad sería de 0,48 segundos. (120 segundos /250 segundos). De la misma manera se realiza para las demás operaciones.
- Los tiempos de transporte fueron calculados por unidad de igual manera. Por ejemplo, de la estación de habilitado a avellanado se trasladan en baldes de 100 unidades, el cual toma un tiempo de 38 segundos, por lo que el tiempo de transporte por unidad hallado es de 0,38 segundos. De la misma manera se realizó para los demás tiempos de transporte.

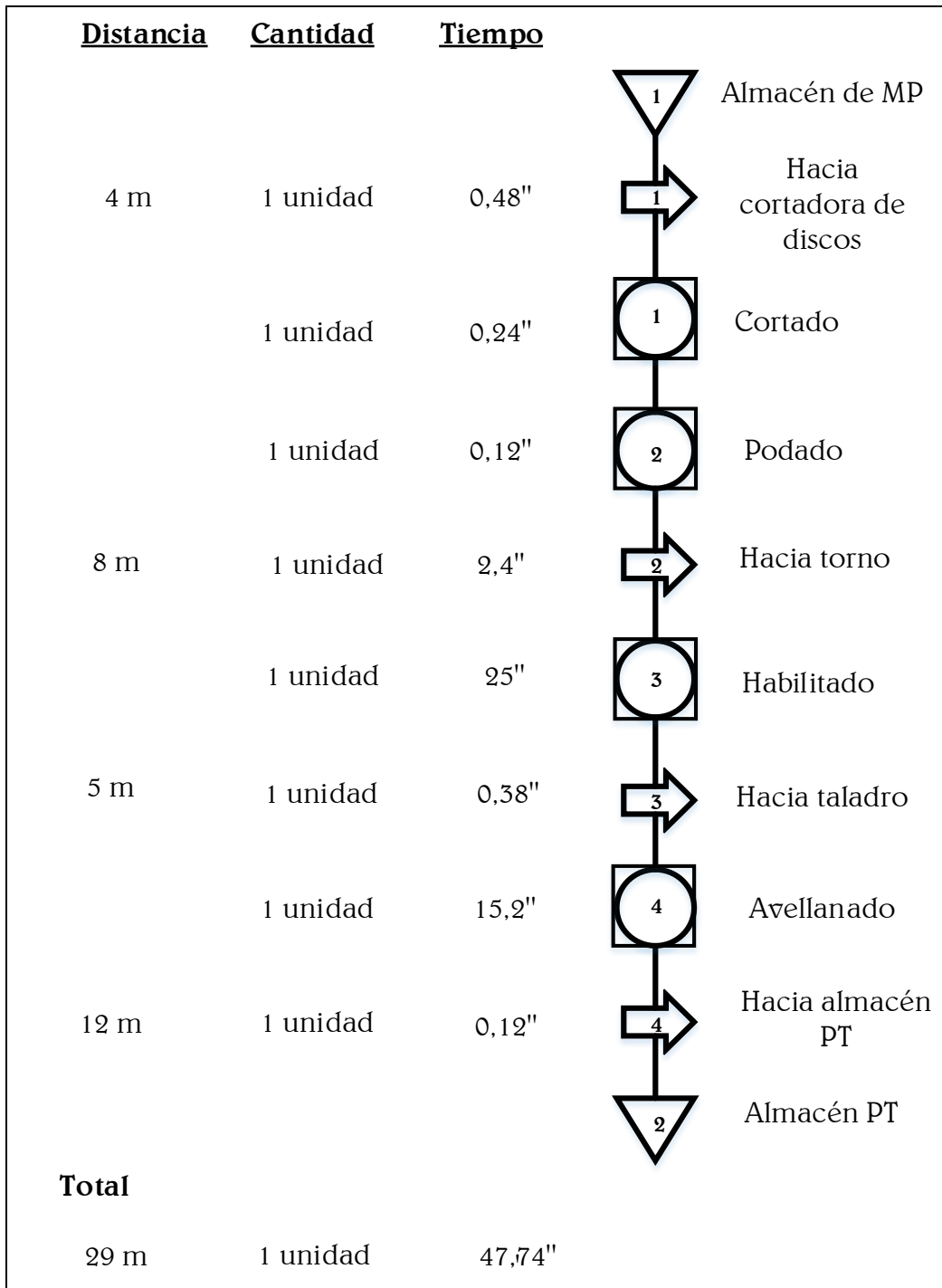


Figura 38. Diagrama de Análisis de Proceso Bocinas con pestaña

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

El diagrama de análisis de proceso de los bujes es similar al de las bocinas, ya que presentan procesos similares.

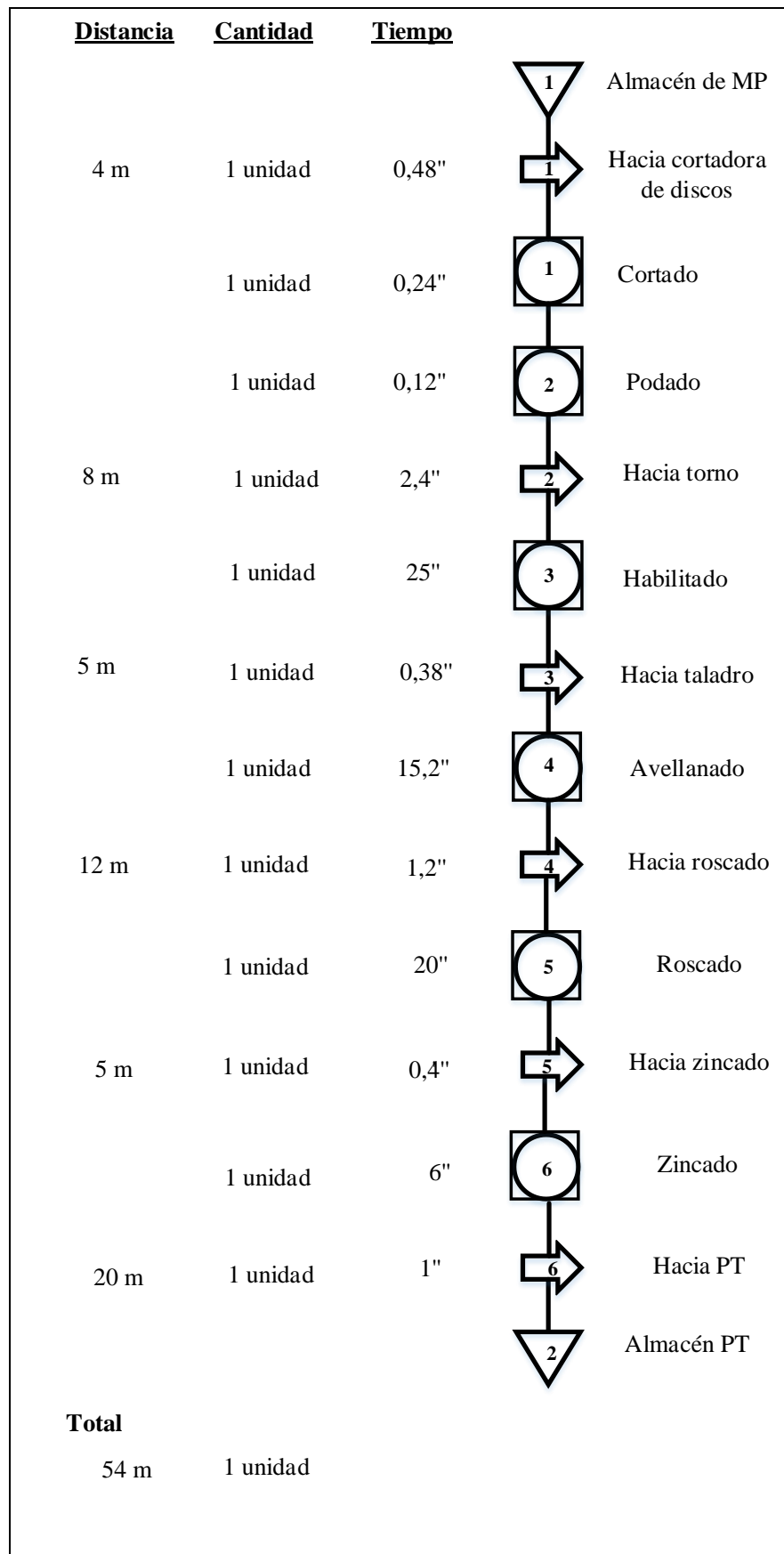


Figura 39. Diagrama de análisis de proceso Bujes

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

De los diagramas de análisis de proceso se puede observar que el habilitado es el que presente mayor tiempo en ambas piezas, pero este se ve reducido a la mitad debido a que la empresa cuenta con 2 tornos mecánicos que realizan el mismo trabajo a la misma capacidad, por lo que en el caso de las bocinas con pestaña el avellanado vendría a ser el cuello de botella. No ocurre lo mismo en el caso de los bujes, en donde el roscado vendría a ser el cuello de botella, seguido del avellanado.

Si se logra automatizar el proceso con el diseño de un nuevo sistema, en la línea de bocinas con pestaña el avellanado ya no sería el cuello de botella, pasando a ser el habilitado el nuevo cuello de botella. Se sugiere como idea futura convertir los tornos mecánicos a hidráulicos para aumentar la productividad del proceso de habilitado, pudiendo ser parte de otro trabajo de investigación. O como otra alternativa, contratar a otro operario que opere el torno de retén y poder así igualar el flujo de producción.

- Indicador:

Hasta el momento se han presentado los siguientes indicadores:

Saturación del operario = 100%

$$P_{MO} = 213 \frac{\text{unidades}}{\text{hora hombre}}$$

$$T_{ciclo} = 15,2 \frac{\text{segundos}}{\text{unidad}}$$

El sistema automatizado se presenta como una oportunidad para reducir la saturación del operario, el tiempo de ciclo y aumentar la productividad de mano de obra.

Debido a la saturación del operario y la consecuente baja capacidad que le dan al taladro columna, siempre se tienen pedidos no atendidos, los cuales si los costeamos tienen un gran impacto económico sobre la empresa. Se procedió a recopilar información de la base de datos de las notas de pedido de la empresa y se comparó con la producción mensual realizada por la empresa.

En la tabla 8 se presenta la demanda prevista en base a los pedidos recibidos versus la producción real de fábrica. Se puede observar que la empresa tiene pedidos no atendidos a lo largo del año 2016, tanto para bujes como para bocinas.

Tabla 8. Pedidos no atendidos de bujes y bocinas

Mes del 2016	Demanda de bocinas con pestaña	Producción real de bocinas con pestaña	Pedidos no atendidos de bocinas	Demanda de bujes	Producción real de bujes	Pedidos no atendidos de bujes
Enero	56 800	37 966	18 834	10 700	3 743	6 957
Febrero	56 900	38 438	18 462	11 100	4 906	6 194
Marzo	57 600	38 895	18 705	10 600	4 947	5 653
Abril	58 400	38 933	19 467	10 800	3 918	6 882
Mayo	58 200	38 788	19 412	10 500	4 291	6 209
Junio	58 000	39 864	18 136	10 000	4 442	5 558
Julio	59 200	38 678	20 522	10 700	4 173	6 527
Agosto	58 400	38 297	20 103	11 500	5 396	6 104
Septiembre	59 600	39 730	19 870	10 500	4 063	6 437
Octubre	59 400	39 050	20 350	11 200	4 322	6 878
Noviembre	58 100	39 635	18 465	11 600	5 086	6 514
Diciembre	58 900	39 730	19 170	11 800	5 023	6 777
Total	699500	468004	231 496	131 000	54 310	76 690
Producción total bujes y bocinas	468 004 + 54 310 = 522 314					

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

La empresa en el año 2016 avellanó un total de 522 314 piezas, cantidad proveniente de la suma de 468 004 bocinas y 54 310 bujes. Como puede observarse, además, la empresa tiene una mayor demanda de bocinas con pestaña por lo que prioriza su producción debido a que es la que mayor beneficio le trae a diferencia de los bujes, que cuenta con menor demanda y presenta un proceso más complejo con más operaciones.

El tercer indicador a presentar es el rendimiento de volumen. El rendimiento de volumen nos indica que tanto ha sido cumplida la producción programada dada en base a la demanda requerida. Su valor ideal es del 100%, y valores menores a este nos indica que la empresa está dejando de atender pedidos debido a la baja productividad de la mano de obra. En base a la tabla 8 se procede a calcular el rendimiento de volumen:

- $Rto_{vol}bocinas = \frac{Producción\ real}{Producción\ programada\ en\ base\ a\ demanda}$

$$Rto_{vol}bocinas = \frac{468\ 004\ unidades}{699\ 500\ unidades} = 66,91\%$$

Se está atendiendo el 66,91% de la demanda requerida de bocinas.

- $Rto_{vol}bujes = \frac{Producción\ real}{Producción\ programada\ en\ base\ a\ demanda}$

$$Rto_{vol}bujes = \frac{54\ 310\ unidades}{131\ 000\ unidades} = 41,46\%$$

Se está atendiendo el 41,46% de la demanda requerida de bujes.

- $Rto_{vol}total = \frac{Producción\ real}{Producción\ programada\ en\ base\ a\ demanda}$

$$Rto_{vol}total = \frac{522\ 314\ unidades}{830\ 500\ unidades} = 62,89\%$$

Se está atendiendo el 62,89% de la demanda requerida de bujes y bocinas.

Es necesario automatizar para mejorar la productividad del proceso, aumentando así la capacidad de producción y lograr alcanzar los pedidos requeridos.

- Impacto económico:

El impacto económico que conlleva esta causa es que, por la baja productividad del proceso de avellanado, no se llegue a producir lo que se espera. Como se puede observar en los diagramas de análisis de proceso de bujes y bocinas (figura 38 y 39 de las páginas 65 y 66), el avellanado es el cuello de botella en el proceso de producción de bocinas con pestaña, por lo que el dejar de avellanar cierta cantidad de bocinas representa una pérdida directa de ingresos e utilidades hacia la empresa. No ocurre lo mismo con los bujes, en donde el roscado es el proceso que toma más tiempo a lo largo de la cadena de producción de dichas piezas, por lo mismo que es cuello de botella, más no el avellanado.

Basados en la tabla 8 y en el comentario del párrafo anterior, en la tabla 9 se presenta las utilidades no percibidas de bocinas para el año 2016. Se conoce por dato de la empresa que cada bocina con pestaña en cualquier medida tiene un beneficio neto de 0,40 céntimos.

Tabla 9. Utilidad no percibida de bocinas con pestaña 2016

Mes del 2016	Bocinas con pestaña no producidas (unidades) (A)	Utilidad no percibida (soles) (A) x 0,4
Enero	18 834	7 533,6
Febrero	18 462	7 384,8
Marzo	18 705	7 482
Abril	19 467	7 786,8
Mayo	19 412	7 764,8
Junio	18 136	7 254,4
Julio	20 522	8 208,8
Agosto	20 103	8 041,2
Septiembre	19 870	7 948
Octubre	20 350	8 140
Noviembre	18 465	7 386
Diciembre	19 170	7 668
Total	231 496	92 598,4

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Fabrication Technology Company S.A.C en el año 2016 perdió 92 598,4 soles en utilidades no percibidas.

B. Equipo y maquinaria

a) Causa: Baja eficiencia de maquinaria

- Evidencia:

Una evidencia que se puede obtener del diagrama hombre máquina presentado en la figura 34 (página 60) es que la máquina solo añade valor al producto durante 7,7 segundos en comparación a todo el tiempo de ciclo que es de 15,2 segundos. Con este dato podemos calcular la eficiencia de la máquina.

La eficiencia de la máquina es el porcentaje de la división de la cantidad de tiempo que la máquina añade valor al producto entre el tiempo total del ciclo. En base al diagrama hombre máquina, se procede a calcular la eficiencia de la máquina.

Tiempo que añade valor al producto: 7,7 segundos.

Tiempo total de ciclo: 15,2 segundos.

$$\text{Eficiencia de la máquina} = \frac{\text{Tiempo que añade valor al producto}}{\text{Tiempo total de ciclo}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de la máquina: } (7,7 / 15,2) \times 100 = 50,7\%$$

Este indicador nos da a entender que el taladro no se está aprovechando eficientemente, desperdiciando dinero debido a los tiempos muertos que presenta, ya que el operario ocupa tiempo en el agarre y sostén de las piezas casi de la misma en la máquina opera para avellanar las piezas.

Como se pudo ver en la tabla 1, la empresa cuenta con 2 taladros columna, ambos utilizados para realizar los procesos de taladrado, roscado interno, aborcadado y avellanado. Un taladro columna está destinado para el taladrado y roscado interno de bujes y carretos y otro taladro está destinado para la línea de avellanado de bujes y bocinas. Con la solución del sistema automatizado a presentar se brindará una máquina nueva exclusivamente para el proceso de avellanado de bujes cb de 3/8 de pulgada y bocinas con pestaña en todos sus espesores, en donde se tenga una eficiencia de la máquina más alta, quedando el taladro actual como apoyo a la línea de carrito (producto principal de la empresa) en el proceso de taladrado de bridas y para el roscado interno de bujes, para de esta manera no generar retrasos ni inventario en proceso que son problemas muy comunes en la empresa.

Las especificaciones del taladro columna dedicado al proceso de avellanado se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Ficha técnica taladro

Ficha técnica taladro	
Marca	Kaili
Modelo	EJ4120HE
Uso:	Industrial
Potencia:	0,5 HP
Velocidad:	3320 RPM
Mandril:	20 mm
Alto:	87 cm
Medida de la mesa:	20 x 20 cm
Medida de la base:	25 x 38 cm
Voltaje:	380– 60Hz
Precio referencial:	S/. 1000

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

- **Indicador:**

Hasta el momento se han presentado el siguiente indicador:

Eficiencia de la máquina: 50,7%

El sistema automatizado se presenta como una oportunidad para aumentar la eficiencia de la máquina.

- Impacto económico:

Como se pudo calcular anteriormente, se le da una utilización del 50,7% de tiempo útil al taladro. En un año se tienen 2112 horas disponibles (7,3 horas diarias, 24 días al mes y 12 meses al año). Según la especificación brindada en la tabla 9, el taladro tiene una potencia de 0,5 HP y funciona con un voltaje de 380 V-60 Hz, y en un año se tienen:

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W} = 0,746 \text{ kW}$$

$$0,5 \text{ HP} = 373 \text{ W} \times 2112 \text{ horas} = 787,8 \text{ kWh}$$

Para un turno de 8 horas (en donde el taladro es utilizado 7,33 horas) el consumo es de:

$$0,5 \text{ HP} = 373 \text{ W} \times 7,33 \text{ horas} = 2,74 \text{ kWh}$$

Con este consumo, y en base a la tabla 2, se puede calcular el indicador de consumo de energía eléctrica por unidad.

$$C_E = \frac{\text{Unidades producidas por turno en la máquina X}}{\text{kWh consumidos en la máquina X en un turno}}$$

$$C_E = \frac{1565 \text{ unidades}}{2,74 \text{ kWh}} = 571,2 \frac{\text{unidades}}{\text{kWh}}$$

Esto quiere decir que con un kWh del taladro se pueden elaborar 571 unidades.

En base al diagrama hombre máquina, solo se utiliza un 50,7% del ciclo para avellanar una pieza por ambos lados, equivalente a 7,7 segundos de tiempo útil. Con los datos de la tabla 8, para una producción de 439 500 unidades en un año, se propone la siguiente relación:

$$\begin{aligned} &7,7 \text{ segundos de tiempo útil del taladro} - 1 \text{ pieza} \\ &X \text{ segundos de tiempo útil del taladro} - 439 \text{ 500 unidades} \end{aligned}$$

$$\text{Donde } X = 3 \text{ 384 150 segundos}$$

En un año se tienen 3 384 150 segundos de tiempo útil de la máquina, equivalente a 940 horas de trabajo. Por lo que:

$$0,373 \text{ kW} \times 940 \text{ horas} = 350,6 \text{ kWh utilizados en un año.}$$

Con tal dato, la potencia pérdida en un año es:

$$\text{Potencia perdida en un año: } 787,8 \text{ kWh} - 350,6 \text{ kWh} = 437,2 \text{ kWh}$$

En Lambayeque, ELECTRONORTE S.A distribuye la electricidad en tres niveles de tensión, alta, media y baja. La alta tensión es cuando el nivel de voltaje es superior a 40 kV, solo es asociado para la transmisión y subtransmisión; media tensión, para instalaciones y equipos del sistema de distribuidor que operan entre 600 voltios y 40 kV, asociados a las tarifas MT2, MT3 y MT4; y finalmente la baja tensión, para instalaciones y equipos que operan a voltajes inferiores a los 600 voltios, asociados a tarifas BT2, BT3, BT4, BT5A, BT5 No residencial y BT5B Residencial. (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2015)

La empresa cuenta con una tarifa BT5 no residencial pagando mensualmente 245 soles en promedio (anexo 8). El costo de energía activa para la tarifa BT5 es de S/. 0,5306 por kWh. Para el proceso de avellanado en un turno se tiene el siguiente costo por tiempo muerto de máquina:

$$\begin{aligned} \text{Costo por tiempo muerto de máquina en un año:} \\ 0,5306 \text{ S// kWh} \times 437,2 \text{ kWh} = 232 \text{ soles} \end{aligned}$$

En el proceso de avellanado de bujes y bocinas, se está perdiendo anualmente 232 soles por concepto de energía eléctrica.

Resumiendo, en la tabla 11, se muestran las causas y sus impactos económicos en la empresa al año.

Tabla 11. Causas con sus impactos económicos

Causa	Impacto económico (S/.)
C1: Errores del operario durante el proceso de avellanado	1318,2
C2: Saturación del operario	92 598,4
C3: Baja eficiencia de maquinaria	232
TOTAL:	94 148,6

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

Según la tabla 11, la empresa está perdiendo 94 148,6 soles al año debido a la baja productividad del proceso de avellanado de bujes y bocinas.

Finalmente, en la tabla 12, se muestran los indicadores a utilizar para posteriormente medir los resultados logrados.

Tabla 12. Causas con indicadores hallados

Causa	Indicadores
C1: Errores del operario durante el proceso de avellanado	$FTT = 92,52 \%$
C2: Saturación del operario	<p>Saturación del operario = 100%</p> $P_{MO} = 213 \frac{\text{unidades}}{\text{hora hombre}}$ $T_{ciclo} = 15,2 \frac{\text{segundos}}{\text{unidad}}$ <p>Producción bocinas= 468 004</p> <p>Producción bujes= 54 310</p> <p>Producción total=522 314</p> $Rto_{vol}bocinas = 66,91\%$ $Rto_{vol}bujes = 41,46\%$ $Rto_{vol}total = 62,89 \%$
C3: Baja eficiencia de maquinaria	<p>Eficiencia de la máquina: 50,7%</p> $C_E = 571,2 \frac{\text{unidades}}{kWh}$

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

3.2 DESARROLLO DE PROPUESTA DE MEJORAS EN EL SISTEMA PRODUCTIVO

Al momento de diseñar una máquina o equipo, las posibilidades existentes para la elección de componentes son inmensas, desde la fabricación de cada una de las piezas a requerir hasta el ensamblaje de ellas junto a elementos comerciales. Es por ello, que en esta etapa se justificó cada decisión tomada para el diseño del sistema, en virtud de tener un equipo que cumpla con el objetivo del proyecto de aumentar la productividad del proceso de avellanado. Presentada la mejora, se procedió a calcular los nuevos indicadores.

3.2.1 Concepto general del diseño

El concepto general del diseño nace principalmente del movimiento que realiza la broca al momento de realizar el avellanado. Basado en la figura 32 (página 50), se presenta en la figura 40 el concepto graficado del proceso actual, en donde la broca se mueve de manera vertical para poder avellanar la pieza, la cual a su vez es sostenida por un alicate a presión operada por la persona encargada del proceso.

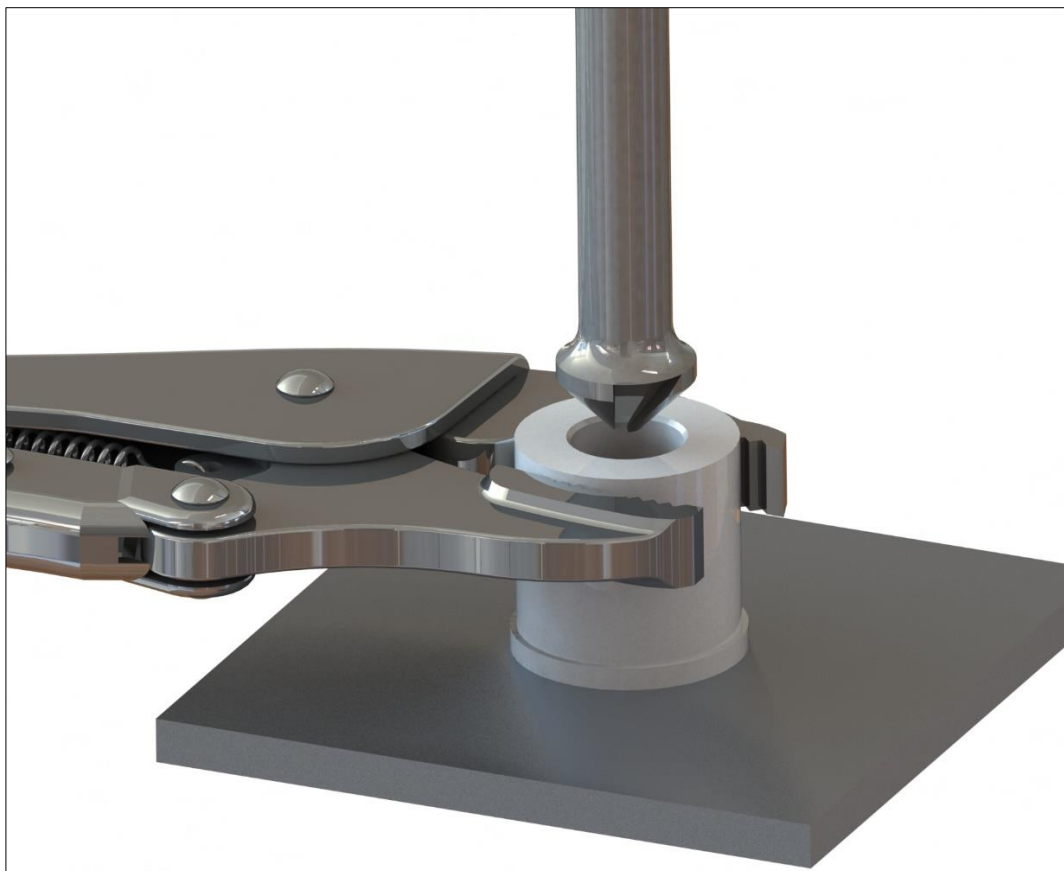


Figura 40. Proceso de avellanado actual (Forma vertical)

La principal desventaja de este método es que solo permite avellanar un lado de la pieza a la vez, debido a que una cara (la inferior) está tapada por una estructura improvisada acoplada a la mesa de taladro (figura 32), y lo que se busca es poder avellanar ambos lados a la misma vez, para de esta manera poder reducir el tiempo del proceso de avellanado.

La opción que se propone en el presente diseño es realizar el avellanado de tal forma que la broca avellanadora entre de manera horizontal, en donde ambas caras de la pieza están descubiertas para que, en este caso, ambas sean avellanadas a la vez y poder así aumentar la velocidad del proceso. Por lo tanto, es parte del diseño utilizar dos brocas avellanadoras. En la figura 41 se presenta un bosquejo de lo comentado anteriormente.

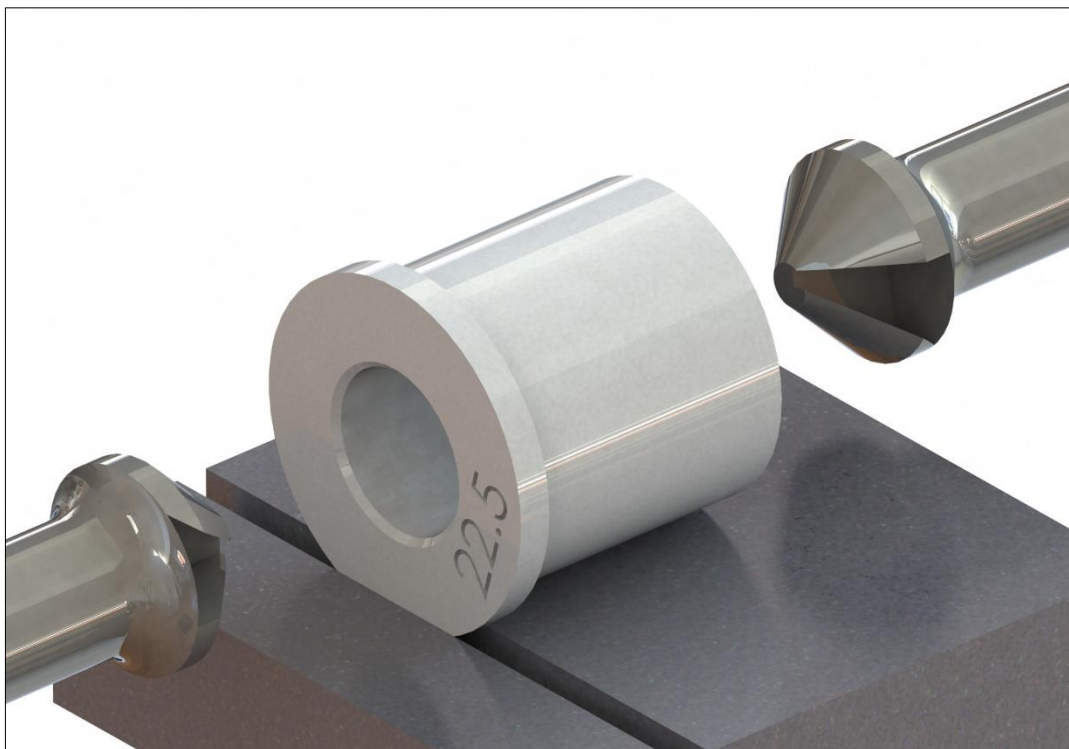


Figura 41. Proceso de avellanado propuesto (Forma horizontal)

El proceso de avellanado genera una leve vibración, por lo que será necesario acoplar topes los cuales sujeten a la pieza de tal forma que no escape de la zona de avellanado.

Con lo anteriormente comentado, se ha planteado el diseño de la máquina, de forma que el operario coloque las piezas en un alimentador, el cual haga resbalar las piezas hacia una zona a la cual he llamado zona de empuje. Ya en la zona de empuje, a través de una estructura acoplada a un pistón neumático la pieza avanzará hasta llegar a la zona de avellanado, en donde una estructura acoplada a un pistón neumático lo estará esperando, para de esta manera, aprisionar a la pieza y evitar que se mueva a pesar de la vibración que se generará el proceso. La idea de colocar dos estructuras accionadas por pistones neumáticos los cuales aprisionen a la pieza nace del mismo

concepto de funcionamiento actual del proceso, en donde se realiza de forma manual, por medio de un alicate de presión sostenido por el operario (se tratará de emular el mismo funcionamiento, pero sin la presencia de la persona)

Una vez que la pieza ha llegado a la zona de avellanado y está sujeta, las brocas avellanadoras harán su trabajo respectivo, entrando a la pieza a una determinada distancia (calibrada por un sensor) para realizar el maquinado de la pieza. Una vez realizado el avellanado, se retirará a la pieza de la zona de avellanado a través de la retracción de una estructura acoplada a uno de los pistones que sujeta a la pieza por la parte inferior y también de la retracción de una de las estructuras acopladas al pistón que aprisiona la pieza, los cuales, una vez que estén en su posición inicial, harán que la pieza caiga por gravedad hacia una zona de acopio de producto terminado ubicado en la parte inferior del sistema. Con esto se habrá avellanado a una pieza, sea buje o bocina, por ambos lados, a una velocidad más rápida que la del proceso actual.

Para presentar el concepto general del diseño, se ha creído conveniente presentar el sistema automatizado en subsistemas, para de esta manera describir cada una de forma independiente y poder ver su aporte en el diseño final. Se han identificado los siguientes subsistemas:

1. Subsistema de soporte a estructura general.
2. Subsistema de avance de brocas avellanadoras.
3. Subsistema de alimentación, posicionamiento y retiro de piezas.

Los requerimientos mínimos con los que debe cumplir el sistema son los siguientes:

- Avellanar un buje o bocina, por ambos lados a la vez, en un tiempo menor al actual. El control del sistema automatizado se realizará mediante un PLC.
- Alta eficiencia y seguridad en el proceso de avellanado.
- Intervención del operario solo al cargar el material.
- Fácil mantenimiento o reemplazo en caso falle algún elemento o se deteriore.
- Elementos de protección eléctrica para actuadores.
- Diseño de fácil transporte y que se pueda desinstalar para fácil mantenimiento.
- El suministro de energía eléctrica deberá ser de 380 V trifásico.
- Aumentar la productividad del proceso.

En base a los requerimientos, en la figura 42, se presenta el concepto de la solución con sus vistas principales en sistema europeo y en la figura 43 una imagen renderizada del sistema.

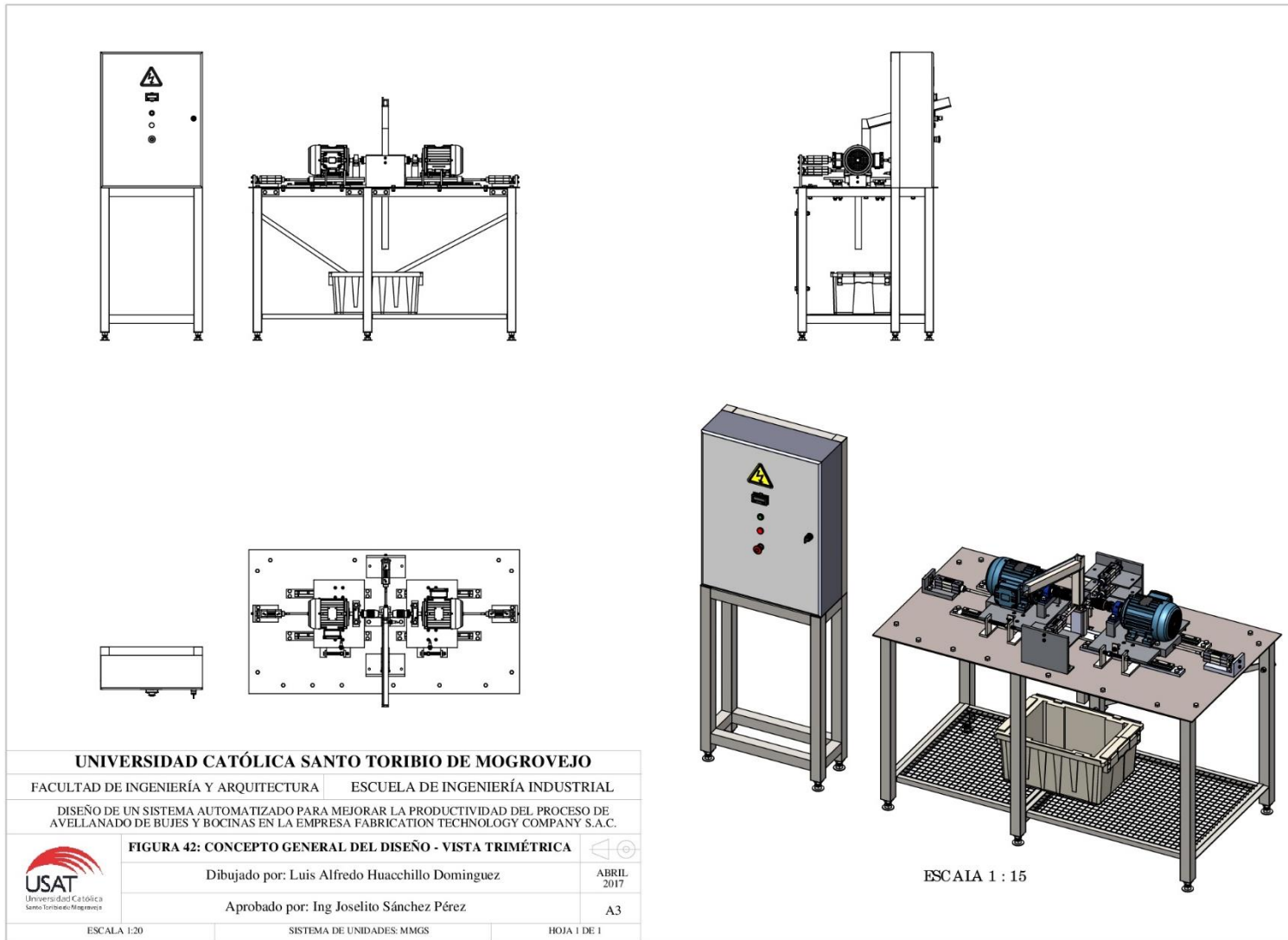


Figura 42. Concepto general de diseño - vista trimétrica

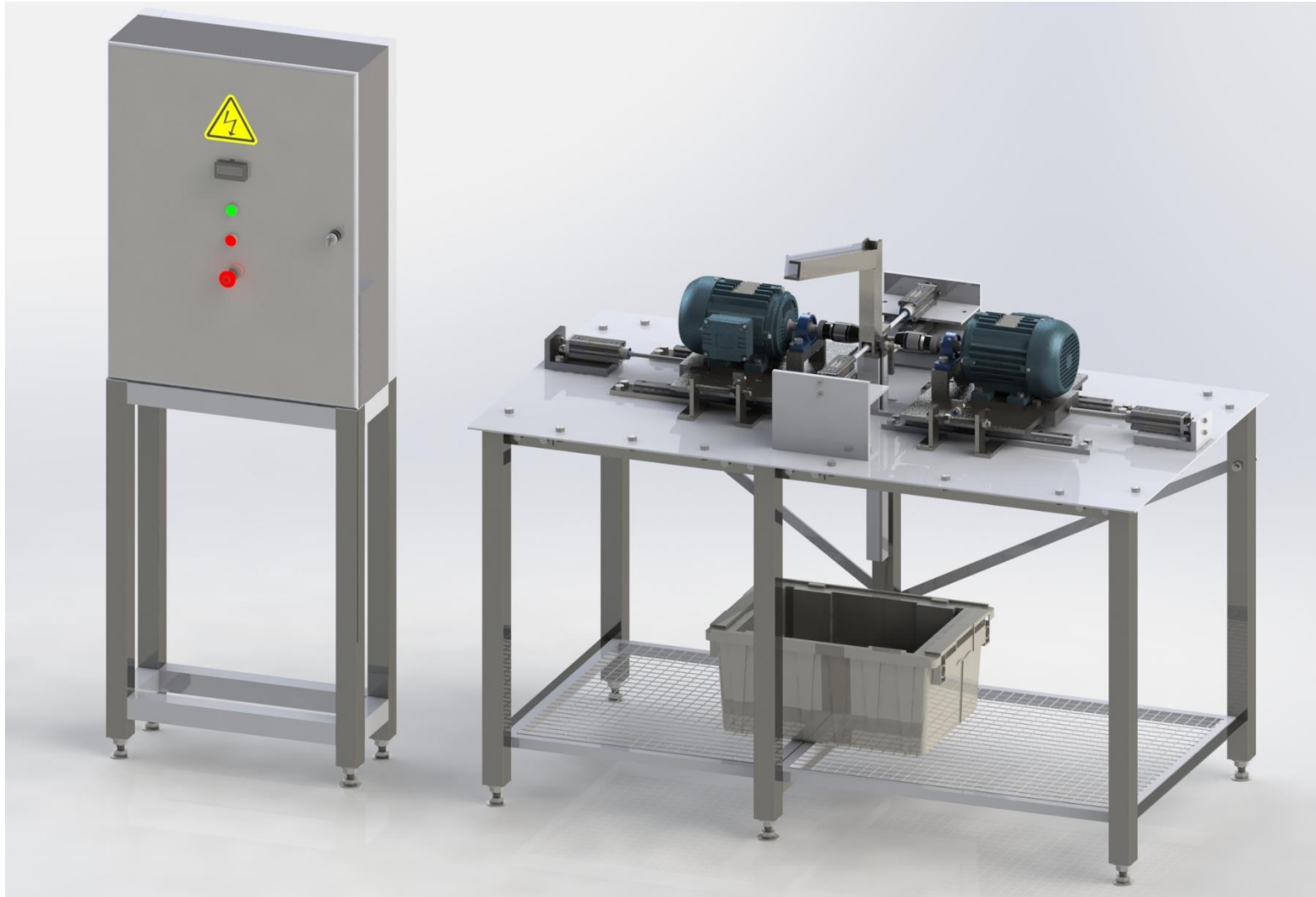


Figura 43. Vista trimétrica del diseño – Renderizado generado en Solidworks

El concepto de la solución presentada nace de la experiencia e investigación del autor, del aporte del personal de la empresa y del asesor del proyecto, en búsqueda de que el diseño cumpla de la mejor manera con los requerimientos establecidos. A continuación, se detallará cada subsistema.

3.2.1.1 Soporte general

El objetivo de este subsistema es brindar el soporte adecuado a toda la estructura que realizará en sí el proceso de avellanado.

Para cumplir con esta meta se pensó en una estructura metálica, en una mesa de trabajo totalmente desarmable, con las dimensiones ideales de espacio para que el operario que supervisará la maquinaria pueda caminar sin ningún inconveniente y el proceso se realice de la forma más segura posible.

En la figura 44 se presentan las vistas principales del soporte general, en la figura 45 la vista explosionada con lista de materiales y en los anexos (16 en adelante) las dimensiones de las piezas que componen el subsistema. En la tabla 13 se listan los materiales a utilizar para su fabricación.

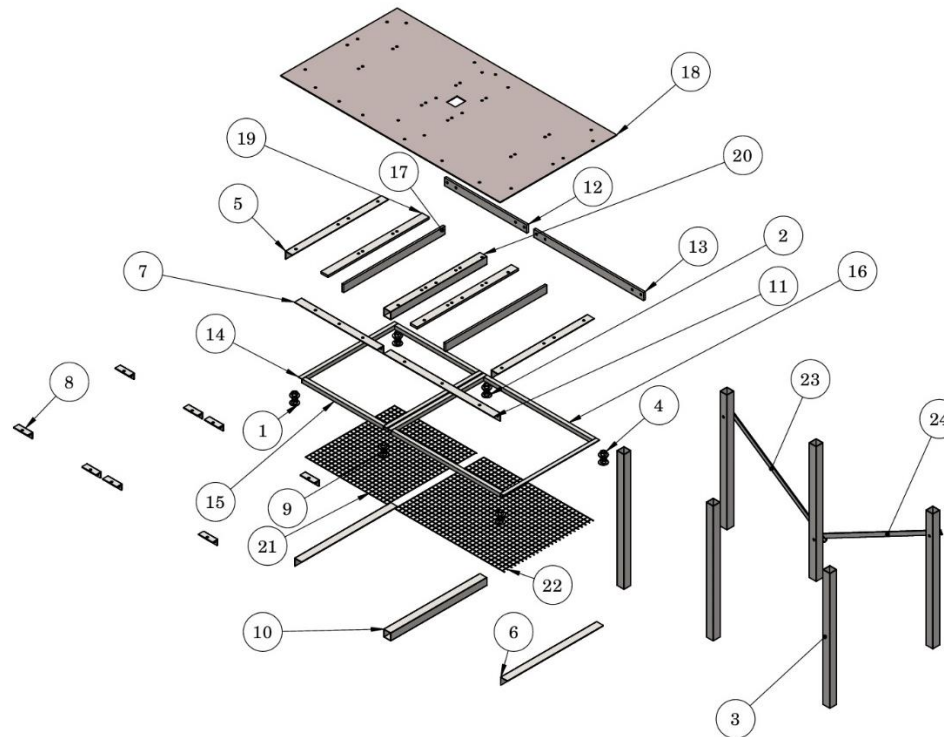
Tabla 13. Lista de materiales para soporte general

Ítem	Descripción
1	Tubo cuadrado LAC ASTM 500 de 2" por 6 m y espesor de 2 mm.
2	Arandela de 1"
3	Perno de cabeza hexagonal de 3/4" x 2"
4	Tuerca de cabeza hexagonal de 3/4"
5	Ángulo Estructural de 2" x 2" x 1/8" x 6 m
6	Ángulo Estructural de 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16" x 6 m
7	Platina de 1/2" x 2" x 6 m
8	Ángulo Estructural de 25 mm x 25 mm x 3 mm x 6 m
9	Tubo cuadrado LAC ASTM 500 de 25 mm por 6 m y espesor de 2 mm.
10	Malla metálica calibre 16
11	Plancha LAC Calidad Estructural PDLAC A36 de 4.5 mm x 1200 mm x 2400 mm
12	Perno de cabeza hexagonal de 1/2" x 1 1/2" Hilo corriente
13	Perno de cabeza hexagonal de 1/2" x 2" Hilo corriente
15	Primario anticorrosivo y esmalte a color de preferencia (en caso desee pintarse)
16	Tuerca de 1/2"



Figura 44. Vistas subsistema de soporte general

LISTA DE MATERIALES		
N° DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ARANDELA DE 1 PULGADA	6
2	TUERCA DE 3/4 PULGADA POR 2 PULGADAS	6
3	TUBO CUADRADO DE 2 PULGADAS POR 2 PULGADAS ESPESOR 2 mm. LARGO 85 cm	6
4	TUERCA DE 3/4 PULGADA SOLDADA A TUBO	6
5	ANGULO DE 2 PULGADAS POR 2 PULGADAS POR 1/8 PULGADAS LARGO 70 cm	2
6	ANGULO 2 PULGADAS POR 2 PULGADAS POR 1/8 PULGADAS LARGO 70 cm	2
7	ANGULO 2 PULGADAS POR 2 PULGADAS POR 1/8 PULGADAS LARGO 60 cm	1
8	ANGULO 1 1/2 PULGADAS POR 1 1/2 PULGADAS POR 3/16 PULGADAS LARGO 4 PULGADAS	8
9	TUERCA DE 3/4 PULGADA	6
10	TUBO CUADRADO 2 PULGADAS POR 2 mm ESPESOR LARGO 70 cm	1
11	ANGULO 2 PULGADAS POR 2 PULGADAS POR 1/8 PULGADAS LARGO 80 cm	1
12	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 1/2 PULGADA LARGO 60 cm	1
13	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 1/2 PULGADA LARGO 80 cm	1
14	ANGULO 25 mm POR 25 mm POR 3 mm. LARGO DE 70 cm.	4
15	TUBO CUADRADO 1 PULGADA ESPESOR 2 mm. LARGO DE 594 mm	2
16	TUBO CUADRADO 1 PULGADA ESPESOR 2 mm. LARGO DE 794 mm	2
17	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 1/2 PULGADA LARGO 738 mm	2
18	PLANCHA 4.5 mm ESPESOR POR 1600 mm LARGO POR 850 mm ANCHO	1
19	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 1/2 PULGADA LARGO 738 mm	2
20	TUBO CUADRADO DE 2 PULGADAS ESPESOR 2 mm. LARGO 70 cm	1
21	MAJILLA CALIBRE 16 600 mm X 600 mm	1
22	MAJILLA CALIBRE 16 800 mm X 800 mm	1
23	PLATINA 1 PULGADA POR 1/4 PULGADA LARGO 85 cm.	1
24	PLATINA 1 PULGADA POR 1/4 PULGADA LARGO 1020 mm	1



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.	
FIGURA 45: VISTA EXPLOSIONADA SOPORTE GENERAL	
Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez	
Aprobado por: Ing Joselito Sánchez Pérez	
	
NO CAMBIE DE ESCALA	ESCALA: 1:25
SISTEMA DE UNIDADES: MMGS	HOJA 1 DE 1
	
ABRIL 2017 A3	

Figura 45. Vista explosionada soporte general

Además de los materiales nombrados en la tabla 13, para el armado de la mesa serán necesarios accesorios y herramientas como cintas métricas, prensas o sargentos, equipos de protección personal, escuadras, llaves, los cuales deberán ser asumidos por la empresa encargada de la elaboración de la estructura, razón por la cual no se consideran en el costo total del equipo.

Como se puede observar en la figura 45, en donde se muestra la vista explosionada del subsistema de soporte general, la mesa es totalmente desarmable, y está compuesta por elementos que se unen entre sí a través de soldadura y que se unen para formar la estructura final a través de ensambles no permanentes (pernos y tuercas).

Para el armado de la estructura, se realizarán las siguientes etapas de manufactura:

- a) Corte: Los tubos cuadrados, las platinas, los ángulos estructurales, así como la plancha de acero deberán ser cortados a las medidas especificadas en los planos presentados en la figura 45 y anexos a partir del número 16
- b) Pulido: Los extremos de cada material deberán ser pulidos para un mejor acople a las estructuras que van adjuntas.
- c) Taladrado: En base a los planos especificados en los anexos (a partir del anexo 16), se deberá taladrar los agujeros necesarios que permitirán el pase de pernos para el ensamble de la estructura en general.
- d) Ensamble: En base a los planos especificados en los anexos (ver figura 45 y anexos a partir del número 16), se procederá a realizar el ensamble de las piezas correspondientes ya sea a través de ensambles permanentes (soldadura) y/o ensambles no permanentes (pernos, tuercas, arandelas, pasadores, etc)
- e) Pintado: Para una mejor presentación del proyecto se puede pintar la estructura de la mesa a través de la aplicación de un primario anticorrosivo y luego esmalte a color de preferencia.
- f) Inspección final: Si todo ha estado dentro de las especificaciones no debe ocurrir ningún inconveniente con la estructura. Nivelar la mesa es parte de esta etapa.

Para la fabricación del soporte general se ha optado por tubos cuadrados laminados en caliente, planchas laminadas en caliente, platinas o soleras y ángulos estructurales. La justificación para estas elecciones se debe a que en la industria metalmecánica (tanto fabricantes como proveedores), se recomienda el uso de estos materiales cuando se requiere fabricar estructuras metálicas como puertas, ventanas, mesas, rejas, carrocerías, entre otros; debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad, ya que se puede adaptar a cualquier tipo de ambiente.

3.2.1.2 Avance de brocas avellanadoras

El objetivo de este subsistema es permitir el avance de las brocas avellanadoras hasta una distancia especificada, para de esta manera lograr avellanar en un mismo tiempo la pieza por ambos lados.

Para cumplir con esta meta se pensó en el uso de guías lineales (figura 46), las cuales permiten un recorrido lineal, uniforme y variable de acuerdo a las especificaciones del usuario. Estas guías lineales están compuestas de un carro (rodamiento lineal) y un raíl, y es en este carro, en donde se puede acoplar una base que puede soportar cargas sin desviarse y sin generar algún problema. Esta carga en el proyecto de investigación viene dada por el motor a sostener, así como la estructura necesaria para su correcto ensamble. Las guías lineales son muy utilizadas actualmente en el mundo de la automatización, como en máquinas CNC e impresoras 3D.



Figura 46. Guía lineal: Carro (Rodamiento lineal) y Raíl

Fuente: SKF

Para el presente subsistema se pensó en un diseño que optimice espacio, y sobretodo que permita un avance seguro, fácil y rápido de la broca avellanadora hacia la pieza.

Como se puede observar en la figura 47, para el avance del carro (el cual soportará toda la carga y permitirá el avance) se pensó en una estructura acoplada a un pistón neumático la cual empuje la estructura acoplada al carro. Cabe resaltar que, si se mueve el carro, a su vez se mueve el motor y la broca en forma lineal hacia la pieza. El recorrido del carro, vendrá calibrado por un sensor inductivo, el cual detecte la presencia de una tuerca acoplada a una varilla roscada que finalmente se podrá calibrar para determinar la distancia que avanzará el rodamiento lineal, y por lo tanto el motor y la broca avellanadora.

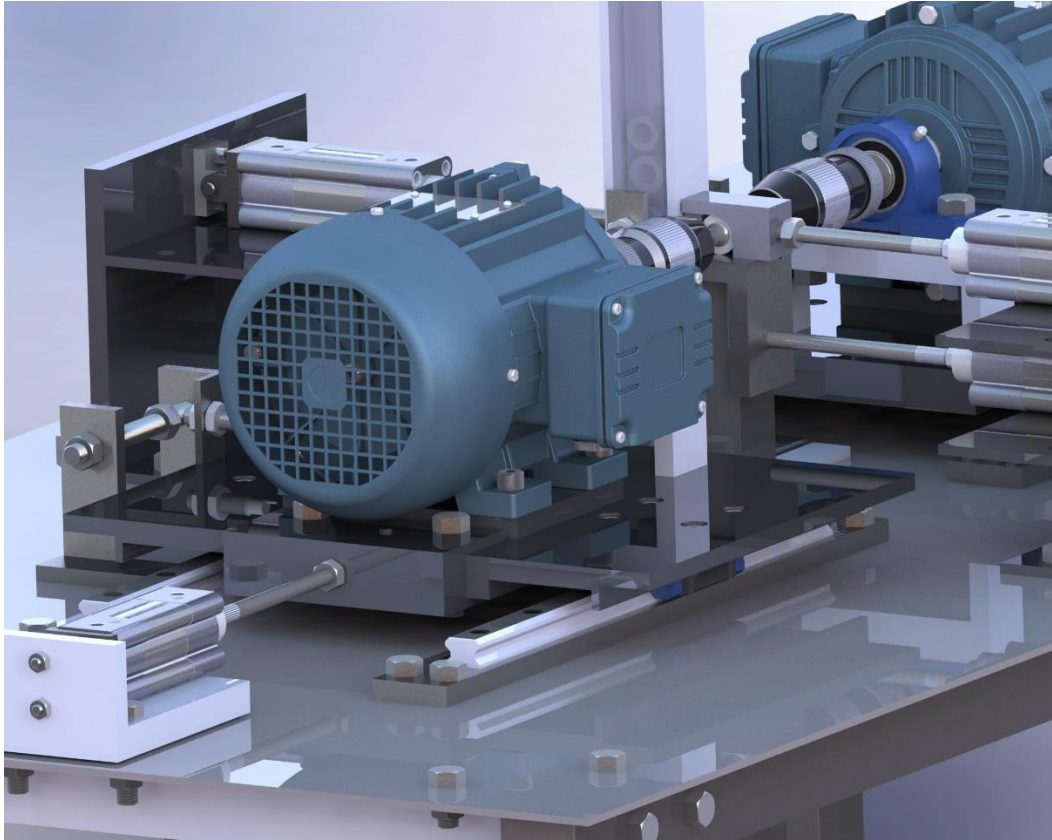


Figura 47. Funcionamiento de guía lineal

En la figura 48 se presentan las vistas principales del subsistema de avance de brocas avellanadoras tomando como referencia la mesa del soporte general, en la figura 49 la vista explosionada con lista de materiales y en los anexos (16 en adelante) las dimensiones de las piezas que componen el subsistema. En la tabla 14 se listan los materiales a utilizar para su fabricación.

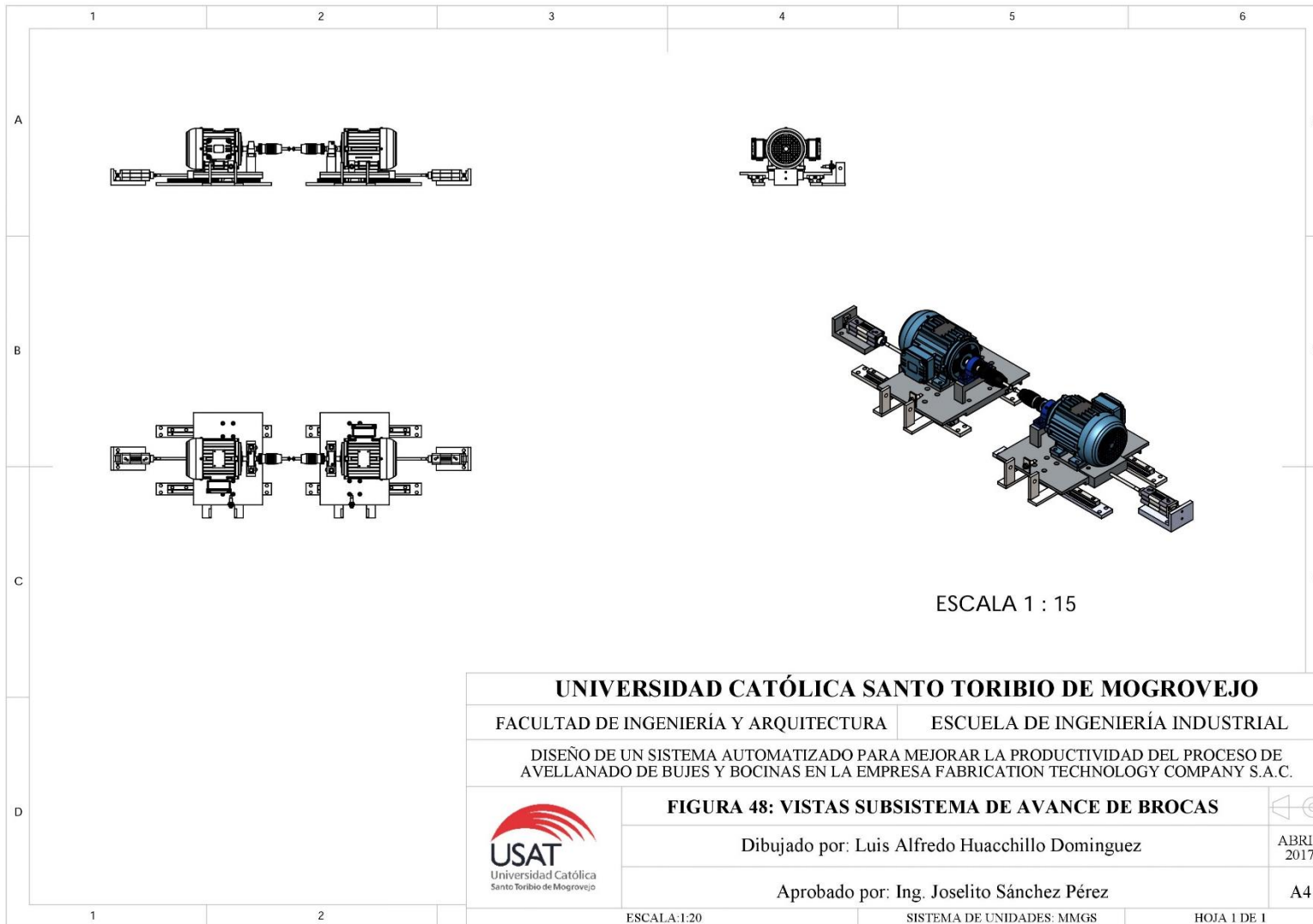
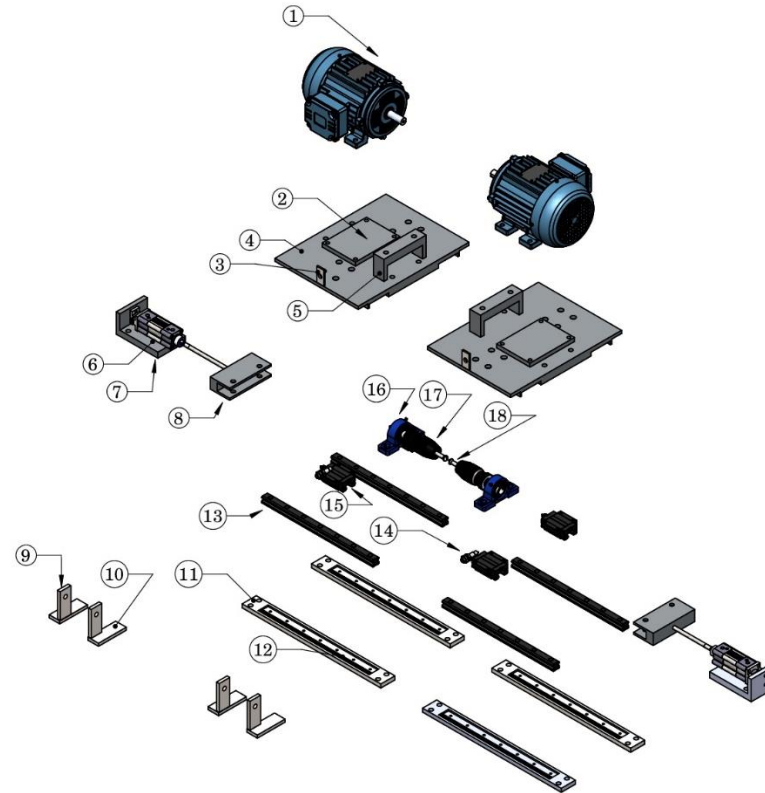


Figura 48. Vistas subsistema de avance de brocas

LISTA DE MATERIALES		
Nº DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	MOTOR WEG W22 E3 PREMIUM EFFICIENCY ASÍNCRONO TRIFÁSICO 0,5 HP 8 POLOS 220/380 V	2
2	PLANCHA DE 1/2 PULGADA POR 160 mm POR 120 mm	2
3	PLATINA DE 1 PULGADA POR 3/8 PULGADA LARGO DE 50 mm. (PARA ACOPLAR SENSO R)	2
4	PLANCHA DE 1 PULGADA POR 300 mm POR 1300 mm	2
5	PLANCHA DE 1/2 PULGADA (38,1 mm POR 68,6 mm) SOLDADA A PLANCHA DE 1 PULGADA (38,1 mm POR 127 mm)	2
6	CILINDRO NEUMÁTICO CON BRIDA BASCULANTE DIÁMETRO DE EMBOLO 32 MM, DIÁMETRO DE VÁSTAGO 10MM, CARRERA DE 125 MM. DE Doble efecto	2
7	PLANCHA DE 1/2 PULGADA (100 mm POR 50,8 mm) SOLDADA A OTRA PLANCHA DE 1/2 PULGADA y 1/4 PULGADA (100 mm POR 150 mm)	2
8	PLANCHA DE 1 PULGADA (25,4 mm por 150 mm) SOLDADA A PLANCHA DE 1/4 DE PULGADA (70,4 mm por 150 mm)	2
9	PLATINA DE 1 1/2 PULGADAS POR 3/8 PULGADAS LARGO DE 90 mm) SOLDADA A PLATINA DE 1 1/2 PULGADAS POR 3/8 PULGADAS LARGO de 100 mm)	2
10	PLATINA DE 1 1/2 PULGADAS POR 3/8 PULGADAS LARGO DE 90 mm) SOLDADA A PLATINA DE 1 1/2 PULGADAS POR 3/8 PULGADAS LARGO de 100 mm)	2
11	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 1/2 PULGADA LARGO DE 500 mm	4
12	PLATINA DE 1/2 PULGADAS POR 1/8 PULGADAS LARGO DE 400 mm	4
13	RAÍL DE 400 mm DE LARGO	4
14	SENSO R INDUCTIVO	2
15	RODAMIENTO LINEAL (CARRO)	4
16	CHUMACERA DE PPS 20 mm	2
17	FORNABRO CAS 16 MM	2
18	BROCA AVELANADORA 15 MM 90 GRADOS	2



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.	
FIGURA 49: VISTA EXPLOSIONADA AVANCE DE BROCAS	
Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez	
Aprobado por: Ing Joselito Sánchez Pérez	
NO CAMBIE DE ESCALA ESCALA: 1:10 SISTEMA DE UNIDADES: MMGS	

Figura 49. Vistas explosionada avance de brocas

Tabla 14. Lista de materiales para subsistema de avance de broca

Ítem	Descripción
1	Guía Lineal conjunto raíl y rodamiento lineal (carro)
2	Platina de 1/2" x 2" x 6 m y de 1/8" x 1/2" x 6 m
3	Perno de cabeza hexagonal de 1/2" x 1 1/2" Hilo corriente
4	Plancha LAC de 1" x 1200 mm x 2400 mm
5	Motor trifásico asíncrono de jaula de ardilla de 0,5 HP 8 polos 380 V
6	Chumacera de piso de 20 mm
7	Portabrocas industrial 16 mm
8	Broca avellanadora AV6 HSS DIN 335C 90° 15 mm
9	Barra redonda de 3/4" x 6 m
10	Barra redonda lisa de 3/4
11	Pernos socket M10
12	Plancha LAC de acero de 1/4 pulgada y de 1/2 pulgada
13	Conjunto de sistema neumático (2 actuadores neumáticos de diámetro de émbolo de 32 mm, diámetro de vástago de 10 mm, carrera de 125 mm, de doble efecto, con electroválvula de 5 a 2, compresor, mangueras y roscas)
14	Sensor inductivo Schneider Electric XS618B1PAL2

Como se puede observar en la figura 49, en donde se muestra la vista explosionada del subsistema de avance de broca, el subsistema es totalmente desarmable, y está compuesto por elementos que se unen entre sí a través de soldadura y que se unen para formar la estructura final a través de ensambles no permanentes (pernos y tuercas).

Para el armado de la estructura, se propone realizar las siguientes etapas de manufactura:

- a) Corte: La plancha de acero, así como las platinas, deberán ser cortados a las medidas especificadas en los planos presentados en la figura 45 y anexos a partir del número 16.
- b) Fresado: Las platinas, así como la plancha de 1 pulgada, deberán ser fresadas de acuerdo a las medidas especificadas con el fin de acoplar a las estructuras que van adjuntas.
- c) Taladrado: En base a los planos especificados en los anexos (ver figura 45 y anexos a partir del número 16), se deberá taladrar los agujeros necesarios que permitirán el pase de pernos para el ensamble de la estructura en general.
- d) Ensamble: En base a los planos especificados en los anexos (ver figura 45 y

anexos a partir del número 16) se procederá a realizar el ensamble de las piezas correspondientes ya sea a través de ensambles permanentes (soldadura) o ensambles no permanentes (pernos, tuercas, arandelas, pasadores, etc)

- e) Pintado: Esta opción es opcional, para una mejor presentación del proyecto se puede pintar la estructura de la mesa a través de la aplicación de un primario anticorrosivo y luego esmalte a color de preferencia.
- f) Calibrado e inspección final: Si todo ha estado dentro de las especificaciones no debe ocurrir ningún inconveniente con la estructura. La calibración del eje del motor con la chumacera, así como el correcto ensamble de las guías lineales es vital para asegurar un correcto funcionamiento del sistema. El avance de la broca avellanadora podrá calibrarse a través del sistema perno tuerca dependiendo si es un buje o bocina.

Es necesario detallar los datos técnicos de algunos elementos a utilizar presentados en diseño del subsistema como lo es la guía lineal, el motor y los actuadores neumáticos.

▪ **Guía lineal**

En primer lugar, se necesitaba que la broca avellanadora avance a lo largo del eje X (forma horizontal), y como se sabía que la broca iba ir acoplada a un portabrocas, y esta última al eje de un motor, se necesitaba un sistema de movimiento lineal que avance y retroceda estructuras en una determinada dirección, y que a su vez aguante la masa de dicha estructura. Por lo que, tomando como base los sistemas de movimiento lineal en los CNC, se descubrió que dicho movimiento de avance y retroceso de estructuras se lo daba un elemento llamado guía lineal.

El diseño presentado de la guía lineal en la figura 49, corresponde a la guía lineal de la marca SKF y de la serie LLT, con código LLTHC A 25 P3 T0. En la figura 50 se muestra la pieza aislada renderizada dibujada en formato CAD, la cual va acoplada al diseño, y su lado izquierdo la pieza en la realidad.

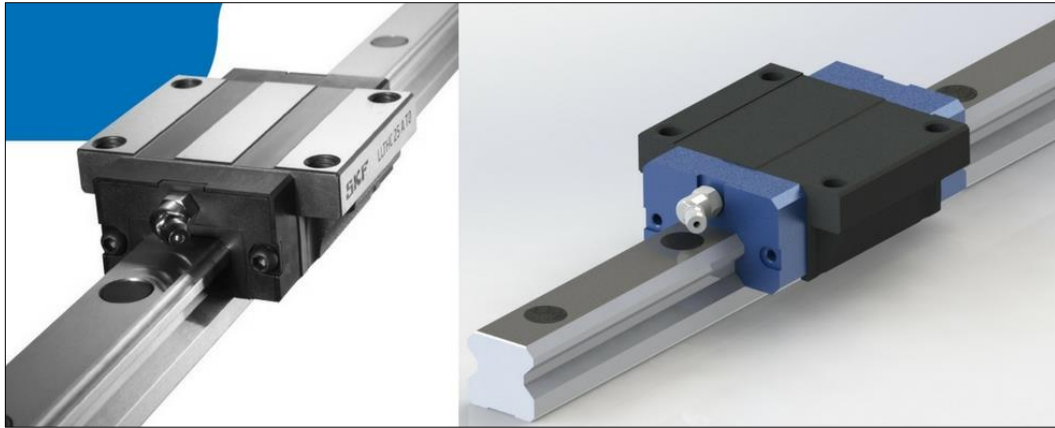


Figura 50. Guía lineal SKF y su diseño CAD

Se optó por la marca SKF debido a que es una empresa de reconocimiento mundial, con más de 100 años en el mercado de rodamientos y unidades de lubricación, especialistas en la fabricación de guías lineales y con puntos de venta en la capital y en la región Lambayeque. Además de ello, nos brinda de manera gratuita los catálogos de productos en su página web, así como las medidas para poder dibujarlos en un software CAD.

Según el catálogo de SKF, las guías lineales con patines de la serie LLT incorporan 4 hileras de bolas con ángulo de contacto de 45° entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura (figura 51). Esta disposición de 45° es llamada disposición en “X”, la cual mejora la capacidad de auto alineación del sistema, muy importante para evitar desviaciones, permitiendo un desplazamiento suave, con una fricción al mínimo y dándole un funcionamiento fiable mientras dure la guía.

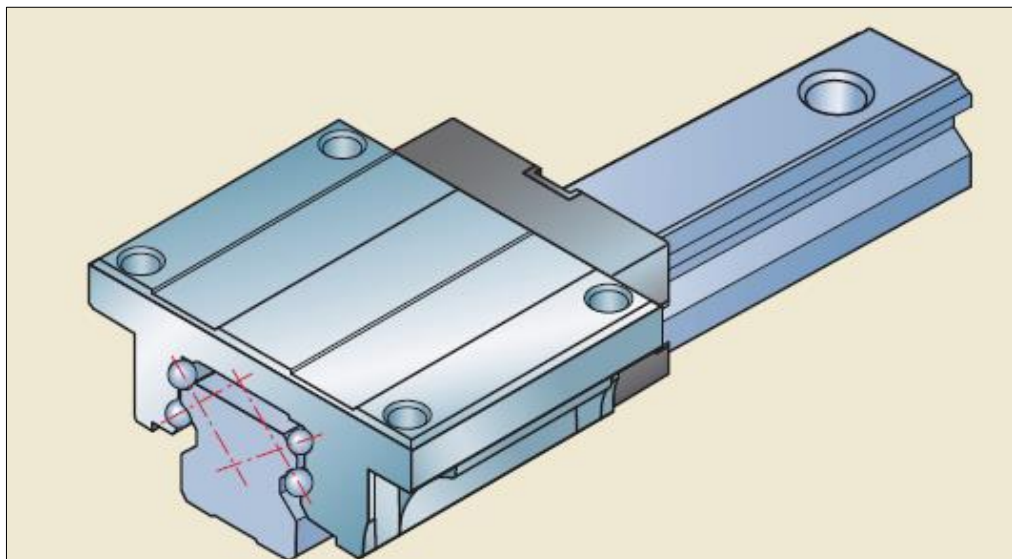


Figura 51. Disposición en X

Fuente: Catálogo SKF

La disposición en “X” además optimiza el reparto de la carga en sus cuatro direcciones principales y se ajusta a la norma ISO 14728 (normas para rodamientos). Su principal característica es su capacidad para soportar cargas elevadas y cargas de momento. Cada carro viene pre lubricado de fábrica y además de ello se entrega con un engrasador para hacer su mantenimiento de la manera más sencilla posible. Finalmente, estas guías de la serie LLT están diseñadas para distintos requisitos ambientales, de velocidad y precisión.

La serie LLT presenta una línea de carros, en donde para el presente trabajo de investigación se utilizará la línea “A”, la cual a comparación de otras presenta un carro embridado normal y de altura estándar, muy recomendado para aplicaciones industriales. La línea LLTHCA presenta diferentes medidas, desde tamaños número 15 hasta tamaños número 45. A mayor número mayor capacidad carga. Se eligió el modelo 25 considerando un nivel medio con una capacidad de carga máxima dinámica de 18 800 N y una carga máxima estática de 30 700 N, más que suficiente para el proyecto. Es importante elegir también la clase de precisión y clases de precarga, en donde según el catálogo SKF para aplicaciones de automatización y neumática se recomienda precisiones P3 y clases de precarga T0. Por lo que finalmente, la guía a elegir es LLTHC A 25 P3 T0.

En lo que respecta al raíl, se suministra con tapones de plástico protectores para su montaje desde arriba. Se elige dependiendo del carro, por lo que el raíl a elegir será número 25. La longitud a elegir será de 400 mm, distancia más que suficiente debido a que el carro no recorrerá mucha distancia y a su vez dicha medida es óptima para el espacio del diseño. Las distancias a elegir tienen un mínimo de 80 mm hasta un máximo de 3920 mm, a intervalos de 1 mm.

La ficha técnica de la guía se presenta en la tabla 15.

Tabla 15. Ficha técnica Guía Lineal (Conjunto raíl y rodamiento lineal)

Ítem	Descripción
Nombre:	Guía Lineal SKF LLTHC A 25 P3 T0 (Conjunto raíl y carro)
Tamaño:	25
Tipo de carro:	A – Carro embridado, largo, altura estándar
Número de carros por raíl:	2
Clase de precarga:	T0
Longitud del raíl:	400 mm
Clase de precisión:	P3 - Media
Raíl:	Con tapones de plástico
Carga máxima dinámica:	18 800 N
Carga máxima estática:	30 700 N

Fuente: Catálogo SKF

La distancia que recorrerá cada carro es de 125 mm (carrera de pistón neumático), y se estima un tiempo de recorrido máximo de 4 segundos (avanza, avellana y retrocede). Una válvula de estrangulamiento en el sistema neumático y el sensor inductivo que calibrará el avance de la broca finalmente determinarán el tiempo real. Con la distancia y el tiempo máximo establecido, la velocidad a la que irá el carro será de 0,03 metros por segundo.

$$Velocidad\ de\ carro = \frac{Distancia}{Tiempo} = \frac{125\ mm}{4\ s} = 0,03125\ \frac{m}{s}$$

Según el fabricante, para los carros número 25 que van a una velocidad menor a 1 metro por segundo (como es en nuestro caso), la lubricación se realiza cada 2400 kilómetros, en donde el fabricante recomienda 1,4 centímetros cúbicos de grasa. SKF también distribuye lubricantes para el mantenimiento de los carros. Teniendo en cuenta que por pieza el carro viajará 25 cm (12,5 cm de ida y 12,5 cm de vuelta), el equivalente de 10 000 km en piezas sería de:

$$Lubricación = 2400\ km \times \frac{1\ pieza}{25\ cm} = 9\ 600\ 000\ piezas$$

Cada 9 600 000 piezas producidas, se debe lubricar el carro. Para una producción supuesta de 2500 unidades al día, por 12 meses al año y 24 días al mes, se tendría que lubricar cada 13,3 años. Al ser una cantidad excesiva de tiempo, pero no despreciable ya que ha sido calculada según datos del fabricante, se recomienda al operario cada año revisar si el carro está trabajando en condiciones normales, sin ningún percance en lo que respecta a tema de lubricación.

▪ Motor

La potencia de cada motor será de 0,5 HP, similar a la potencia del motor del taladro columna actual, que realiza el avellanado sin ningún inconveniente a manera constante. La potencia se mide en vatios o caballos de fuerza.

Los RPM necesarios para el proceso de avellanado son de vital importancia ya que ellos determinan la velocidad de corte.

La velocidad de corte viene dada por la siguiente ecuación. (Groover 2014, 360)

$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \left(\frac{m}{min} \right)$$

Donde:

V_c = Velocidad de corte en metros por minuto.

π = Pi (3,14)

D = Diámetro de la herramienta en mm (En este caso de la broca avellanadora)

n = Revoluciones por minuto (RPM)

La velocidad de corte indica la velocidad relativa con la que una herramienta se enfrenta al material para ser eliminado. Realizar el proceso de maquinado de piezas a velocidades fuera del necesario afectan al consumo de potencia de la máquina, desgastan a la herramienta con posibilidad de fractura, producen viruta no deseada e influyen en el tiempo de producción, elevando así los costes de producción.

Según la tabla presente en el catálogo de brocas avellanadoras de la marca americana JMC (anexo 9), la velocidad de corte estándar para asegurar un proceso de avellanado de la mejor calidad para piezas de acero fabricadas en torno, es de 15 a 20 metros por minuto.

Con la ecuación de velocidad de corte presentada anteriormente, conociendo ya la variable velocidad de corte, es posible despejar la variable de revoluciones por minuto, para ver realmente cuantos RPM son necesarios para lograr un proceso de avellanado según los estándares adecuados.

Se manejará un intervalo de RPM ya que la velocidad de corte recomendada es de 15 a 20 metros por minuto. Despejando la variable RPM de la ecuación anterior, para una velocidad de corte de 15 metros por minuto y un diámetro de broca de 15 mm (el necesario para las piezas en estudio) los RPM necesarios serán:

$$\frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} = n$$
$$\frac{15 \frac{m}{min} \times 1000}{3,14 \times 15 \text{ mm}} = n$$
$$n = 318,4 \text{ RPM}$$

Para una velocidad de corte de 20 metros por minuto y un diámetro de broca de 15 mm los RPM necesarios serán:

$$\frac{20 \frac{m}{min} \times 1000}{3,14 \times 15 \text{ mm}} = n$$
$$n = 424,6 \text{ RPM}$$

Finalmente se puede asegurar que para el proceso de avellanado se necesita que

la broca avellanadora gire entre 318, 4 RPM y 424,6 RPM para asegurar un proceso según los estándares adecuados. Cabe recordar que el motor es el que hará girar a la broca, por lo que las RPM tendrán que ser generadas por el motor el cual estará controlado por un variador de velocidad o convertidor de frecuencia, asegurando así una entrega en el rango de revoluciones por minuto establecidas.

Los motores a elegir serán motores asíncronos trifásicos de jaula de ardilla de 0,5 HP de la marca WEG, de alta eficiencia y de categoría IE3, con una tensión a 60 HZ de 220/380/ 440 V y con una velocidad de sincronismo de 900 RPM (8 polos) Se eligió la marca WEG debido a que es una marca prestigiosa con muy buen reconocimiento en el mercado peruano por su alta calidad y eficiencia en el rubro de motores eléctricos, además de contar con distribuidores en la capital y en la región Lambayeque.

Al entregar una velocidad de sincronismo de 900 RPM y requerir de una velocidad de entre 318, 4 RPM y 424,6 RPM, se optará disminuir la velocidad a través de un convertidor de frecuencia o variador de velocidad. Las ventajas de utilizar un convertidor de frecuencia son: aumenta la vida útil del motor, reduce el consumo de energía eléctrica, ahorro en mantenimiento y posibilidad de configurar con cualquier PLC.

Un motor tiene dos características principales, velocidad y potencia. Esta velocidad y potencia llevan aparejado un torque o par que puede liberar el motor. Es precisamente ese par lo que permitirá que podamos girar o no una determinada carga, ya que mientras más alto el torque más carga podremos girar. Esta combinación de potencia, par y velocidad de un motor está regida por la siguiente ecuación. (Potencia Electromecánica)

$$Par (en kg - m) = \frac{Potencia (en HP) \times 746}{RPM de salida}$$

Para 318,4 RPM el par será de:

$$Par (en kg - m) = \frac{0,5 HP \times 746}{318,4 RPM} = 1,2 kg - m$$

Para 424,6 RPM el par será de:

$$Par (en kg - m) = \frac{0,5 HP \times 746}{424,6 RPM} = 0,87 kg - m$$

Esto quiere decir que el motor tendría la fuerza torsional para darle vuelta a una masa entre 0,87 kg y 1,2 kg (dependiendo de los RPM) colgado de un brazo de palanca de 1 metro atornillado a la flecha de salida y ese trabajo de giro con esa carga lo podría hacer indefinidamente, ya que los 0,5 HP serían suficientes para

mantenerlo girando aún con ese par. En la figura 52 se muestra el concepto graficado de lo explicado.

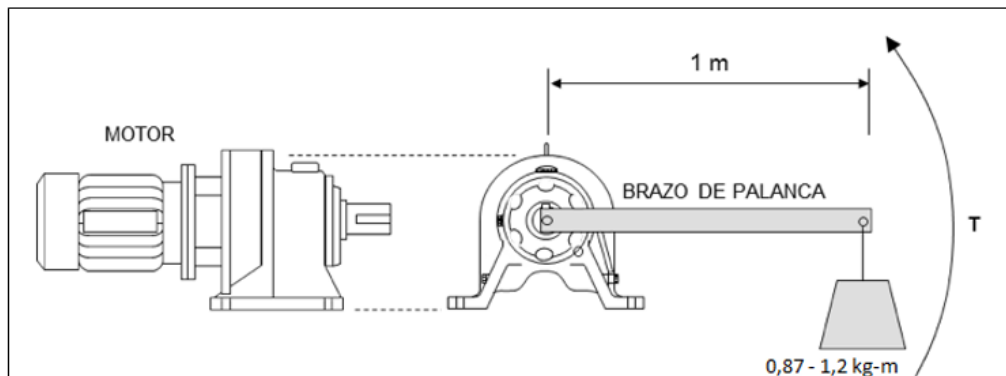


Figura 52. Par motor 0,5 HP

La carga que llevará el motor será únicamente del portabrocas y de la broca avellanadora. Según TARJET, una empresa proveedora de portabrocas, la masa de un portabrocas industrial recomendado para taladros con potencias menores de 1200 W es de 650 gramos (anexo 10). Según Blue Master, la masa de una broca de 5/8 de pulgada, el equivalente más cercano a 15 mm, es de 204 gramos (anexo 11). La masa total en conjunto del portabrocas y broca sería de 854 gramos y en el caso que la palanca acoplada al eje sea de 1 metro de palanca el torque determinado en su valor mínimo de 0,87 kg – m, aguantaría la carga del portabrocas y broca sin ningún inconveniente, por lo que se asegura que el motor elegido está en el rango correcto en relación a par, potencia y velocidad.

En la tabla 16 se presenta la ficha técnica resumida del motor y en la figura 47 la imagen real del producto con su dibujo CAD.

Tabla 16. Ficha técnica motor

Ítem	Descripción
Nombre:	Motor eléctrico trifásico IE3 de eficiencia Premium
Marca:	WEG
Potencia:	0,5 HP
Frecuencia:	60 Hz
Voltaje de trabajo:	220/380 V
Rotación Nominal	840
Número de polos:	8

Fuente: WEG

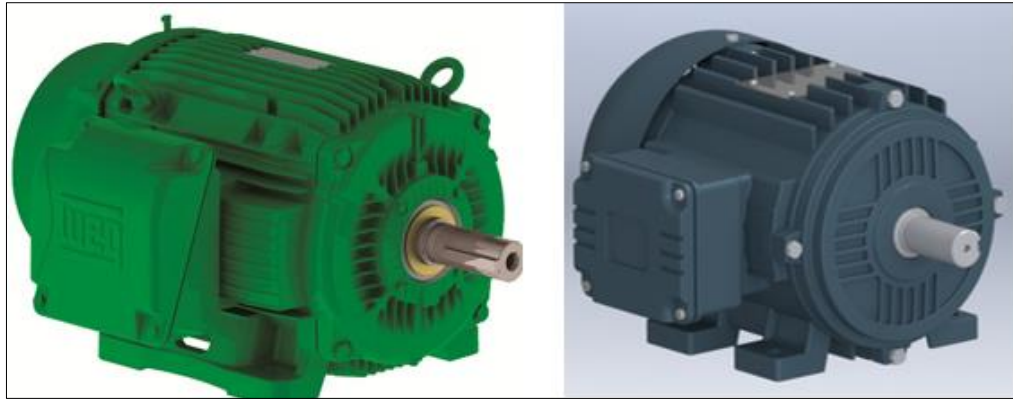


Figura 53. Motor WEG y su diseño CAD

Como se observa en la ficha técnica del motor (tabla 17), su salida es de 830 RPM, mayor a la necesario (318 – 425 RPM). Es por eso que se contará con un variador de frecuencia, en donde la velocidad será disminuida al rango establecido de 318,4 y 424,6 RPM. Conociendo el número de polos (8) y las RPM se procede a calcular la frecuencia necesaria para llevar la velocidad al rango establecido, la cual se logrará con el convertidor de frecuencia.

La velocidad en RPM está ligada a la frecuencia de alimentación y al número de pares de polos de la relación y la ecuación que relaciona estas variables en motores asíncronos viene dada por la ecuación siguiente. (Potencia Electromecánica)

$$n = \frac{120f (1 - s)}{p}$$

Donde:

f = Frecuencia de red de alimentación

p = Número de polos

n = Velocidad de sincronismo en revoluciones por minuto (RPM)

s = Factor de desplazamiento (entre 3% a 7%). Para motores con mayor potencia se consideran valores menores y para motores con menor potencia valores altos

Con la ecuación anterior, en el caso del motor con 8 polos (4 pares de polos) alimentando a 60 Hz (frecuencia peruana), considerando un 7% de deslizamiento, es posible obtener la rotación nominal de:

$$n = \frac{120 \times 60}{8} (1 - 0,07) = 837 \text{ RPM}$$

Se sabe que un motor de 8 polos tiene una velocidad de diseño 900 RPM, pero esta velocidad es una velocidad de sincronismo. En el funcionamiento normal, el

rotor (y por lo tanto el eje del motor en giro solidario) presenta una velocidad inferior. Es por ello que a este tipo de motores se les llama motores asíncronos, debido a que gira siempre a una velocidad ligeramente inferior (837 RPM) a la velocidad de sincronismo correspondiente (900 RPM).

El cálculo realizado de 837 RPM es muy cercano a la rotación nominal de 840 RPM dada por el fabricante, por lo que se comprueba la rotación nominal del motor.

Una vez comprobada la rotación nominal del motor, se procederá a calcular la frecuencia necesaria para que gire en un intervalo de 318,4 y 424,6 RPM. Despejando la frecuencia en la ecuación anterior, para una velocidad de 318,4 RPM y una velocidad de 424,6 la frecuencia sería de:

$$\frac{n P}{(1 - s)120} = f$$

$$\frac{318,4 \times 8}{(1 - 0.06)120} = 22,6 \text{ Hz}$$

$$\frac{424,6 \times 8}{(1 - 0.06)120} = 30,11 \text{ Hz}$$

Dichas frecuencias serán necesarias para la configuración del convertidor de frecuencia, debido a que se deberá variar la frecuencia a un valor comprendido en el rango de 22,6 Hz a 30,11Hz para asegurar las RPM necesarias para un proceso de avellanado según lo adecuado. El colaborador deberá elegir las RPM necesarias dependiendo de la calidad de avellanado, siempre y cuando se encuentre en el rango establecido.

Finalmente, resaltar que ambos motores se insertarán cada uno a su base móvil a través de ensamble no permanente (pernos y tuerca) y a la salida de cada eje se acoplará una chumacera rodamiento de 20 mm (debido al eje de 20 mm que se acoplará al motor) para darle mayor sostenibilidad al sistema. Finalmente, se maquinará el eje a un diámetro de 16 mm roscado para ser acoplado al portabrocas que tiene una rosca de 16 mm y a este último la broca avellanadora de 15 mm (figura 54).

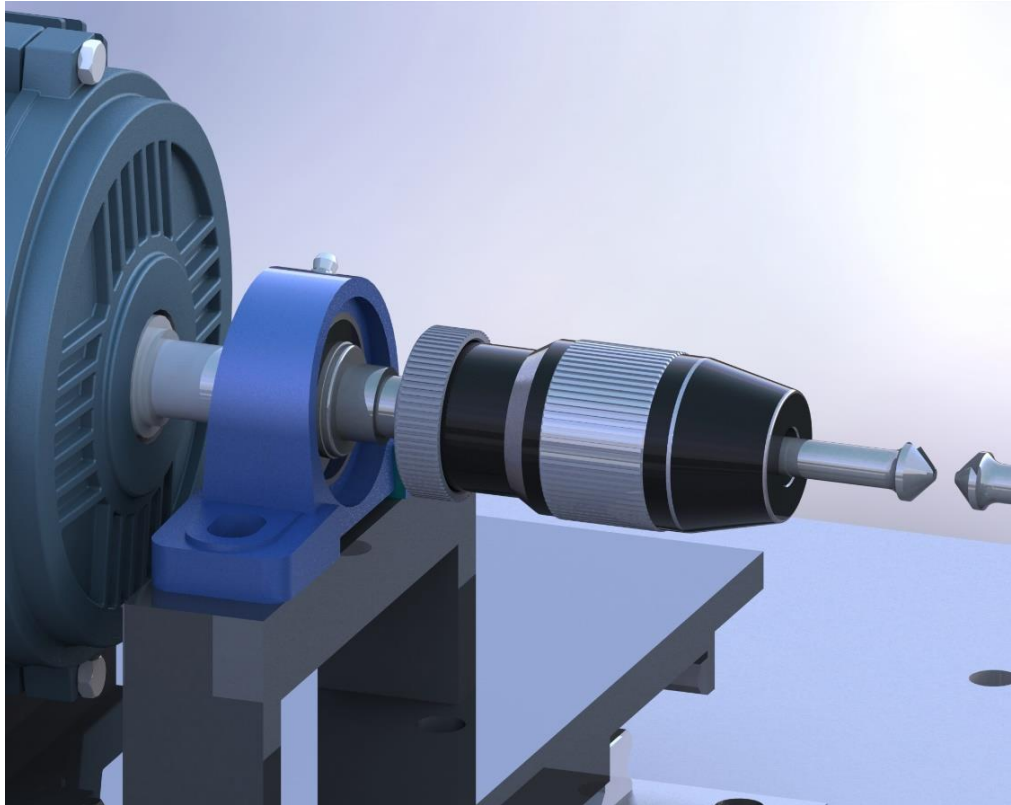


Figura 54. Acople de broca avellanadora

En la tabla 17, 18 y 19 se muestra la ficha técnica de la chumacera, portabrocas y broca avellanadora respectivamente y en la figura 55, 56 y 57 las tres piezas en la realidad comparado con su dibujo CAD.

Tabla 17. Características chumacera 20 mm

Ítem	Descripción
Nombre:	Unidades de rodamiento con soporte de pie de material compuesto con anillo de fijación excéntrico.
Marca:	SKF
Diámetro:	20 mm

Fuente: SKF

Tabla 18. Características portabrocas 16 mm

Ítem	Descripción
Nombre:	Portabrocas industrial
Tipo:	Portabrocas industriales para taladros columna o CNC
Rosca:	B16 (16 mm)
Masa:	550 gramos
Capacidad:	1 – 13 mm
Marca:	Target

Fuente: Tarjet

Tabla 19. Características de broca avellanadora

Ítem	Descripción
Nombre:	Avellanador
Tipo:	Avellanador de 3 canales para metal HSS
Ángulo de punta:	90 grados
Norma:	DIN 335 C
Aplicación:	Uso general
Marca:	Blue master

Fuente: Blue master



Figura 55. Chumacera de piso 17 mm SKF y su diseño CAD



Figura 56. Portabrocas industrial y su diseño CAD



Figura 57. Avellanador y su diseño CAD

▪ Actuadores neumáticos

Los rodamientos lineales (carros) avanzan sobre el raíl siempre y cuando haya una fuerza externa que los empuje, y para dicho empuje se decidió utilizar actuadores neumáticos. Se optó por sistemas neumáticos debido a las grandes ventajas que trae las cuales ya fueron presentadas en la figura 7 (página 21).

Hay 3 factores fundamentales a tener en cuenta en el cálculo de cilindros neumáticos. La presión del aire, el diámetro del cilindro y el rozamiento de las juntas. Las ecuaciones para la fuerza teórica son las mostradas a continuación. (Instituto Politécnico Nacional)

$$F \text{ teórica} = A \times p$$

Donde:

A = Superficie útil del émbolo

$P =$ Presión de trabajo
 F teórica = Fuerza teórica del émbolo

Pero en la vida real es necesario tener en cuenta el rozamiento, este se puede tomar como un valor entre el 3% y 20% cuando el sistema trabaja entre 4 y 8 bar. Por esta razón la ecuación queda de la siguiente manera para cilindros de doble efecto:

$$F_n = A \times p - F_r \text{ (al avance)} \quad F_n = A' \times p - F_r \text{ (al retroceso)}$$

$$A = (D^2 \times \pi) / 4$$

$$A' = 8(D^2 \times d^2 \times \pi) / 4$$

Donde:

F_r = Fuerza de rozamiento (3% al 20%)
 D = Diámetro del émbolo
 d = Diámetro del vástago
 F_r = Fuerza efectiva o real del émbolo (3% al 20%)

Otro de los cálculos más importantes en los cilindros neumáticos es el referente al consumo de aire.

$$\text{Consumo de aire} = (s \times A + s \times A') \times n \times \text{Relación de compresión}$$

$$\text{Relación de compresión} = \frac{101,3 \text{ kPa} + \text{presión de trabajo}}{101,3 \text{ kPa}}$$

Donde:

s = Longitud de carrera
 n = Ciclos por minuto

Para el subsistema de avance de brocas se ha optado por el cilindro de doble efecto de 32 mm de diámetro de émbolo, con un vástago M10, una carrera de 125 mm, con 8 ciclos por minuto (tiempo estimado de entrada y salida de 7,5 segundos) y con suministro de aire a través de un compresor de 8 bar de presión.

El actuador neumático tiene que empujar una masa aproximada de 43kg (La masa total fue determinada en el anexo 12). Con los cálculos se determinará si la fuerza que desarrolla el émbolo será la necesaria para empujar el conjunto motor estructura con un peso aproximado de 43 kg, así como el consumo de aire.

Lo primero que hacemos es determinar las áreas efectivas tanto al avance como al retroceso, es decir hallamos A y A'.

$$A = \frac{(3,2)^2 \times \pi}{4} = 8,04 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{(3,2)^2 \times (1)^2 \times \pi}{4} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Con estos valores de A y A' determinamos la fuerza teórica al avance y al retroceso, así como la fuerza real desarrollada por el émbolo considerado un porcentaje de la fuerza de rozamiento del 20%, debido a que se trabaja con una presión de 8 bar.

Al avance:

$$F \text{ teórica} = A \times p = 8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 800 \text{ 000} = 643,07 \text{ N}$$

$$F_r = 128,61 \text{ N (20\% de la fuerza teórica)}$$

$$F_n = 643,7 \text{ N} - 128,61 \text{ N} = 514,46 \text{ N}$$

Al retroceso:

$$F \text{ teórica} = A \times p = 8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 800 \text{ 000} = 643,07 \text{ N}$$

$$F_r = 128,61 \text{ N (20\% de la fuerza teórica)}$$

$$F_n = 643,7 \text{ N} - 128,61 \text{ N} = 514,46 \text{ N}$$

Considerando que la masa a mover es de 43 kg, equivalente a 421,4 N (considerando gravedad), se asegura que el actuador neumático tendrá la fuerza necesaria para mover la estructura de acero, chumacera, broca y motor tanto al avance como al retroceso.

Finalmente, determinamos la relación de compresión y el consumo de aire:

$$\text{Relación de compresión} = \frac{101,3 \text{ kPa} + 800 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} = 8,9$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo de aire} &= \\ &= (12,5 \text{ cm} \times 8,04 \text{ cm}^2 + 12,5 \text{ cm} \times 8,04 \text{ cm}^2) \times 8 \times 8,9 \\ &= 14 \text{ 311,2} \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 14,3 \text{ l/min} \end{aligned}$$

El sistema neumático tendrá un consumo de aire de 14,3 litros por minuto. Considerando que para el sistema de avance de brocas se necesitarán 2 cilindros, el consumo será de 28,6 litros por minuto. Un compresor de 2 HP a 8 bar de presión tiene un flujo de entrada de aire de 140 litros por minuto (anexo 13), por lo que el consumo de aire que necesitan los actuadores es menor y por lo tanto correcto en relación a la generación de aire por parte del compresor, sobrando aún 111,4 litros por minuto para el subsistema de posicionamiento de piezas que se verá más adelante.

El sistema neumático estará compuesto por los siguientes equipos:

- Cilindro normalizado ISO 15 552
- Accesorio de cilindro brida basculante SNC
- Válvula estranguladora anti retorno.
- Tubo flexible de material sintético.
- Rosca exterior con hexágono exterior.
- Electroválvula de 5 a 2 vías.
- Compresor de 1 HP a 8 bar.
- Unidad de mantenimiento

En la figura 58 se presenta el actuador neumático real y su diseño CAD y en la tabla 21 la ficha técnica del mismo.

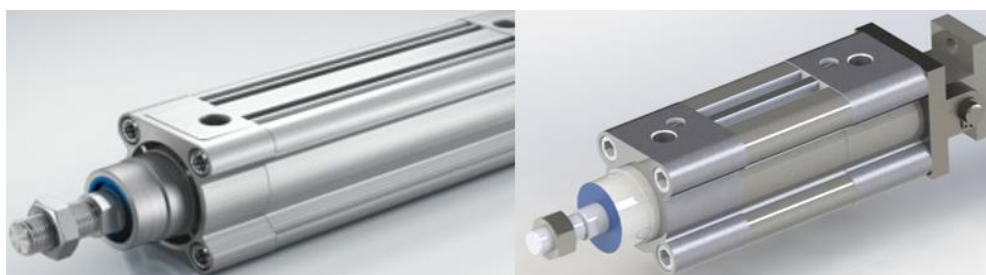


Figura 58. Actuador neumático y versión CAD

Tabla 20. Características actuador neumático

Ítem	Descripción
Nombre:	Cilindro normalizado ISO 15552
Diámetro de émbolo:	32 mm
Diámetro de vástago:	10 mm
Accesorios:	Brida basculante
Marca:	Festo Perú

Fuente: Festo

▪ Sensor inductivo

Gracias al actuador neumático, al raíl, al carro y a la estructura que sostiene el motor, la broca avellanadora podrá avanzar hasta un máximo de 125 mm desde su posición inicial. Para dar un avance más exacto y milimétrico, se utilizará un sensor inductivo el cual detecte una posición de una tuerca acoplada a un perno o varilla roscada de posición fija, simulando así un final de carrera. Esta tuerca será ajustable y con ello se podrá calibrar la distancia que la broca avellanadora deba entrar a la pieza, sea buje o bocina.

¿Por qué es necesario un sensor y por qué uno de tipo inductivo?

Es necesario colocar este sensor debido a que las bocinas con pestaña tienen un largo de 24 mm, mientras que los bujes tienen un largo de 18 mm, por lo que esa diferencia de milímetros en largo tiene que ser ajustada a través de un sensor para que la broca entre a la distancia correcta a avellanar a las piezas.

Será necesario un sensor del tipo inductivo ya que tiene en la mira a todos los metales, y en este caso tendrá a la mira a la tuerca acoplada a la varilla roscada. En la figura 59, se presenta el diseño en donde el sensor detectará la tuerca, para que, de esta manera, se pueda calibrar el avance de la broca avellanadora.

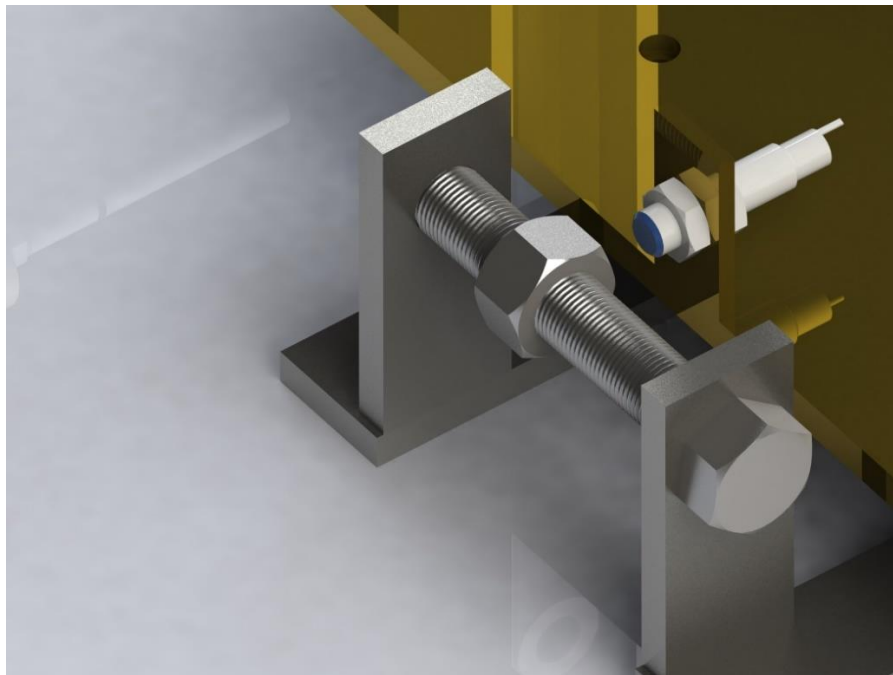


Figura 59. Concepto de calibración de avance de broca avellanadora

El sensor se activará al estar alineado con la tuerca. La tuerca será ajustada por el operario calibrando así el avance de la estructura que lleva a la broca avellanadora. La distancia entre la tuerca y el sensor es de 6 mm, por lo que con un sensor inductivo que presente un alcance de 8mm será más que suficiente. El sensor será acoplado a través de una platina con agujero según el diámetro del sensor soldada

a la base que carga el motor. Por otro lado, la estructura que sostiene al perno y tuerca está compuesta por platinas soldadas a la base que sostiene el raíl.

El sensor será de la marca Schneider Electric, debido a que es una marca que cuenta con prestigio internacional en lo que respecta a instrumentación para sistemas automatizados y además cuenta con distribuidores autorizados en el norte del Perú, como Siel Electric. El sensor inductivo a elegir es el de la serie XS618B1PAL2, y en la tabla 21 se presenta su ficha técnica.

Tabla 21. Características sensor inductivo

Ítem	Descripción
Nombre:	Sensor de proximidad inductivo XS618B1PAL2
Alcance:	5 mm
Tipo:	PNP 3 Hilos
Alimentación:	12 a 48 VDC
Marca:	Schneider Electric

Fuente: Schneider Electric

3.2.1.3 Alimentación, posición y retiro de piezas

El objetivo del sistema de posicionamiento es que las piezas a avellanar entren sin ningún inconveniente a la zona de empuje y sean llevadas de manera rápida y ordenada hacia la zona de avellanado.

Para cumplir con esta meta se pensó en un diseño de una estructura de alimentación y avance de piezas que finalmente descargue la pieza a la zona de avellanado. El avance de la pieza es totalmente realizado por el uso de pistones neumáticos. La pieza únicamente se moverá de manera vertical y horizontal gracias a los actuadores neumáticos los cuales llevan acoplados una estructura que simularán lo que actualmente se realiza por el alicate a presión y la mano y destreza del operario.

El operario será el encargado de cargar el alimentador simplemente colocando las piezas provenientes de un lote. Para lograr este objetivo, se pensó en un alimentador que funcione tanto para bocina y bujes. Luego, todo el recorrido de la pieza hacia la zona de avellanado, así como su retiro de esta zona, estará dado por los pistones los cuales serán controlados íntegramente por el PLC. Para el presente subsistema se pensó en un diseño que optimice espacio, y sobretodo que permita un avance seguro, fácil y rápido de la pieza hacia la zona de avellanado.

En la figura 60 se presentan las vistas principales del subsiste de posicionamiento y retiro de piezas y en la figura 61 la vista explosionada con lista de materiales y en los anexos (16 en adelante) las dimensiones de las piezas que componen el subsistema. En la tabla 22 se listan los materiales a utilizar para su fabricación.

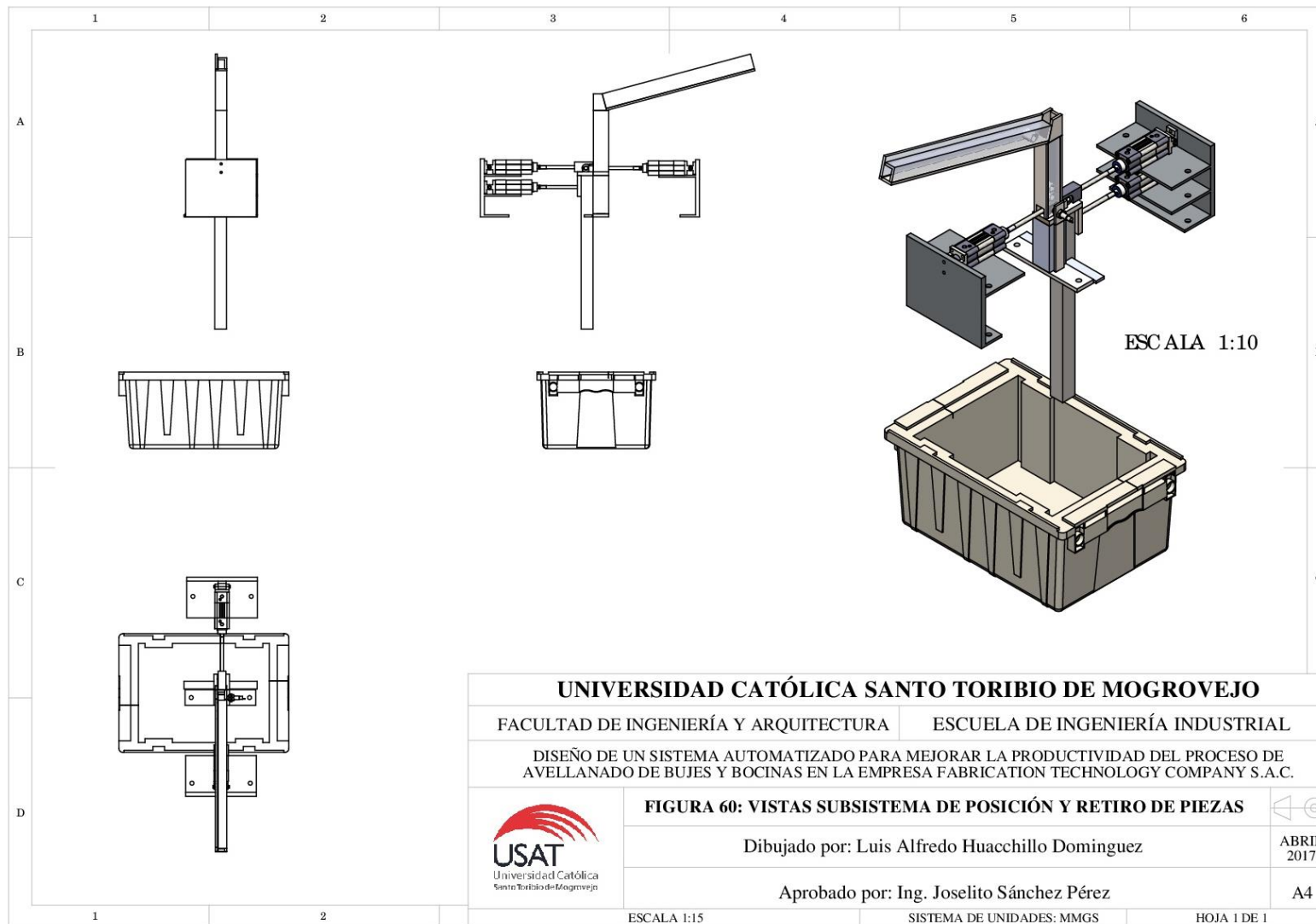
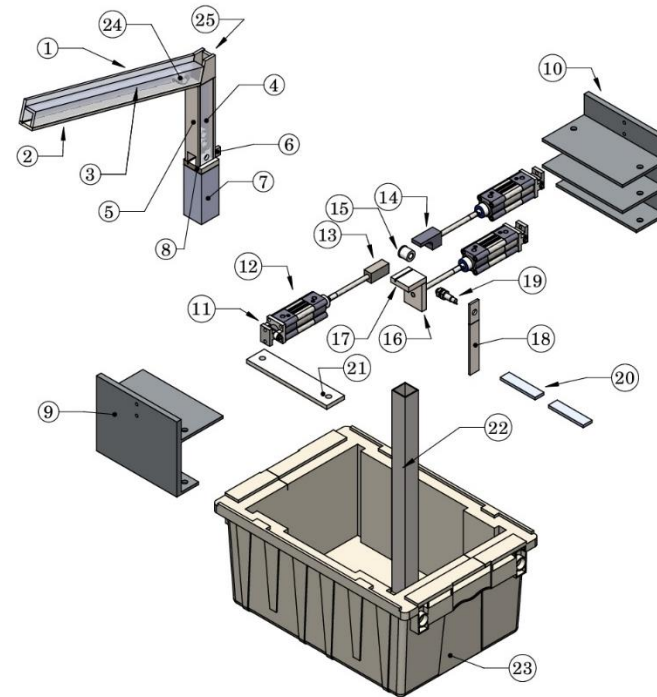


Figura 60. Vistas subsistema de alimentación, posición y retiro de piezas

LISTA DE MATERIALES		
Nº DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PLATINA DE 1 1/2 PULGADAS POR 1/4 PULGADAS LARGO DE 50 cm	1
2	PLATINA DE 1 1/2 PULGADAS POR 1/4 PULGADAS LARGO DE 50 cm. Resido para m m de bocina con pestaña de 2,5 mm	1
3	PLANCHA DE 1/4 PULGADAS CORTE DE 24 mm POR 500 mm Y CORTE DE 27.4 mm POR 50 mm. AMBOS CORRES UNIDOS POR SOLDADURA	1
4	PLANCHA DE 1/4 PULGADAS 1 CORTE DE 1 1/2 PULGADAS POR 200 mm Y 2 CORTE DE 176 mm POR 21.5 mm. LOS TRES CORRES UNIDOS POR SOLDADURA	1
5	PLANCHA DE 1/4 PULGADAS 1 CORTE DE 1 1/2 PULGADAS POR 200 mm Y 2 CORTE DE 200 mm POR 30.35 mm. LOS TRES CORRES UNIDOS POR SOLDADURA	1
6	PLANCHA DE 1/4 DE PULGADA LARGO DE 19 mm y ANCHO DE 15 mm	1
7	TUBO CUADRADO DE 2 PULGADAS, ESPESOR DE 2 MM. LARGO DE 125 mm	1
8	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 1/2 PULGADAS LARGO DE 2 PULGADAS	3
9	PLANCHA DE 1/2 PULGADA (1 CORTE DE 230 mm POR 186.3 mm). PLANCHA DE 1/4 (3 CORTES DE 230 mm POR 120 mm). PARTES UNIDAS POR SOLDADURA	1
10	PLANCHA DE 1/2 PULGADA (1 CORTE DE 230 mm POR 186.3 mm). PLANCHA DE 1/4 (3 CORTES DE 230 mm POR 120 mm). PARTES UNIDAS POR SOLDADURA	1
11	BRIDA BASCULANTE	2
12	CILINDRO NEUMÁTICO DE DIÁMETRO DE ÉMBOLO DE 32 mm, DIÁMETRO DE VASTAGO DE 10 mm, CARRERA DE 100 mm, DE DOBLE EFECTO	3
13	PLANCHA DE 1 PULGADA (2 CORTES DE 24 mm POR 20 mm) UNDO POR SOLDADURA	1
14	PLANCHA DE 1 PULGADA (CORTE SEGÚN CALIBRE DE PIEZA)	1
15	PIEZA A AVELLANAR	1
16	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 1/2 PULGADA LARGO DE 67.3 mm	1
17	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 1/2 PULGADA LARGO DE 2 PULGADAS FISSADO DE 2,5 mm PARA PESTAÑA DE BOCINA	1
18	PLATINA DE 1 PULGADAS POR 3/16 PULGADAS LARGO DE 150 mm	1
19	SENSOR INDUCTIVO	1
20	PLATINA DE 1 PULGADAS POR 1/4 PULGADAS LARGO DE 100 mm	2
21	PLATINA DE 2 PULGADAS POR 3/8 PULGADAS LARGO DE 230 mm	1
22	TUBO CUADRADO DE 1 1/2 PULGADAS ESPESOR 2 mm. LARGO DE 450 mm.	1
23	CONTENEDOR PARA PRODUCTO TERMINADO	1
24	PIEZA ALIMENTADA	-
25	PLANCHA DE 1/4 CORTE SEGÚN PLANOS	3



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA	ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	
DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.		
 Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	FIGURA 61: VISTA EXPLOSIONADA ALIMENTACIÓN, POSICIÓN Y RETIRO DE PIEZAS	
	Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez	ABRIL 2017
Aprobado por: Ing Joselito Sánchez Pérez	A3	
NO CAMBIE DE ESCALA	ESCALA: 1:8	SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

Figura 61. Vista explosionada subsistema de alimentación, posición y retiro de piezas

Tabla 22. Lista de materiales para subsistema de alimentación, posición y retiro de piezas

Ítem	Descripción
1	Conjunto de sistema neumático (2 actuadores neumáticos de diámetro de émbolo de 32 mm, diámetro de vástago de 10 mm, carrera de 100 mm, doble efecto, con electroválvula de 5 a 2, manguera, rosca)
2	Pernos y tuercas de cabeza hexagonal de ½ pulgada hilo corriente.
3	Platina de 2" x 1/2" x 6 m
4	Platina de 2" x 3/8" x 6 m
5	Plancha de ¼ pulgada, ½ pulgada y 1 pulgada.
6	Tubo cuadrado de 1 1/2" espesor de 2 mm
7	Tubo cuadrado de 2 pulgadas espesor de 2 mm
8	Contenedor apilable y encajable
9	Sensor inductivo Schneider Electric XS618B1PAL2

Elaboración: Propia

Como se puede observar en la figura 61, en donde se muestra la vista explosionada del subsistema de alimentación, posición y retiro de pieza, el subsistema es totalmente desarmable, y está compuesto por elementos que se unen entre sí a través de soldadura y que se unen para formar la estructura final a través de ensambles no permanentes (pernos y tuercas).

Para el armado de la estructura, se propone realizar las siguientes etapas de manufactura:

- a) Corte: Las planchas de acero, así como las platinas, deberán ser cortados a las medidas especificadas en los planos presentados en los anexos (figura 61 y a partir del anexo 16). Se recomienda un proceso de oxicorte CNC para un mejor acabado de las piezas, ya que en esta etapa es vital que todo este correctamente manufacturado.
- b) Fresado: Las platinas que alojarán a las piezas, deberán ser fresadas para que la pestaña de la bocina pueda acogerse en ella y así avanzar sin ningún inconveniente.
- c) Taladrado: En base a los planos especificados en los anexos (figura 61 y a partir del anexo 16), se deberá taladrar los agujeros necesarios que permitirán el pase de pernos para el ensamble de la estructura en general, así como el ensamble del conjunto de los actuadores neumáticos
- d) Ensamble: En base a los planos especificados en los anexos (figura 10 y a partir del anexo 16) se procederá a realizar el ensamble de las piezas correspondientes

ya sea a través de ensambles permanentes (soldadura) o ensambles no permanentes (pernos, tuercas)

- e) Calibrado e inspección final: Si todo ha estado dentro de las especificaciones no debe ocurrir ningún inconveniente con la estructura. Es importante ver si la distancia del pistón está bien calibrada en relación a la salida de la pieza del alimentador, y que ambos ejerzan la presión correcta al buje o bocina, así como que la pieza descansa sobre la base la cual la sostendrá durante el proceso de avellanado.

A continuación, se dan más detalles de cada parte del subsistema de alimentación y posicionamiento de piezas.

▪ Alimentación de piezas

El alimentador se basa en las medidas de la misma pieza. Debido a que la pieza entrará al alimentador en forma horizontal, se debe habilitar un camino en el cual la pieza resbale. Como se puede observar en los anexos 1 a 4, la bocina con pestaña tiene unas dimensiones de 25,4 mm por 24 mm. Para que la pieza pueda entrar sin problemas, simplemente se tiene que diseñar un carril por el cual resbale, a partir de platinas y planchas cortadas unidas por procesos de soldadura a una determinada distancia especificada. Para el caso de los bujes que tienen una medida de 25,4 mm por 18 mm (anexo 5), resbalarán por el mismo carril, pero a la salida del alimentador se acoplará una estructura que permitirá que el buje se ajuste perfectamente por la diferencia de 6mm que hay entre el largo de la bocina (24 mm) con la del buje (18 mm)

El alimentador será útil para todas las medidas de bocinas con pestaña de 21,5 mm; 22,5 mm; 23 mm y 24 mm y bujes de 3/8 de pulgada. Se recomienda trabajar cada lote por separado, debido a que para cada medida de pieza se tendrá que calibrar la máquina.

▪ Posicionamiento y retiro de piezas

En la figura 62 se presenta el sistema de posicionamiento y retiro de piezas, por lo que se recomienda ver la imagen mientras lee la descripción siguiente.

Sea buje o bocina, la pieza debe quedar aprisionada en una base simulando lo que hace el alicate a presión en la figura 41 (página 76). Para ello, se pensó en el acople de 3 actuadores neumáticos, dos laterales a la misma altura los cuales aprisionen a la pieza y uno para sujetar la estructura que será la base de la pieza.

El primer pistón neumático, ubicado al lado izquierdo (ver figura 60 vista isométrica y figura 62), será el encargado de empujar la pieza a la zona de avellanado, accionado una vez que un sensor inductivo indique que hay una pieza en el alimentador lista para ser procesada. Al otro lado lo esperará una estructura

acoplada a otro pistón neumático para de esta manera simular el trabajo realizado por el alicate a presión. La estructura acoplada al pistón neumático del lado derecho (figura 60 vista isométrica y figura 62) que espera la pieza para ser aprisionada será de diferentes medidas y podrá ser calibrada dependiendo de la medida de la pieza, sea buje o bocina con pestaña en cualquiera de sus dimensiones.

Al terminar la pieza de ser avellanada, los pistones de lado derecho se retraerán dejando caer la pieza por acción de la gravedad a un tubo redondo el cual conducirá la pieza ya avellanada a un contenedor ubicado debajo de la plancha de la mesa y por encima de la malla metálica. Cabe resaltar que el tubo atraviesa la plancha de la mesa por lo que esta última tiene un orificio a una distancia céntrica para que el tubo cuadrado pueda ser ensamblado (figura 45, página 82).

El sensor inductivo será similar al sistema de avance de brocas y detectará por un agujero que se la hará al alimentador si la pieza se encuentra ubicada en la zona de empuje (figura 62).

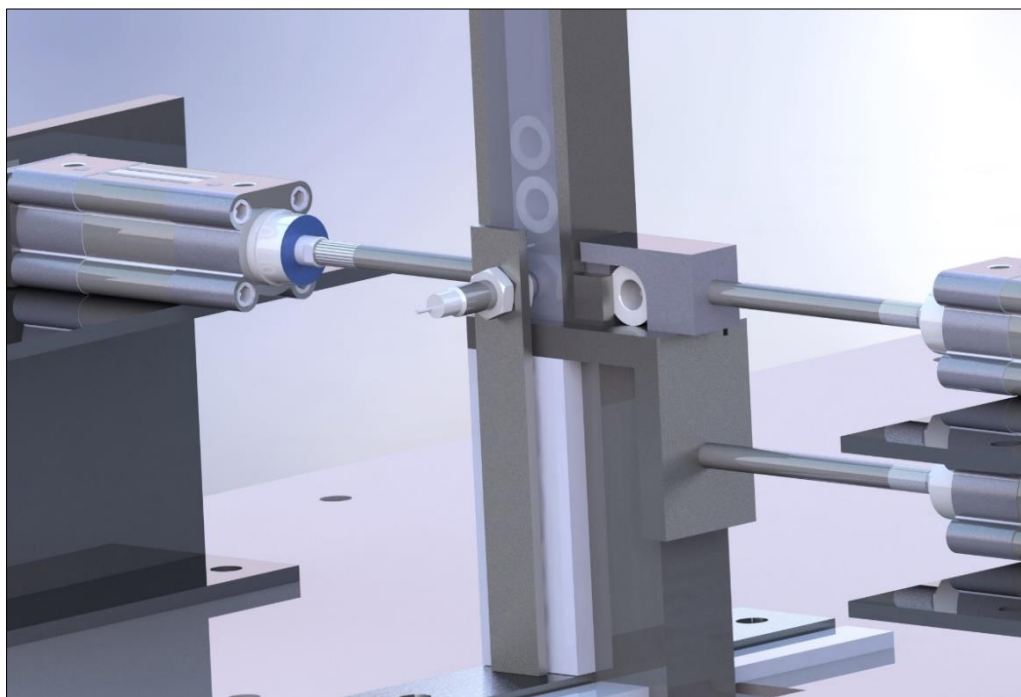


Figura 62. Posición y retiro de piezas

El depósito elegido es un contenedor de plástico apilable y encajable, el cual es muy recomendable e ideal para trabajos en estaciones de manufactura con piezas de tamaño pequeño, soportando una carga de hasta 1000 libras, siendo fácil de limpiar, transportar, apilar (cuando está llena) y encajar (cuando está vacía). (Ver figura 63)



Figura 63. Contenedor y su versión CAD

Con respecto a los actuadores, se utilizarán como ya se mencionó 3 cilindros neumáticos, de diámetro de émbolo de 32 mm, diámetro de vástago de 10 mm y una carrera de 100 mm.

El actuador neumático tiene que empujar la masa de la estructura acoplada a la salida del pistón y en el caso de los pistones que aprisionan y empujan, a la pieza. Con los cálculos se determinará si la fuerza que desarrolla el émbolo será la necesaria para empujar dicho conjunto.

En base a las ecuaciones presentadas en la página 100,101 y 102, lo primero que se determina son las áreas efectivas tanto al avance como al retroceso, es decir hallamos A y A'.

$$A = \frac{(3,2)^2 \times \pi}{4} = 8,04 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{(3,2)^2 \times (1)^2 \times \pi}{4} = 8,04 \text{ cm}^2$$

Con estos valores de A y A' determinamos la fuerza teórica al avance y al retroceso, así como la fuerza real desarrollada por el émbolo considerado un porcentaje de la fuerza de rozamiento del 20%, debido a que se trabaja con una presión de 8 bar.

Al avance:

$$F_{\text{teórica}} = A \times p = 8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 800\,000 = 643,07 \text{ N}$$

$$F_r = 128,61 \text{ N (20\% de la fuerza teórica)}$$

$$F_n = 643,7 \text{ N} - 128,61 \text{ N} = 514,46 \text{ N}$$

Al retroceso:

$$F_{teórica} = A \times p = 8,04 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 800\,000 = 643,07 \text{ N}$$

$$F_r = 128,61 \text{ N (20\% de la fuerza teórica)}$$

$$F_n = 643,7 \text{ N} - 128,61 \text{ N} = 514,46 \text{ N}$$

Las masas a empujar por cada cilindro son de 178,03 gramos para el primer cilindro (empuja pieza); 206,15 gramos para el segundo cilindro (aprisiona pieza) y 585,9 gramos para el tercer cilindro (retira pieza). (Anexo 15). Estas masas son despreciables en relación a la fuerza de avance y retroceso que tiene el pistón. Por lo que se considera que cada pistón tendrá la fuerza necesaria para empujar, aprisionar y retirar la pieza sin ningún inconveniente.

Finalmente, determinamos la relación de compresión y el consumo de aire.

$$\text{Relación de compresión} = \frac{101,3 \text{ kPa} + 800 \text{ kPa}}{101,3 \text{ kPa}} = 8,9$$

$$\begin{aligned} \text{Consumo de aire} &= \\ (10 \text{ cm} \times 8,04 \text{ cm}^2 + 10 \text{ cm} \times 8,04 \text{ cm}^2) \times 8 \times 8,9 \\ &= 11\,449 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}} = 11,5 \text{ lt/min} \end{aligned}$$

El sistema neumático del subsistema de posición y retiro tendrá un consumo de aire de 11,5 litros por minuto por pistón. Considerando que para este subsistema se necesitarán 3 cilindros, el consumo será de 34,5 litros por minuto. Si a estos 34,5 litros por minuto le sumamos los 28,6 litros por minuto de consumo del subsistema de avance de brocas daría un total de 63,1 litros por minutos. Un compresor de 2 HP a 8 bar de presión tiene un flujo de entrada de aire de 140 litros por minuto (anexo 13), por lo que el consumo de aire que necesitan los actuadores es menor y por lo tanto correcto en relación a la generación de aire por parte del compresor.

El sistema neumático estará compuesto por los siguientes equipos:

- Cilindro normalizado ISO 15 552 con brida basculante SNC.
- Válvula estranguladora anti retorno.
- Tubo flexible de material sintético.
- Rosca exterior con hexágono exterior.
- Electroválvula de 5 a 2 vías.
- Compresor de 1 HP a 8 bar y unidad de mantenimiento

Presentados ya los 3 subsistemas que compone el sistema automatizado, se procede a diseñar el sistema eléctrico y de control.

3.2.1.4 Sistema eléctrico y de control

En esta etapa se presentan los automatismos eléctricos utilizados para la propuesta del sistema automatizado, así como los procedimientos utilizados para su elección. Se muestra el plano eléctrico y neumático del sistema automatizado, en donde se logra reconocer la relación y conexión de los equipos a requerir y las entradas y salidas necesarias para el diseño del sistema de control y automatización del proceso. La elección de los automatismos es de vital importancia ya que asegurará la seguridad de los trabajadores, la protección del equipo frente a sobrecargas o cortocircuito, el rendimiento del equipo y afectará directamente al coste final del proyecto.

Hasta el momento ya se ha mencionado que se utilizarán los siguientes automatismos:

- Dos motores eléctricos trifásicos asíncronos de jaula de ardilla de 0,5 HP.
- Electroválvula 5 a 2 monoestable.
- Cilindro neumático de doble efecto.
- Compresor de aire de 1HP a 8 bar de presión.
- Sensores inductivos PNP 3 hilos 12 a 48 VDC XS618B1PAL2

En la figura 64 se muestra el plano eléctrico y neumático del sistema automatizado, y en las siguientes páginas se explicará el porqué de la elección de automatismos como pulsadores, variador de velocidad, interruptor diferencial, guardamotor, fuentes de alimentación y PLC.

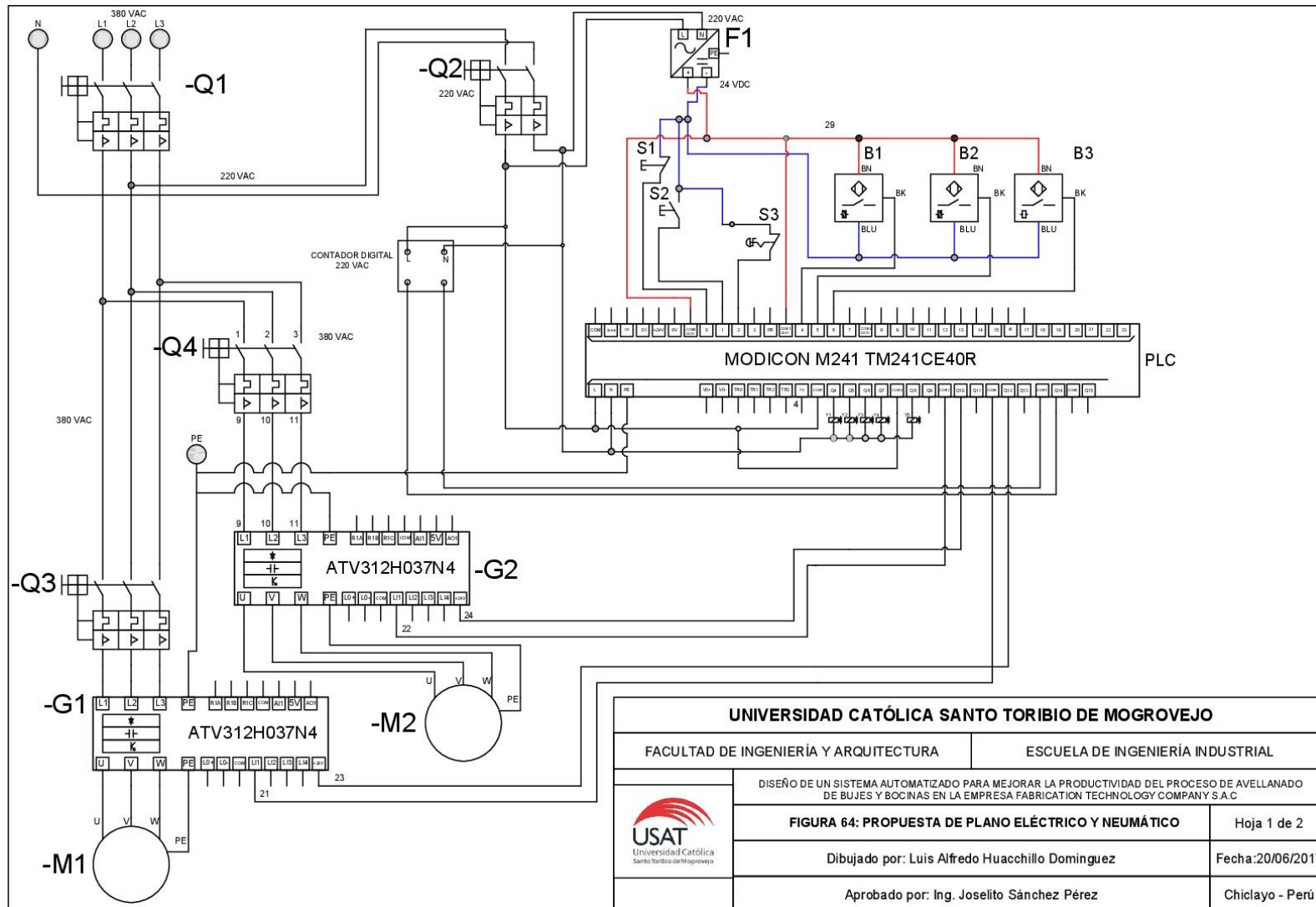
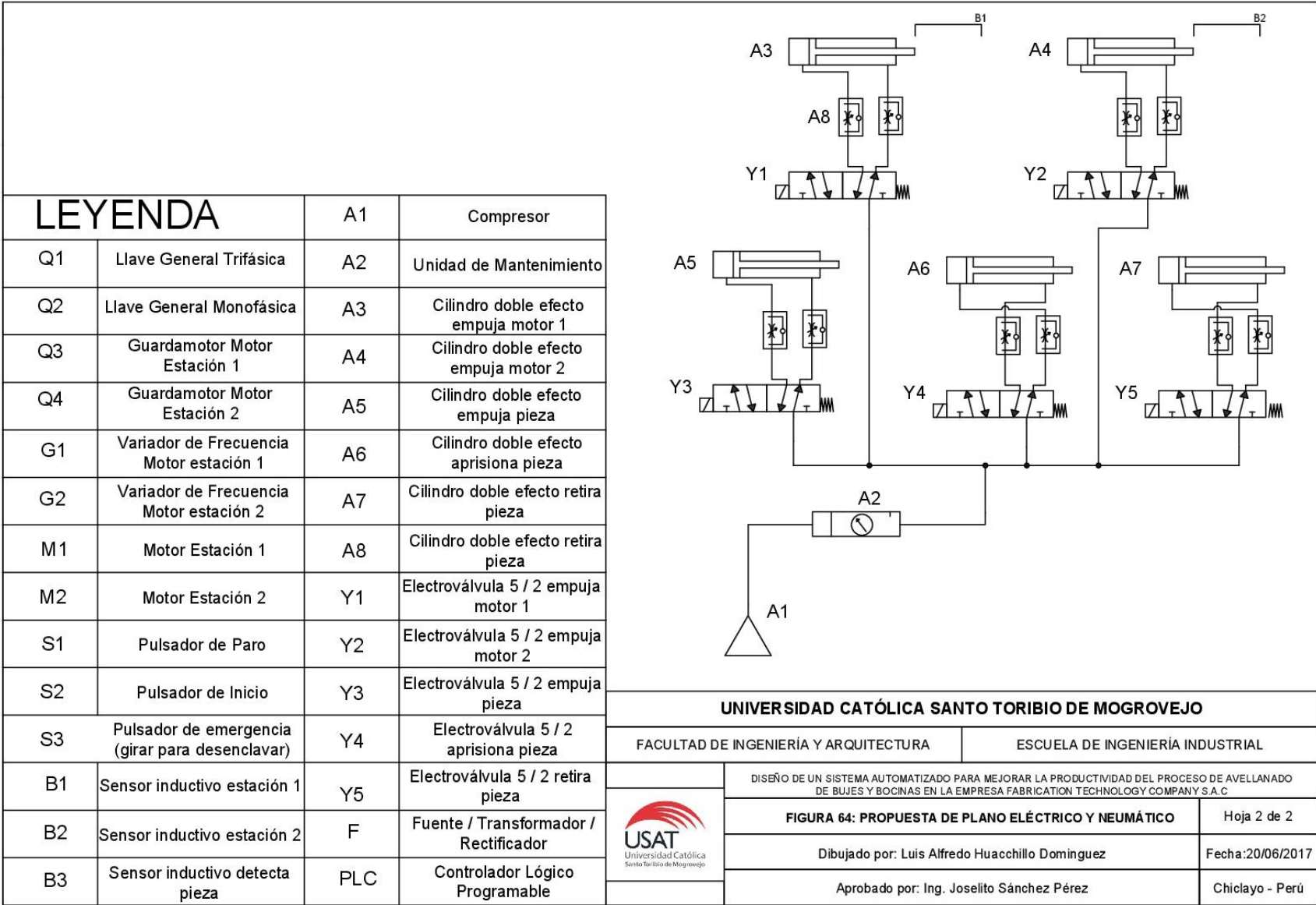


Figura 64. Plano eléctrico y neumático



- **¿Por qué es necesario un convertidor de frecuencia o variador de velocidad?**

Anteriormente se comentó que para realizar un avellanado de calidad las RPM dadas por el motor eléctrico deben estar en un rango de 318,4 RPM a 424,6 RPM. Se procedió a calcular la frecuencia necesaria para llegar a dichas RPM y los valores fueron de son 22,6 Hz y 30,11 Hz.

Para poder variar las RPM a través de frecuencia, se requiere de un convertidor de frecuencia o variador de velocidad. El rango de frecuencia para poder asegurar las RPM es de 22,6 Hz y 30,11 Hz, por lo que se tomará un valor de 30 Hz para configurar el variador de velocidad (valor que está dentro del rango para un avellanado de calidad según los estándares y totalmente modificable con ayuda del variador de velocidad).

La marca a elegir para el variador de velocidad será Schneider Electric, debido al prestigio que tiene en sistemas de automatización y a que cuenta con distribuidores en el norte del Perú. El variador de velocidad más adecuado es el de la serie 312, debido a que es una serie de variadores los cuales trabajan para motores asíncronos trifásicos desde los 200 hasta los 600 voltios, de 0,18 a 15 kW. Es resistente, de dimensiones reducidas y fácil de instalar según el catálogo de variadores de Schneider Electric.

Se buscó un variador que cumpla con el voltaje de 380 V trifásica y responda a una potencia de motor de 0,5 HP, equivalente a 0,37 kW (debido a los motores a utilizar en el sistema) Según el catálogo de Schneider Electric, el modelo ideal que cumpla con estas características sería el ATV 312H037N4, con un rango de frecuencia entre 0,5 Hz y 500 Hz. En la figura 65 se muestra la imagen del variador de velocidad.



Figura 65. Altivar ATV 312H037N4
Fuente: Schneider Electric

- **Configuración del variador**

Para configurar el variador será necesario conocer los datos técnicos del motor, para ello WEG nos da sus especificaciones las cuales se presentan en la figura 66.

W22 - IE3 Premium Efficiency - 60 Hz																			
Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I _L /I _n	Par con rotor trabado T _L /T _n	Par máximo T _b /T _n	Momento de Inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	RPM	380 V						Corriente nominal I _n (A)
								Caliente	Frio				% de la potencia nominal			Factor de potencia			
KW	HP												Rendimiento			Factor de potencia			
													50	75	100	50	75	100	
VIII Polos																			
0,12	0,16	71	0,144	2,8	1,9	2,0	0,0009	169	372	9,5	45	810	48,0	54,0	59,5	0,32	0,40	0,48	0,638
0,18	0,25	80	0,209	3,5	1,8	2,2	0,0027	52	114	12,0	46	840	51,0	57,0	64,0	0,44	0,56	0,65	0,657
0,25	0,33	80	0,292	3,6	1,9	2,2	0,0032	49	108	14,5	46	835	56,0	60,0	68,0	0,44	0,56	0,66	0,846
0,37	0,5	90S	0,429	3,4	1,7	2,3	0,0055	40	88	19,5	47	840	58,0	63,0	72,0	0,40	0,51	0,60	1,30
0,55	0,75	90L	0,638	3,7	1,9	2,3	0,0066	35	77	23,0	47	840	62,0	65,0	74,0	0,40	0,52	0,60	1,89
0,75	1	100L	0,864	4,1	2	2,3	0,0077	25	55	25,0	47	845	66,0	71,0	77,0	0,40	0,51	0,60	2,64

Figura 66. Datos Motor trifásico WEG W22 IE3 0,5 HP

Fuente: WEG

Con ayuda de la figura 65 y 66, para la configuración del variador se deberán de seguir los siguientes pasos:

1. En un principio lo que vamos hacer es iniciar el variador. Al iniciarlo, nos aparecerá en la pantalla la simbología **rdY**.
2. Luego de ello, tendremos que volver al variador a datos de fábrica. Para ello con la ayuda del potenciómetro presionamos en **rdY**, luego **drC**, luego a **FCS**, buscamos **InI** y apretamos durante dos segundos. Tendrá que aparecer un mensaje en la pantalla con la simbología de **n0**. Con este procedimiento, ya se habrá vuelto al variador a los parámetros de fábrica.
3. Presionamos la **tecla ESC** hasta que nos aparezca la pantalla de nuevo de **rdY**.
4. Se procede luego a introducir los valores de la configuración del motor, para ello desde **rdY** con ayuda del potenciómetro nos vamos de nuevo a **drC**, y luego en **bFr** que es la frecuencia estándar del motor introducimos el valor de **60 Hz** girando la perilla del potenciómetro.
5. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **drC**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **UnS**, que es la tensión nominal del motor, en las cuales con ayuda de la perilla del potenciómetro introducimos el valor de **380 V**.
6. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **drC**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **FrS**, que es la frecuencia nominal del motor que aparece en la placa y con la ayuda de la perilla del potenciómetro introducimos el valor de **60 Hz**.
7. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **drC**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **nCr**, que es la intensidad nominal del

motor, y con la ayuda de la perilla del potenciómetro introducimos el valor de **1,3 A**.

8. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **drC**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **nSp**, que es la velocidad nominal del motor a plena carga en RPM, y con la ayuda de la perilla del potenciómetro introducimos el valor de **840**.
9. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **drC**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **COS**, que es el factor de potencia, y con la ayuda de la perilla del potenciómetro introducimos el valor de **0,6**.
10. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **drC**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **tUN**, que es el autoajuste que realiza el variador. Antes de realizar el autoajuste se debe asegurar que se han ingresado todos los parámetros de control de variador (**UnS**, **FrS**, **nCr**, **nSp** y **COS**). Con el potenciómetro presionamos en **tuN**, buscamos **YES** y volvemos a presionar hasta que aparezca la pantalla **DONE**.
11. Presionamos con la **tecla ESC** hasta que aparezca la pantalla **rdY** y ya tenemos configurado el variador para el motor en estudio.
12. Luego de ello, toca controlar las velocidades. Para ello con la ayuda del potenciómetro presionamos en **rdY**, luego **SEt**, luego en **ACC**, que es el tiempo de aceleración. Con la ayuda de la perilla del potenciómetro introducimos el valor de **0,5** para que el motor arranque bastante rápido.
13. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **SEt**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **DCC** (tiempo de desaceleración). Con la ayuda de la perilla del potenciómetro introducimos el valor de **0,5** para que el motor frene bastante rápido.
14. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **SEt**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **LSP**, que es la velocidad mínima. Con la ayuda de la perilla del potenciómetro buscamos un valor lo más cercano a **0**. Lo que nos interesa en sí es la primera velocidad (velocidad a la que girará a su vez la broca avellanadora)
15. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **SEt**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **HSP**, que es la velocidad máxima. Con la ayuda de la perilla del potenciómetro buscamos el valor de **30** (valor establecido dentro del rango para el proceso de avellanado).
16. Volvemos con la **tecla ESC** a la pantalla de **SEt**, presionamos con el potenciómetro y buscamos la simbología **itH**, que es la intensidad nominal del motor y con la ayuda de la perilla del potenciómetro buscamos el valor de **1,3**.
17. Presionamos con la **tecla ESC** hasta que nos aparezca la simbología **rdY**, y el sistema estará listo para accionarse. Al girar el motor lo hará con una frecuencia de 30 Hz, dando así las RPM necesarias para asegurar un avellanado de calidad

según los estándares establecidos.

El variador de velocidad se simboliza en el plano eléctrico mostrado en la figura 64 (página 114) con la simbología de –G1 y –G2. Además del variador, será necesario dos interruptores diferenciales, un guardamotor y un rectificador transformador para conectar los dispositivos que funcionen con corriente continua, como los sensores inductivos y pulsadores de inicio, paro, marcha e indicadores luminosos que irán conectados al PLC.

• Interruptor diferencial

Para elegir el interruptor diferencial es necesario conocer la intensidad nominal del motor.

La potencia activa para un sistema trifásico viene dada por la fórmula:

$$P = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos\phi$$

Donde:

- U: Tensión en voltios.
- I: Corriente nominal en Amperes.
- P: Potencia activa en Watt.
- $\cos\phi$ = Factor de potencia del circuito (adimensional)

Conociendo la potencia del motor, la tensión, el factor de potencia, procedemos a despejar la variable corriente nominal. Para un motor de 0,5 HP, equivalente a 0,37 kW, para una tensión de 380 V trifásica y un factor de potencia de 0,4 como mínimo (figura 65), la corriente absorbida por el motor será la siguiente.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\phi}$$
$$I = \frac{372,85 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V} \times 0,4} = 1,42 \text{ A}$$

En base a la figura 66 (página 117), se sabe que la intensidad del motor es de 1,3 A. En este caso, la corriente nominal calculada fue de 1,42 A, estando muy cerca al dato de corriente nominal dado por WEG. Considerando la mayor para darle mayor seguridad al sistema, al ser dos motores, la corriente nominal del sistema será de 2,8 A.

El interruptor diferencial a elegir tendrá que soportar la corriente nominal soportada. El interruptor diferencial principal será un interruptor de la serie C60N de la marca Schneider Electric. El código del producto es el interruptor automático termomagnético C60N 24350, de 3 polos, con una tensión de trabajo de hasta 400 V, con un calibre de intensidad nominal máximo de 16 A, más que suficiente para la instalación (supera a los 2,8 A calculados). En el plano eléctrico mostrado en la

figura 64 (página 114) se simboliza con –Q1.

¿Por qué utilizar un interruptor diferencial?

El interruptor diferencial es de vital importancia para todo sistema automatizado debido a que tiene la función principal del mando y la protección contra las sobrecargas y cortocircuitos en toda la instalación. No se puede imaginar una instalación sin un interruptor diferencial. Se optó por la marca Schneider debido a que es el líder en la fabricación de estos dispositivos y cuenta con distribuidores autorizados en la región de Lambayeque. En la figura 67 se muestra la imagen del interruptor elegido.



Figura 67. Interruptor C60N 24350

Fuente: Laboratorio de Procesos USAT

El interruptor diferencial secundario que dará energía a la fuente de alimentación conmutada será un interruptor de la serie C60N de la marca Schneider Electric, cuya función principal será el mando y la protección contra las sobrecargas y cortocircuitos en la instalación. El código del producto es el interruptor automático termomagnético C60N 24337, de 2 polos, con una tensión de trabajo de hasta 400 V, con un calibre de intensidad nominal máximo de 16 A, más que suficiente para la instalación. En el plano eléctrico mostrado en la figura 64 (página 114) se simboliza con –Q2. En la figura 68 se muestra la imagen del interruptor elegido.



Figura 68. Interruptor C60N 24337
Fuente: Laboratorio de Procesos USAT

- **Guardamotor**

Con respecto al guardamotor, se elegirá el guardamotor de la serie GV2 – ME, específicamente con código GV2-ME06, para motores de 0,37 kW, con una tensión de hasta 400 V, 60 Hz de frecuencia y una corriente de disparo de hasta 22,5 A, más que suficiente para la instalación según los cálculos realizados.

¿Por qué utilizar un guardamotor?

Un guardamotor es en sí un interruptor magneto térmico, especialmente diseñado para la protección de motores eléctricos. Siempre que se utiliza motores será necesaria su presencia para brindarle seguridad a la instalación en especial a los motores eléctricos. Los guardamotors están diseñados para proporcionar una curva de disparo que lo hace más robusto frente a las sobre intensidades transitorias típicas de los arranques de los motores.

En el plano eléctrico mostrado en la figura 64 (página 114) se simboliza con –Q3 y –Q4. En la figura 69 se muestra la imagen del guardamotor elegido.



Figura 69. Guardamotor GV2ME06
Fuente: Catálogo Schneider Electric

- **Fuente de alimentación conmutada**

Como se puede observar en el plano eléctrico en la figura 64 (página 114), se obtienen 220 V a través de la conexión de la línea neutra y una de las fases. Son necesarios esos 220 V para poder conectar la fuente de alimentación de la serie Phaseo de Schneider Electric, el cual será encargado de llevar los 220 V alterna a 24 V continuo, con los cuales trabajan los sensores y otros automatismos conectados al PLC. Se eligió el Phaseo con código ABL 8REM24050, con una tensión de salida de 24 VDC y una corriente de salida de 3 A. En el plano eléctrico mostrado en la figura 64 se simboliza con F1. En la figura 70 se muestra la imagen de la fuente de alimentación elegida.

¿Por qué utilizar una fuente de alimentación conmutada?

Es necesario un Phaseo ya que será el dispositivo encargado de llevar los 220 V alterna dado por la conexión entre la línea neutra a una de las fases, a 24 V continuo, con los cuales trabajan los sensores y otros automatismos conectados al PLC



Figura 70. Fuente de alimentación ABL 8REM24050
Fuente: Laboratorio de procesos USAT

- **Pulsadores**

A su vez, se han elegido unidades de mando como un pulsador de paro, de emergencia y marcha de la marca Schneider Electric de la serie Harmony. El pulsador de paro es el pulsador rojo con un contacto normalmente cerrado con código de fabricante XB7NA42, el pulsador de marcha es el pulsador verde con un contacto normalmente abierto con código de fabricante XB7NA31. El pulsador de emergencia es un pulsador girar para desenclavar color rojo con contacto normalmente abierto y normalmente cerrado de la serie XA2ES542. En la figura 71, 72 y 73 se muestra las unidades de mando utilizadas.



Figura 71. Pulsador rojo XB7NA42

Fuente: Schneider Electric



Figura 72. Pulsador verde XB7NA31

Fuente: Schneider Electric



Figura 73. Pulsador emergencia XA2ES542

Fuente: Schneider Electric

¿Por qué utilizar pulsadores?

Todo sistema automatizado debe tener un pulsador de marcha para dar inicio al proceso. Asimismo, se debe contar con un pulsador de paro para detener el funcionamiento de la máquina. Y por último y por ello no menos importante, se debe contar con un pulsador de emergencia, el cual será activado ante cualquier emergencia ocurrido durante el funcionamiento del sistema automatizado. Se les llama pulsadores debido a que son activados al pulsarlos de manera manual por los trabajadores.

- **Cableado**

Para conectar todos los automatismos serán necesarios cables. La elección de los cables depende de la corriente nominal, la cual ya fue calculada anteriormente (2,8 A), por lo que se procede a elegir el conductor de calibre 18 (cable automotriz calibre 18, soporta hasta 10 A, anexo 14). Para conectar el motor al variador se utilizará cable vulcanizado calibre 16 con puesta a tierra.

- **PLC**

En cuanto al PLC, se optó por el Modicon M241, la serie de PLC más actual de la marca Schneider Electric. Según el catálogo de la marca, el Modicon M241, es el autómatas con mayor conectividad en el mercado, cumpliendo con todas las funciones necesarias para fabricar máquinas que mejoren la línea de producción. Además de ello, presenta para su programación el software So Machine, un software muy intuitivo al alcance de los diseñadores.

¿Por qué utilizar un PLC?

Cuando se diseña un sistema automatizado, el PLC es el principal protagonista, ya que es el da “vida” a todos los automatismos involucrados en el sistema. Los PLC trabajan bajo una secuencia, almacenada en memoria, de instrucciones lógicas. Estas instrucciones son dadas por una persona capacitada, de acuerdo al proceso que se quiera automatizar. Es por su capacidad versátil, su robustez, su conectividad y la cantidad de combinaciones para automatizar un proceso, que se hace imprescindible para el diseño del sistema automatizado del proceso de avellanado de bujes y bocinas.

Tomando como referencia la figura 64 (página 114), se logró identificar que en total se cuenta con 6 entradas digitales y 8 salidas digitales. Por lo que el PLC a elegir será el Modicon M241 del código TM241CE40R, con 24 entradas digitales y 16 salidas digitales, con puerto Ethernet, conexión USB y con una alimentación de 100 a 220 V, el cual será capaz de responder a los requerimientos del sistema automatizado. En la figura 74 se presenta el PLC:



Figura 74. Controlador lógico programable Modicon TM241CE40R
Fuente: Schneider Electric

- **Descripción del proceso a automatizar**

- **Tipo de proceso:** Discreto.
- **Tipo de sistema:** Sistema a lazo abierto.
- **Tipo de controlador:** Controlador ON / OFF
- **Tipo de señales:** Digitales.
- **Variable de control:** Avance de broca avellanadora.
- **Perturbaciones:** Medio ambiente (temperatura del ambiente, humedad del ambiente, presencia de insectos no deseados, vibraciones)

En la figura 75 se muestra la descripción gráfica del proceso a automatizar.

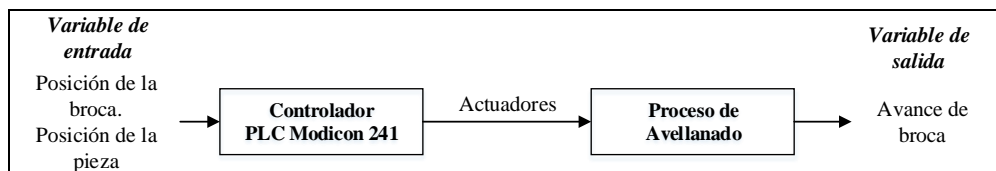


Figura 75. Variables del proceso automatizado

- **Programación del PLC**

En la tabla 23 se muestran las entradas digitales con su conexión en el PLC, en base al plano eléctrico presentado en la figura 64 (página 114)

Tabla 23. Entradas digitales en el PLC

Entradas	
Pulsador de Paro.	I0.0
Pulsador de marcha.	I0.1
Pulsador de emergencia.	I0.2
Sensor inductivo 1 estación 1.	I0.4
Sensor inductivo 2 estación 2.	I0.5
Sensor inductivo que detecta presencia de pieza a avellanar.	I0.6

En la tabla 24 se muestran las salidas digitales con su conexión en el PLC, en base al plano eléctrico mostrado en la figura 64.

Tabla 24. Salidas digitales en el PLC

Salidas	
Motor trifásico 1 estación número 1	Q0.12
Moto trifásico 2 estación número 2	Q0.10
Electroválvula 5/2 que acciona pistón estación 1	Q0.4
Electroválvula 5/2 que acciona pistón estación 2	Q0.5
Electroválvula 5/2 encargada de accionar al pistón que empuja a la pieza.	Q0.6
Electroválvula 5/2 encargada de accionar al pistón que presiona a pieza.	Q0.7
Electroválvula 5/2 encargada de accionar al pistón que retirar a la pieza.	Q0.8
Pulsos para contador digital	Q0.14

En la figura 76 se muestra el diagrama de movimientos propuesto para el sistema automatizado de avellanado de bujes y bocinas. En la figura 77 se muestra una imagen renderizada del diseño sistema identificando cada entrada y salida.

Salidas		1	2	3	4	5	6	7=1
Motor trifásico 1 estación número 1	Q0.12							
Moto trifásico 2 estación número 2	Q0.10							
Electroválvula 5/2 que acciona pistón estación 1	Q0.4			I0.4				
Electroválvula 5/2 que acciona pistón estación 2	Q0.5			I0.5	1s	1s	1,5	
Electroválvula 5/2 encargada de accionar al pistón que empuja a la pieza.	Q0.6	I0.6 (1 s)	1,5 s					I0.6 (1 s)
Electroválvula 5/2 encargada de accionar al pistón que presiona a pieza. (Empieza con vástago hacia afuera)	Q0.7							
Electroválvula 5/2 encargada de accionar al pistón que retirar a la pieza. (Empieza con vástago hacia afuera)	Q0.8							
Tiempo calculado (s)		1	2.5	4.5	5,5	6,5	8	

Figura 76. Diagrama de movimientos del proceso automatizado de avellanado de bujes y bocinas

Al activarse Q0.8 se activará automáticamente Q0.14 la cual enviará el pulso al contador digital.

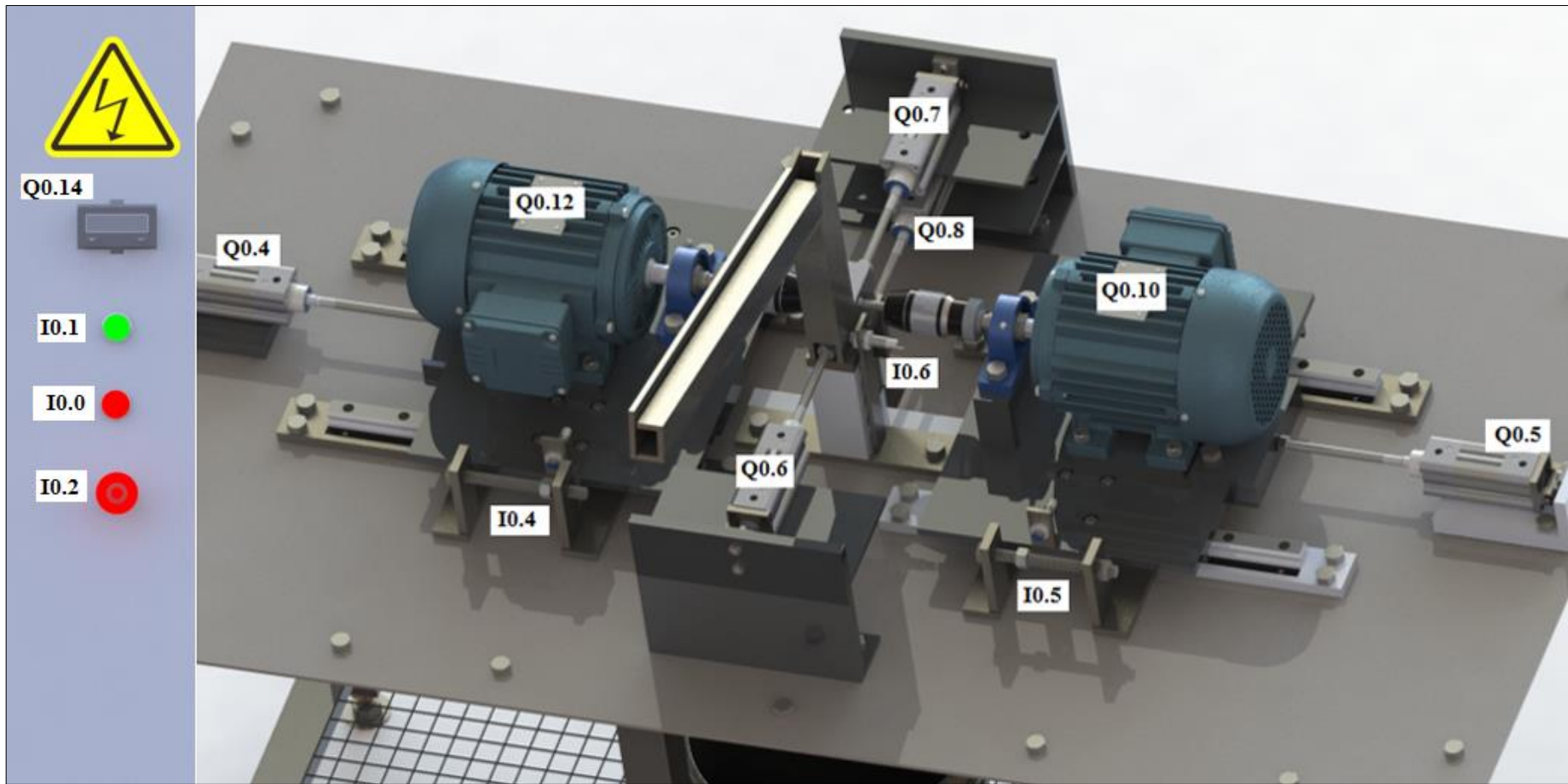


Figura 77. Identificación de entradas y salidas

Basado en la figura 76, y recomendando al lector ver la figura 77 mientras lee los siguientes párrafos, el principio de funcionamiento se basa en que el colaborador alimentará al sistema con las piezas, una vez alimentado, encenderá la máquina a través de un pulsador de marcha (I0.1) Una vez que el sistema este operativo, un sensor inductivo (I0.6) detectará si cuenta con una pieza ubicada en el alimentador, en donde una vez detectada contará un segundo para activar a la electroválvula que acciona el pistón que empuja a la pieza (Q0.6) El pistón que da la base para la pieza (Q0.8) así como el pistón que aprisiona a la pieza (Q0.7) estarán con el vástago hacia afuera desde un comienzo y solo se retraerán cuando la pieza tenga que caer.

Con los dos cilindros con el vástago hacia afuera (Q0.6 y Q0.7) la pieza quedará en la zona de avellanado listo para que las brocas entren. Se ha dado un tiempo de 1,5 segundo para que los pistones neumáticos que controlan a las brocas (Q0.4 y Q0.5) salgan para avellanar. Una vez que han alcanzado la distancia especificada, el avance será calibrado por los sensores inductivos (I0.4 y I0.5), los cuales retraerán a los pistones que sostienen a la broca y luego de 1 segundo el pistón que es la base de la pieza (Q0.8) y el que lo aprisiona (Q0.7) se retraerán para hacer que la pieza caiga por gravedad hacia el depósito. Finalmente, luego de 2 segundos, los pistones Q0.8 y Q0.7 Q0.6, regresarán a su estado inicial, dejando caer a otra pieza para que el sensor inductivo vuelva a detectarla y empezar de nuevo el proceso. A la vez que se activa Q0.8 (el cual al retraerse indica que una pieza ya ha sido avellanada) se le enviará un pulso al contador digital el cual está acoplado a Q0.14.

Para la programación del PLC se utilizó el software So machine en su versión 4.1, el cual es necesario para programar los PLC de la serie Modicon 241.

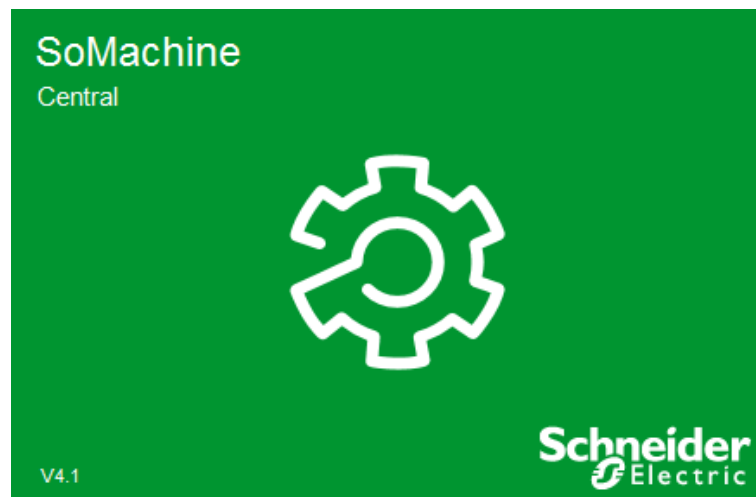
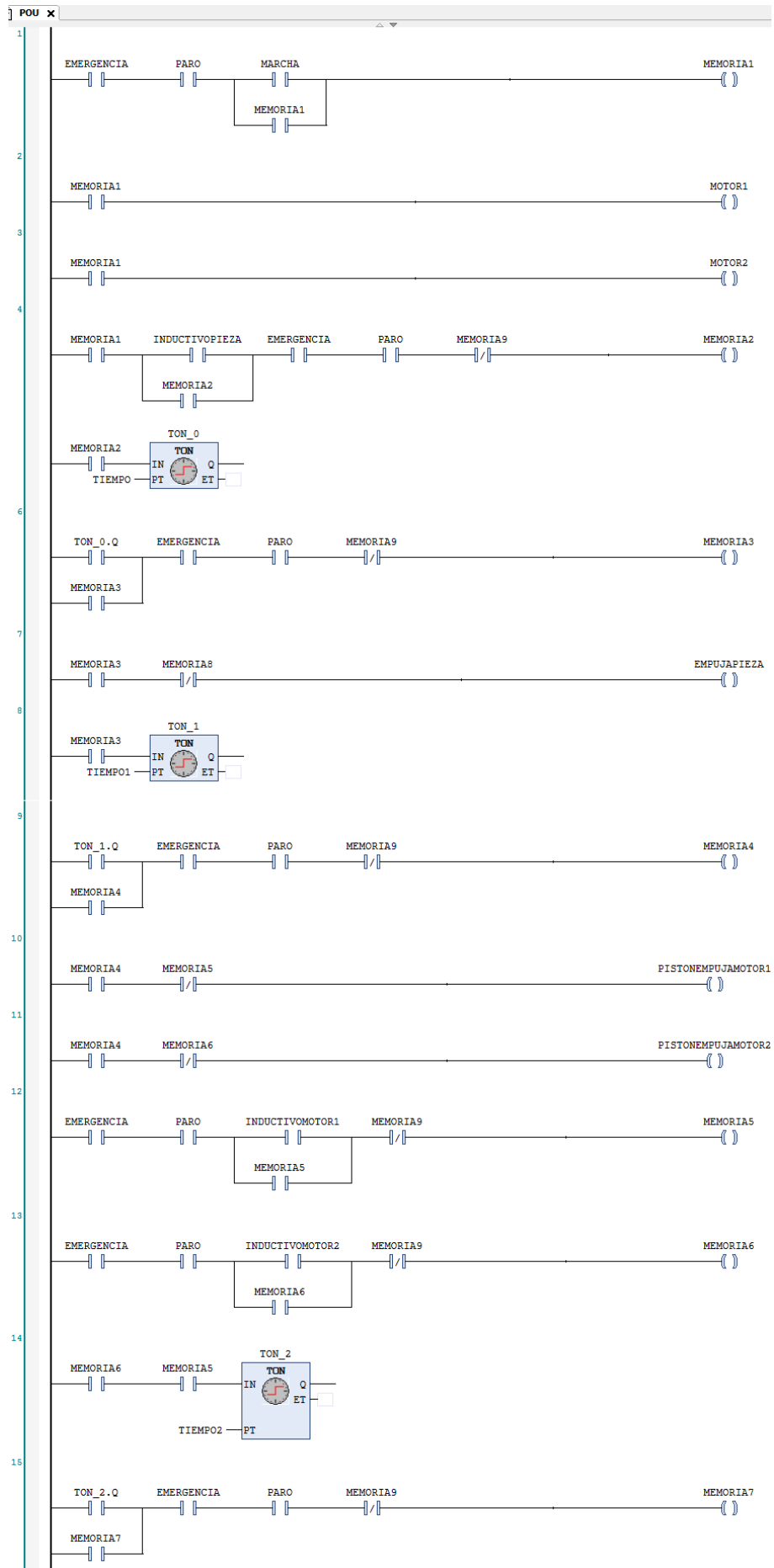


Figura 78. So Machine

Fuente: Schneider Electric

A continuación, se presenta la lógica presentada en la figura en la figura 79. Se utilizó en lenguaje ladder para su programación. Se anexa un CD en donde se explica paso a paso la programación y simulación en So Machine en base al diagrama de la figura 77, y también la animación del proceso en Solidworks.



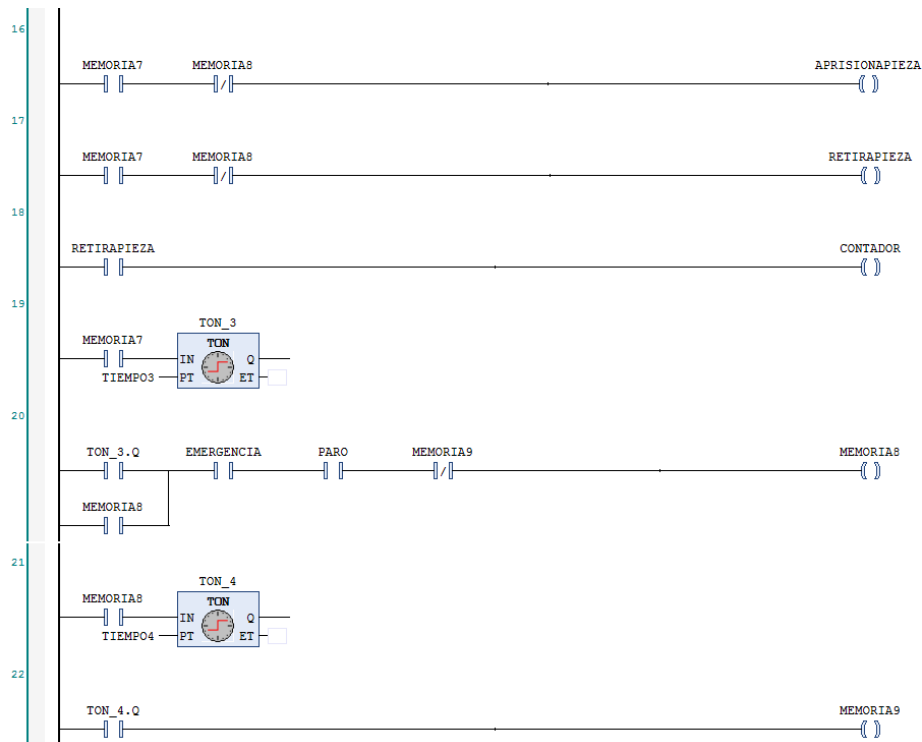


Figura 79. Programación lenguaje ladder proceso automatizado de avellanado
Fuente: So Machine

En base a la figura 79 se reconoce las siguientes variables como:

Tabla 25. Leyenda de variables en programación

Variable en programación (figura 79)	Significado	Referencia (figura 77)
EMERGENCIA	Pulsador de emergencia girar para desenchavar. Contacto NA.	I0.2
PARO	Pulsador de paro. Contacto NA.	I0.0
MARCHA	Pulsador de marcha. Contacto NA.	I0.1
MEMORIA 1 AL 9:	Variables que indican bobinas auxiliares y sus contactos NA y NC.	Sin referencia. Son memorias auxiliares internas del PLC.
MOTOR 1:	Motor estación 1.	Q0.12
MOTOR 2:	Motor estación 2.	Q0.10

Variable en programación (figura 79)	Significado	Referencia (figura 77)
INDUCTIVOPIEZA	Sensor inductivo que detecta que hay una pieza en el alimentador lista para ser empujada.	I0.6
EMPUJA PIEZA	Electroválvula 5 a 2 que acciona cilindro que empuja a la pieza.	Q0.6
PISTÓN EMPUJA MOTOR 1	Electroválvula 5 a 2 que acciona cilindro que hace avanzar la estación 1	Q0.12
PISTÓN EMPUJA MOTOR 2	Electroválvula 5 a 2 que acciona cilindro que hace avanzar la estación 2.	Q0.10
INDUCTIVOMOTOR1	Sensor inductivo que calibra el avance de la estación 1.	I0.4
INDUCTIVOMOTOR2	Sensor inductivo que calibra el avance de la estación 2.	I0.5
APRISIONA PIEZA	Electroválvula 5 a 2 que acciona cilindro que aprisiona a la pieza.	Q0.7
RETIRA PIEZA	Electroválvula 5 a 2 que acciona cilindro que da la base a la pieza y permite su retiro hacia el depósito de almacenamiento de producto terminado.	Q0.8
CONTADOR	Como bobina: Indica que un producto ha sido avellanado y lo cuenta a través de un pulso enviado al display digital. Como contacto NA: Contacto NA de la bobina.	Q0.14.
TON_0, TON_1, TON_2, TON_3, TON_4	Temporizadores con retardo a la conexión.	Sin referencia. Son temporizadores internos del PLC.
TON_0.Q, TON_1.Q, TON_2.Q, TON_3.Q, TON_4.Q	Contactos NA de los temporizadores.	Sin referencia. Son contactos internos del PLC proveniente de los temporizadores.
TIEMPO, TIEMPO1, TIEMPO2, TIEMPO3, TIEMPO4	Variable que indica el tiempo que contabilizará el temporizador.	Sin referencia. Son temporizadores internos del PLC.

Fuente: Programación So Machine

- **Capacitación a operarios**

El operario que estará a cargo de controlar el proceso automatizado de avellanado, así como los demás colaboradores que puedan reemplazarlo en caso de ausencia del primero, deberán estar capacitados para el manejo de la maquinaria. Es por ello, que será necesaria una capacitación a los colaboradores de la empresa en temas de automatización y funcionamiento del equipo, por lo que el autor brindará a la empresa sus servicios para formar a los trabajadores en el uso del nuevo equipo y resolver las dudas que se le presenten, volviéndolos capaces de afrontar cualquier problema que nazca durante el proceso de producción.

Un buen funcionamiento del equipo depende directamente de un buen nivel de formación de los colaboradores.

Los temas a capacitar estarán separados en 5 sesiones:

- Sesión 1: Automatismos industriales.
- Sesión 2: Electroneumática
- Sesión 3: Control por PLC
- Sesión 4: Elementos y funcionamiento del sistema automatizado de avellanado de bujes y bocinas.
- Sesión 5: Mantenimiento, calibración y posibles problemas y soluciones del sistema automatizado de bujes y bocinas.

- **Recomendaciones finales del sistema automatizado**

- Se recomienda trabajar con orden alrededor de la máquina, además de mantener una limpieza del equipo de por lo menos 2 veces durante el turno, debido a que como el avellanado es un proceso de arranque de viruta, esta viruta (a pesar de ser una cantidad mínima y despreciable por pieza) se va acumulando mientras más piezas se procese. En la presente investigación se ha considerado 20 minutos de limpieza durante el turno de 8 horas.
- Se recomienda seguir trabajando por lotes de producción, debido a que para cada medida de pieza se tiene que calibrar la máquina en el alimentador (bujes o bocina) o aprisionador (según medida de bocina y buje)
- Cada 3 meses se debe lubricar la chumacera de piso acoplada al eje de motor y cada año la lubricación del rodamiento lineal (carro).
- Después del montaje del equipo, serán necesarios días extras de prueba y calibración para solucionar cualquier problema que se presente. La capacitación al personal es necesaria para que conozcan el funcionamiento de la maquinaria y el cómo actuar ante posibles inconvenientes.
- Se debe operar con la máquina con los correctos equipos de protección personal.

3.2.2 Nuevos indicadores

Con el diseño propuesto, se logrará eliminar las causas que conllevan al problema de baja productividad en el proceso de avellanado de bujes y bocinas. Es importante realizar un diagrama hombre máquina para observar las variaciones que han ocurrido en el tiempo de proceso. En base al diagrama de movimientos desarrollado por el autor propuesto en la figura 76, se presenta en la figura 80 el diagrama hombre máquina con los tiempos mejorados gracias al sistema automatizado.

Diagrama Hombre Máquina

Operación: Avellanado

Máquina: Sistema automatizado de avellanado de bujes y bocinas

Diagramador: Luis

Hombre	Tiempo (s)		Máquina	Tiempo (s)	
Carga pieza	2		Carga pieza	2	
Ocioso	6		Empuja pieza a avellanado	1,5	
			Avellana pieza	2	
			Retira pieza	2,5	

Ciclo: 8 segundos

Figura 80. Diagrama hombre máquina del proceso de avellanado después de la propuesta

El diagrama hombre máquina es para la producción de 1 sola pieza, en donde el tiempo de ciclo es de 8 segundos, presenta un tiempo ocioso de 6 segundos y un tiempo productivo de 2 segundos. Este tiempo de ciclo generado del diagrama hombre máquina será considerado el tiempo estándar para el proceso de avellanado con el equipo automatizado.

El tiempo ocioso podrá ser utilizado para seguir cargando al alimentador (debido a que cuenta con la capacidad de alimentar 30 piezas a la vez) y una vez terminado utilizar otras máquinas mientras el equipo automatizado trabaja. La labor única del operario es alimentar las piezas al sistema.

Los nuevos indicadores en base al diagrama hombre máquina presentado en la figura 80 son:

$$\text{Saturación del operario} = \frac{\text{Tiempo productivo operario}}{\text{Tiempo de ciclo}} \times 100$$

$$\text{Saturación del operario} = \frac{2 \text{ s}}{8 \text{ s}} \times 100 = 25\%$$

Este indicador nos da a entender que el operario está saturado en un 25% con respecto al tiempo total de ciclo. Este dato tiene sentido, debido a que la única función del operario será alimentar al equipo con las piezas y luego dejará trabajar automáticamente al sistema y el colaborador podrá ir a otra máquina hasta que se requiera alimentar de nuevo al equipo. El tiempo de carga de piezas es muchísimo menor al tiempo de avellanado de piezas.

$$P_{MO} = \frac{\text{Piezas fabricadas}}{\text{Tiempo empleado en la fabricación} \times \text{número de operarios}}$$

$$P_{MO} = \frac{1 \text{ unidades}}{8 \text{ segundos} \times 1 \text{ operario}} = 0,125 \frac{\text{unidades}}{\text{segundo hombre}}$$

Considerando un tiempo disponible de 7,3 horas (20 minutos de calibración de maquinaria según lote a trabajar, y 20 minutos de limpieza de equipo al final de turno)

$$P_{MO} = 0,125 \frac{\text{unidades}}{\text{segundo hombre}} \times 3600 \frac{\text{segundo}}{\text{hora}} \times 7,3 \frac{\text{horas}}{1 \text{ día}}$$

$$P_{MO} = 3300 \frac{\text{unidades}}{\text{día hombre}} \text{ ó } 412 \frac{\text{unidades}}{\text{horas hombre}}$$

$$\text{Eficiencia de la máquina} = \frac{\text{Tiempo que añade valor al producto}}{\text{Tiempo total de ciclo}} \times 100$$

$$\text{Eficiencia de la máquina: } (8 / 8) \times 100 = 100\%$$

Se le da una utilización del 100% de tiempo útil al equipo automatizado. En un día se tiene 7,3 horas disponibles. Según la especificación del sistema, se presentan dos motores de 0,5 HP, sumando una potencia total de 1 HP.

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W} \times 7,3 \text{ horas} = 5,5 \text{ kWh}$$

Para una producción propuesta de 3300 piezas por turno, el consumo de energía (en función a los motores) sería de:

$$C_E = \frac{\text{Unidades producidas por turno en la máquina X}}{\text{kWh consumidos en la máquina X en un turno}}$$

$$C_E = \frac{3300 \text{ unidades}}{5,5 \text{ kWh}} = 600 \frac{\text{unidades}}{\text{kWh}}$$

Esto quiere decir que con un kWh del equipo automatizado se pueden elaborar 600 unidades.

Se podrá producir aproximadamente 3300 unidades por día, lo que equivale a una capacidad máxima de producción de 79 200 unidades al mes. Con esta nueva capacidad de producción, se podrá cumplir con la demanda total, incluyendo los pedidos no atendidos previamente, por lo que el rendimiento de volumen será del 100% únicamente para las bocinas con pestaña, debido a que el avellanado era el cuello de botella su proceso de producción. No ocurre lo mismo con los bujes, cuyo cuello de botella es el proceso de roscado.

Tabla 26. Demanda atendida de bujes y bocinas

Mes del 2016	Demanda de bocinas con pestaña	Producción real de bocinas con pestaña	Pedidos no atendidos de bocinas	Demanda de bujes	Producción real de bujes	Pedidos no atendidos de bujes
Enero	56 800	56 800	0	10 700	5 086	5 614
Febrero	56 900	56 900	0	11 100	4 906	6 194
Marzo	57 600	57 600	0	10 600	4 947	5 653
Abril	58 400	58 400	0	10 800	3 743	7 057
Mayo	58 200	58 200	0	10 500	3 918	6 582
Junio	58 000	58 000	0	10 000	5 023	4 977
Julio	59 200	59 200	0	10 700	4 173	6 527
Agosto	58 400	58 400	0	11 500	5 396	6 104
Septiembre	59 600	59 600	0	10 500	4 063	6 437
Octubre	59 400	59 400	0	11 200	4 322	6 878
Noviembre	58 100	58 100	0	11 600	4 291	7 309
Diciembre	58 900	58 900	0	11 800	4 442	7 358
Total	699 500	699 500	0	131 000	54 310	76 690

Fuente: Fabrication Technology Company S.A.C

- $Rto_{vol}bocinas = \frac{Producción\ real}{Producción\ programada\ en\ base\ a\ demanda}$

$$Rto_{vol}bocinas = \frac{699\ 500\ unidades}{699\ 500\ unidades} = 100\%\%$$

Se está atendiendo el 66,91% de la demanda requerida de bocinas.

- $Rto_{vol}bujes = \frac{Producción\ real}{Producción\ programada\ en\ base\ a\ demanda}$

$$Rto_{vol}bujes = \frac{54\ 310\ unidades}{131\ 000\ unidades} = 41,46\%$$

Se está atendiendo el 48,74% de la demanda requerida de bujes.

- $Rto_{vol}total = \frac{Producción\ real}{Producción\ programada\ en\ base\ a\ demanda}$

$$Rto_{vol}total = \frac{753\ 810\ unidades}{830\ 500\ unidades} = 90,77\ %$$

Se está atendiendo el 91,91% de la demanda requerida de bujes y bocinas.

Como vemos la empresa puede atender aún 79 200 unidades por mes, equivalente a 3 300 unidades por día y 412 unidades por hora hombre. Con el fin de igualar el flujo de producción y balancear la línea, se recomienda activar el retén 1 y contratar a un operario más.

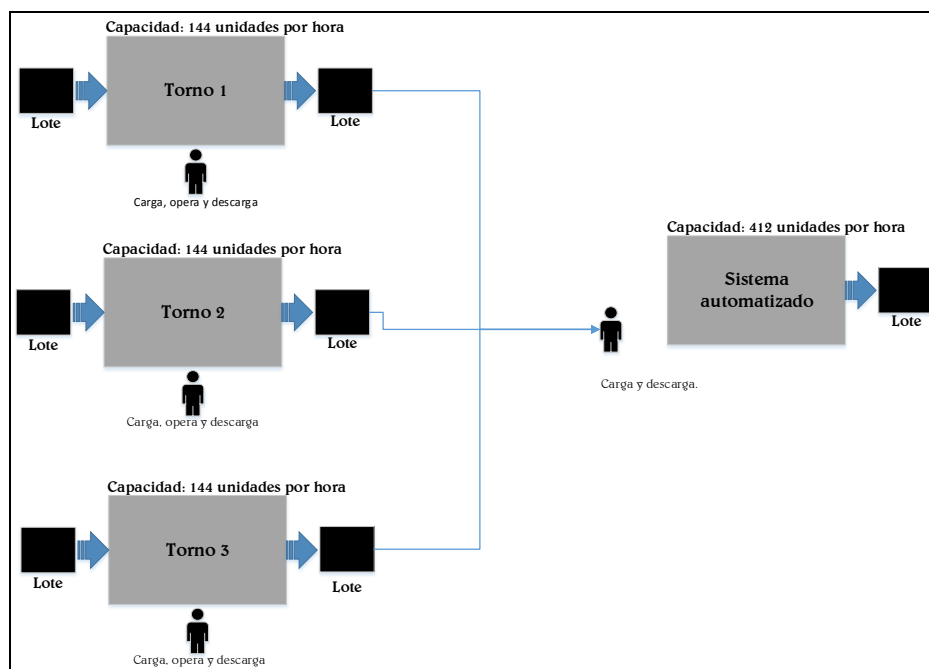


Figura 81. Nuevo flujo de producción estación de avellanado

Con la propuesta anterior serían los 3 turnos trabajando a máxima capacidad, lo que en condiciones correctas llevaría 432 piezas a avellanar en el que el nuevo sistema estaría en la capacidad de avellanar. A futuro y para mantener la máquina de retén, se recomienda convertir los tornos mecánicos a hidráulicos para que alcancen capacidades de 200 unidades por hora. Así mismo, se recomienda proponer un plan de mantenimiento preventivo a los tornos y al sistema automatizado.

En base a lo comentado anteriormente, en la siguiente tabla se presenta la capacidad ociosa del sistema automatizado, que puede ser aprovechado para la producción de bocinas con pestaña y a través de una fuerza de ventas colocar en producto con más clientes y aprovechar al máximo la capacidad de la nueva máquina.

Tabla 27. Capacidad ociosa del sistema automatizado

Mes del 2016	Demanda bocinas	Demanda bujes	Demanda total (unidades avellanadas)	Capacidad efectiva del sistema	Capacidad ociosa del sistema
Enero	56 800	5 086	61 886	79 200	17 314
Febrero	56 900	4 906	61 806	79 200	17 394
Marzo	57 600	4 947	62 547	79 200	16 653
Abril	58 400	3 743	62 143	79 200	17 057
Mayo	58 200	3 918	62 118	79 200	17 082
Junio	58 000	5 023	63 023	79 200	16 177
Julio	59 200	4 173	63 373	79 200	15 827
Agosto	58 400	5 396	63 796	79 200	15 404
Septiembre	59 600	4 063	63 663	79 200	15 537
Octubre	59 400	4 322	63 722	79 200	15 478
Noviembre	58 100	4 291	62 391	79 200	16 809
Diciembre	58 900	4 442	63 342	79 200	15 858
Total	699 500	54 310	753 810	950 400	196 590

Al ser una máquina automatizada completamente calibrada según la pieza a producir, la posibilidad de que una pieza sea mal avellanada y vuelva a ser reprocesada es del 0%. Por lo que el indicador de FTT (Piezas hechas bien a la primera) será del 100%.

3.2.3 Cuadro comparativo de indicadores

La tabla 28 muestra la comparación entre los indicadores actuales y los indicadores después de la propuesta:

Tabla 28. Comparación indicadores para el proceso de avellanado

Causa	Indicador actual	Indicador con mejora
C1: Errores del operario durante el proceso de avellanado	$FTT = 92,52 \%$	$FTT = 100 \%$
C2: Saturación del operario	<p>Saturación del operario = 100%</p> <p>$P_{MO} = 213 \frac{\text{unidades}}{\text{hora hombre}}$</p> <p>$T_{ciclo} = 15,2 \frac{\text{segundos}}{\text{unidad}}$</p> <p>Producción bocinas= 468 004 unidades</p> <p>Producción bujes= 54 310 unidades</p> <p>Producción total= 522 314 unidades</p> <p>$Rto_{vol} bocinas = 66,91\%$</p> <p>$Rto_{vol} bujes = 41,46\%$</p> <p>$Rto_{vol} total = 62,89 \%$</p>	<p>Saturación del operario = 25%</p> <p>$P_{MO} = 412 \frac{\text{unidades}}{\text{hora hombre}}$</p> <p>$T_{ciclo} = 8 \frac{\text{segundos}}{\text{unidad}}$</p> <p>Producción bocinas= 699 500 unidades</p> <p>Producción bujes= 54310 unidades</p> <p>Producción total= 753 810 unidades</p> <p>$Rto_{vol} bocinas = 100\%$</p> <p>$Rto_{vol} bujes = 41,46\%$</p> <p>$Rto_{vol} total = 90,77 \%$</p>
C3: Baja eficiencia de maquinaria	<p>Eficiencia de la máquina: 50,7%</p> <p>$C_E = 571,2 \frac{\text{unidades}}{\text{kWh}}$</p>	<p>Eficiencia de la máquina: 100%</p> <p>$C_E = 600 \frac{\text{unidades}}{\text{kWh}}$</p>

Elaboración: Propia

3.3 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

Es necesario realizar el análisis costo beneficio para determinar si el proyecto a realizar es conveniente. Para ello, se enumerarán y valorarán en términos monetarios todos los costos y beneficios derivados directamente del proyecto.

Los materiales a utilizar para la implementación del sistema fueron cotizados en empresas como 3 A y QUIROGA para materiales metalmecánicos (tubos, platinas, planchas), en ferreterías de la región, en empresas distribuidoras de pernos y tuercas como ACRLMSA, en empresas distribuidoras de rodamientos como RODCAF, en SIEL ELECTRIC para automatismos y neumática (Interruptores diferenciales, variadores, PLC, entre otros), en empresas distribuidoras de motores WEG como IMDIGESAC & CIA y en lo que respecta a la manufactura y ensamble del sistema a empresas como WILSNORTH para oxicorte en CNC y en la empresa en estudio Fabrication Technology Company S.A.C, la cual cuenta con capacidad para manufacturar el sistema (soldadura, oxicorte manual, pintura, torno, fresa, corte por disco, prensa, entre otros)

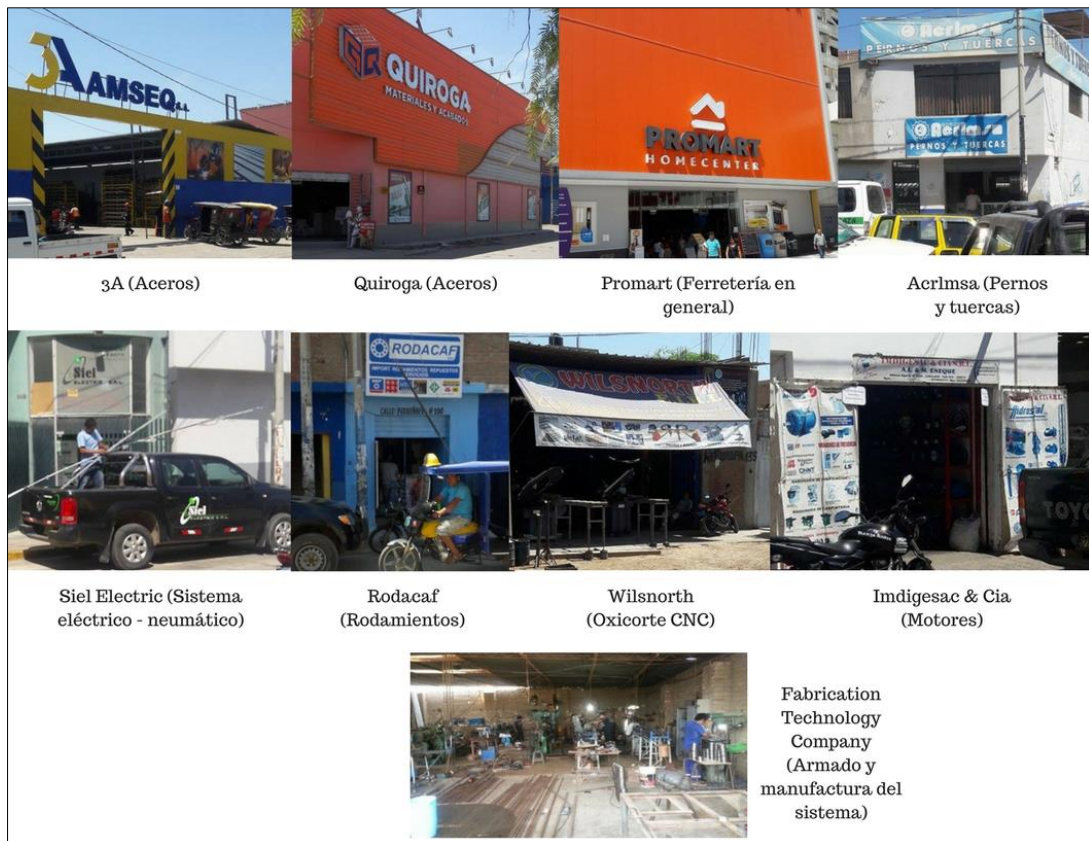


Figura 82. Empresas donde se cotizó el proyecto

En la tabla 29 se muestra los diferentes costos que intervienen en el desarrollo del sistema automatizado, tanto tangibles como intangibles.

Tabla 29. Coste del sistema propuesto

Ítem	Costo por unidad (Soles)	Cantidad	Total (Soles)
Tubo cuadrado LAC ASTM 500 de 2" por 6 m y espesor de 2 mm.	53,4	3	160,2
Arandela de 1"	0,5	25	12,5
Perno de cabeza hexagonal de 3/4" x 2"	1,8	10	18
Tuerca de cabeza hexagonal de 3/4"	0,5	10	5
Ángulo Estructural de 2" x 2" x 1/8" x 6 m	43,2	2	86,4
Ángulo Estructural de 1 1/2" x 1 1/2" x 3/16" x 6 m	36,2	2	72,4
Platina de 1/2" x 2" x 6 m	70,2	3	210,6
Ángulo Estructural de 25 mm x 25 mm x 3 mm x 6 m	16,8	2	33,6
Tubo cuadrado LAC ASTM 500 de 25 mm por 6 m y espesor de 2 mm.	25,6	1	25,6
Malla metálica calibre 16 (metro cuadrado)	8	4	32
Plancha LAC Calidad Estructural PDLAC A36 de 4.5 mm x 1200 mm x 2400 mm	247	1	247
Perno de cabeza hexagonal de 1/2" x 1 1/2" Hilo corriente	1	50	50
Perno de cabeza hexagonal de 1/2" x 2" Hilo corriente	1,2	50	60
Primario anticorrosivo (galón)	60	2	120
Esmalte a color de preferencia (galón)	46	2	92
Guía Lineal conjunto raíl y rodamiento lineal (carro)	120	4	480
Platina de 1/8" x 1/2" x 6 m	54,5	2	109
Tuerca de 1/2 pulgada	0,2	100	20
Plancha LAC de 1" x 1200 mm x 2400 mm	1549	1	1549
Motor trifásico asíncrono WEG de 0,5 HP 8 polos 220/380	920	2	1840
Chumacera de piso de 20 mm	15	2	30
Portabrocas industrial 16 mm	40	2	80
Broca avellanadora AV6 HSS DIN 335C 90° 15 mm	60	2	120

Ítem	Costo por unidad (Soles)	Cantidad	Total (Soles)
Pernos socket M10 x 50mm	1	20	20
Pernos socket M8 x 25mm	0.5	25	12.5
Plancha LAC de acero de ¼ pulgada espesor x 1200 mm x 2400 mm	347	1	347
Plancha LAC de acero de 1/2 pulgada espesor x 1200 mm x 2400 mm	697	1	697
Actuadores neumáticos de diámetro de émbolo de 32 mm, diámetro de vástago de 10 mm, carrera de 125 mm, de doble efecto, con brida basculante.	290	5	1450
Electroválvula 5 a 2	271,4	5	1357
Válvula de estrangulación y antirretorno	30	10	300
Racor neumático T M6	6	10	60
Manguera neumática 6 mm (metro)	6	10	60
Unidad de mantenimiento	1	200	200
Compresor 2 HP 8 bar	1	400	400
Sensor inductivo Schneider Electric XS618B1PAL2	351,1	3	1053,3
Platina de 2" x 3/8" x 6 m	64,5	2	129
Tubo cuadrado de 1 1/2" espesor de 2 mm	43,2	1	43,2
Contenedor apilable y encajable	1	30	30
Altivar ATV 312H037N4	1083	2	2166
Interruptor C60N 24350 3 polos	151	1	151
Interruptor C60N 24337 2polos	45,7	1	45.7
Guardamotor GV2ME06	306,8	2	613,6
Phaseo ABL 8REM24050	554,2	1	554,2
Pulsador rojo XB7NA42	17,2	1	17,2
Pulsador verde XB7NA31	17,2	1	17,2
Pulsador rojo XA2ES542	46	1	46
Contador display digital	60	1	60
PLC TM241CE40R	2065	1	2065
Tablero 800 x 600 x 200 mm	290	1	290
Canaleta ranurada 25 x 25 mm x 2 metros	12,4	3	37,2
Riel DIN x 2 metros	25,7	2	51,4

Ítem	Costo por unidad	Cantidad	Total
Cable GPT 18 AWG (metro)	0,46	20	9,2
Varilla roscada de ½ pulgada (metro)	5	1	5
Cable vulcanizado de 3 x 16 AWG	3,35	5	16,75
TOTAL			17757,75

Elaboración: Propia
 Los precios incluyen IGV.
 Moneda: Sol

Para calcular el beneficio se procedió a pronosticar la demanda total de bujes y bocinas con la mejora de la tabla 27 de la página 138 a un período de 5 años. Para ello se utilizó el método de regresión lineal debido a que el coeficiente de correlación nos da un valor de 71,31% el cual es significativo para aplicar la técnica de pronóstico. Los resultados del pronóstico se muestran en la tabla 30.

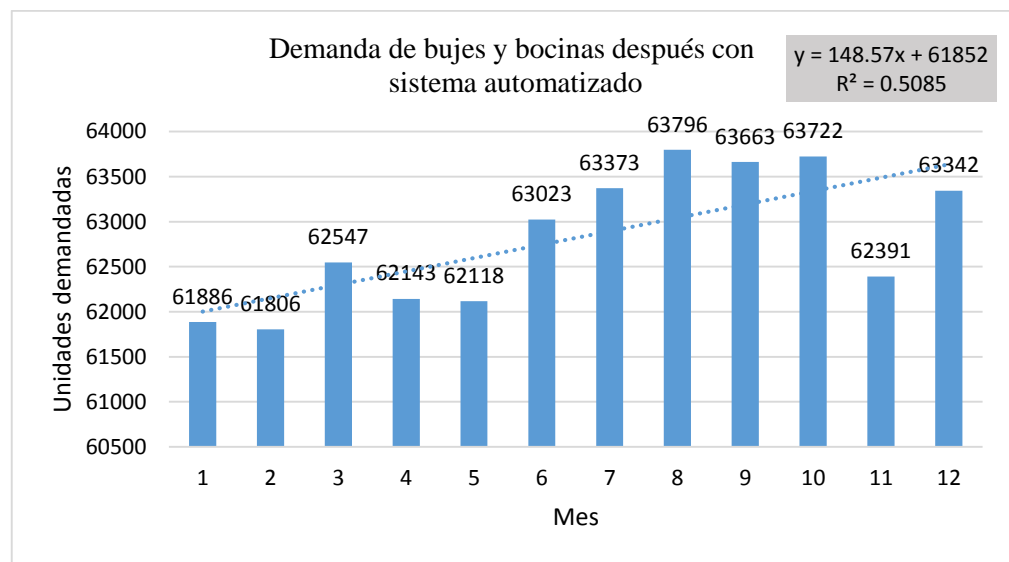


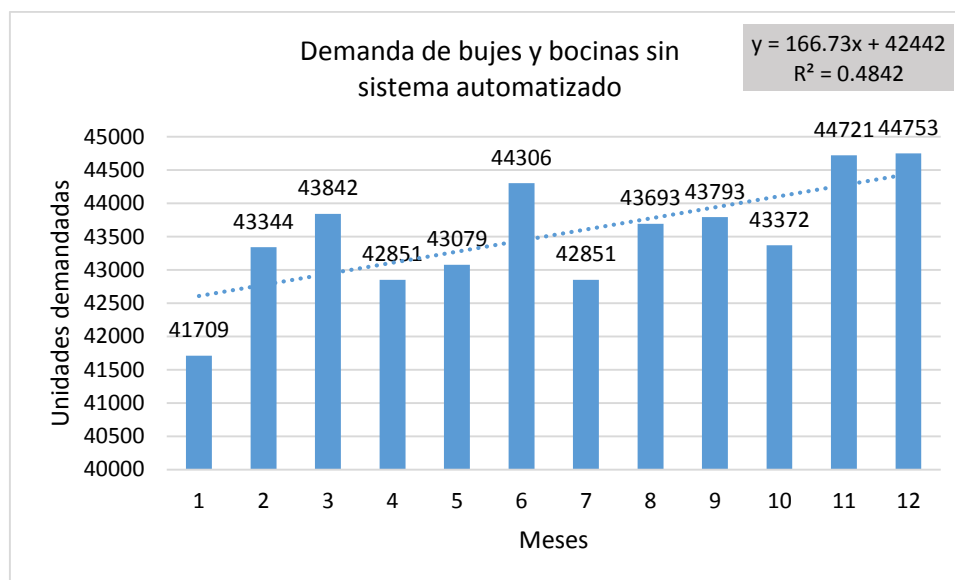
Figura 83. Tendencia de la demanda

Coeficiente de correlación: $\sqrt{0,5085} = 0,71309 = 71,31\%$
 Ecuación del gráfico: $y = 148,57x + 61852$

Tabla 30. Demanda proyectada de bujes y bocinas con sistema automatizado

Año	Demanda proyectada (unidades)
2016	753 810
2017	775 207
2018	796 601
2019	817 995
2020	839 389
2021	860 783

Luego se procedió a pronosticar los datos de la demanda antes de la mejora, de la tabla 8 de la página 68. Para ello se utilizó el método de regresión lineal debido a que el coeficiente de correlación nos da un valor de 69,58%, el cual es significativo para aplicar la técnica de pronóstico. Los resultados del pronóstico se muestran en la tabla 31.



Coeficiente de correlación: $\sqrt{0,4842} = 0,6958 = 69,58\%$
 Ecuación del gráfico: $y = 166,73x + 42442$

Tabla 31. Demanda proyectada de bujes y bocinas sin sistema automatizado

Año	Demanda proyectada (unidades)
2016	522 314
2017	546 318
2018	570 327
2019	594 336
2020	618 345
2021	642 354

El beneficio principal por la empresa es el incremento en las utilidades por el incremento de las ventas de los productos. En la siguiente tabla 32 se presenta la utilidad total percibida por la venta de los productos, tomando en cuenta la demanda proyectada antes y después de la mejora (tabla 30 y 31) y considerando una utilidad de 0,40 céntimos para ambas piezas.

Tabla 32. Beneficio por incremento de ventas

Año	Demanda proyectada atendida sin sistema automatizado	Demanda proyectada atendida con sistema automatizado	Incremento en ventas (unidades)	Utilidades por venta de productos (soles)
2016	522 314	753 810	231 496	92 598,4
2017	546 318	775 207	228 888	91 555,392
2018	570 327	796 601	226 273	90 509,376
2019	594 336	817 995	223 658	89 463,36
2020	618 345	839 389	221 043	88 417,344
2021	642 354	860 783	218 428	87 371,328

Además de ello, anteriormente se tenía un impacto económico por la presencia de reprocesos, pero actualmente con el sistema automatizado ya no existirá ese costo. De igual manera, anteriormente se tenía un costo por tiempo muerto de la máquina taladro, pero actualmente ya no existirá debido a que el sistema cuenta con una eficiencia de máquina de 100%. Conociendo tanto la inversión y requerimientos que conlleva proponer el sistema automatizado y el principal beneficio de la propuesta en base a la utilidad por venta de productos, además de tomar en cuenta una depreciación en un 5% en la tabla 33 se presenta el análisis beneficio costo de la propuesta.

Tabla 33. Flujo de caja de la propuesta

BENEFICIOS	Unidad	0	1	2	3	4	5
Incremento en utilidades por ventas	S/.		S/. 91.555,39	S/. 90.509,38	S/. 89.463,36	S/. 88.417,34	S/. 87.371,33
Total Beneficios			S/. 91.555,39	S/. 90.509,38	S/. 89.463,36	S/. 88.417,34	S/. 87.371,33
COSTOS							
Capacitación al personal operador			S/. 500,00				
Costo de materiales para el sistema		S/. 17.757,80					
Costo de mano de obra y puesta en marcha		S/. 5.000,00					
Mantenimiento programado anual			S/. 1.000,00	S/. 1.000,00	S/. 1.000,00	S/. 1.000,00	S/. 1.000,00
Contratación de un nuevo operador			S/. 10.200,00	S/. 10.200,00	S/. 10.200,00	S/. 10.200,00	S/. 10.200,00
Imprevistos (5%)		S/. 1.137,89					
Total Costos		S/. 22.757,80	S/. 11.700,00	S/. 11.200,00	S/. 11.200,00	S/. 11.200,00	S/. 11.200,00
UTILIDAD BRUTA		-S/. 22.757,80	S/. 79.855,39	S/. 79.309,38	S/. 78.263,36	S/. 77.217,34	S/. 76.171,33
Depreciación (5%)			-S/. 1.137,89	-S/. 1.137,89	-S/. 1.137,89	-S/. 1.137,89	-S/. 1.137,89
Utilidad a Impuestos			S/. 78.717,50	S/. 78.171,49	S/. 77.125,47	S/. 76.079,45	S/. 75.033,44
Impuestos			S/. 23.615,25	S/. 23.451,45	S/. 23.137,64	S/. 22.823,84	S/. 22.510,03
			S/. 1.137,89	S/. 1.137,89	S/. 1.137,89	S/. 1.137,89	S/. 1.137,89
FLUJO DE CAJA ECONOMICO		-S/. 22.757,80	S/. 56.240,14	S/. 55.857,93	S/. 55.125,72	S/. 54.393,51	S/. 53.661,30

VNA (*)	S/. 198.998,33
TIR	246%
BENEFICIO COSTO	5,70
(*) Tasa referencial	12%

Como resultado se tiene que por cada sol invertido se obtiene 4,70 soles. Además, se tiene una tasa interna de retorno del 246%, que comparada al 12% de la tasa de descuento económica es superior y, por consiguiente, hace rentable la propuesta de mejora a través de la implementación de un sistema automatizado para el proceso de avellanado de bujes y bocinas. El valor neto actual es de S/. 198.998,33, monto que representa las utilidades de los cinco años proyectados en el año cero, es decir en el valor actual.

Es necesario, además, conocer el tiempo de recuperación de la inversión de la propuesta. En la tabla 31 se muestra el tiempo de recuperación.

Tabla 34. Período de recuperación

Año	0	1	2	3	4	5
Ingreso		S/. 56.240,14	S/. 55.857,93	S/. 55.125,72	S/. 54.393,51	S/. 53.661,30
Inversión	S/. 22 257,80					
Saldo		S/. 33.482,34				

Período de recuperación: $(22\ 257,80) / (S/. 56.240,14) = 4,85$ meses = 146 días.

El tiempo de recuperación de la inversión será calculado con el monto inicial de la inversión dividido por el beneficio anual que percibe la empresa si implemente el sistema automatizado para el proceso de avellanado de bujes y bocinas. En 146 días aproximadamente se habrá recuperado la inversión realizada.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se logró analizar detalladamente el proceso de avellanado, determinando tres causas que conllevan a la baja productividad del proceso: errores del operario al avellanar, saturación del operario durante el proceso de avellanado y baja eficiencia de maquinaria para avellanar piezas.
- Se propuso un sistema automatizado para mejorar la productividad del proceso, para ello se presentó el diseño a través de 3 subsistemas: subsistema de soporte general, subsistema de avance de brocas y subsistema de alimentación, posición y retiro de piezas. Se sustentó con cálculos de ingeniería la elección de cada componente y se mostró la importancia y aporte de cada pieza en el sistema final. Se logró presentar el diseño en el software Solidworks, los planos esquemáticos eléctricos y neumáticos del sistema, así como la programación del PLC Modicon 241 en el software So Machine. Con el avellanado automatizado de bujes y bocinas se logró que el 100% de las piezas sean avellanadas sin reprocesos, lo cual representa un aumento del 7,48% frente al proceso manual. Además, se logró que durante el proceso de avellanado el sistema automatizado cuente con una eficiencia del 100%, lo cual representa un aumento de 49,3% frente al proceso manual. Finalmente, el porcentaje de saturación del operario se redujo sustancialmente de 100% a 25%, la productividad de mano de obra aumentó en un 193,4% comparado al proceso sin automatizar y se logró atender a la demanda no atendida que se incurría por la ausencia de un sistema automatizado en la línea de bocinas con pestaña.
- El sistema automatizado logra eliminar las causas que conllevaban a una baja productividad del proceso, obteniendo como resultado del análisis costo beneficio que por cada sol invertido se obtiene 4,70 soles. Finalmente, se obtuvo una tasa interna de retorno del 246%, un valor neto actual de S/. 198.998,33 soles a un plazo de 5 años y un período de recuperación de 146 días, siendo un proyecto muy viable y rentable para Fabrication Technology Company S.A.C.

4.2 RECOMENDACIONES

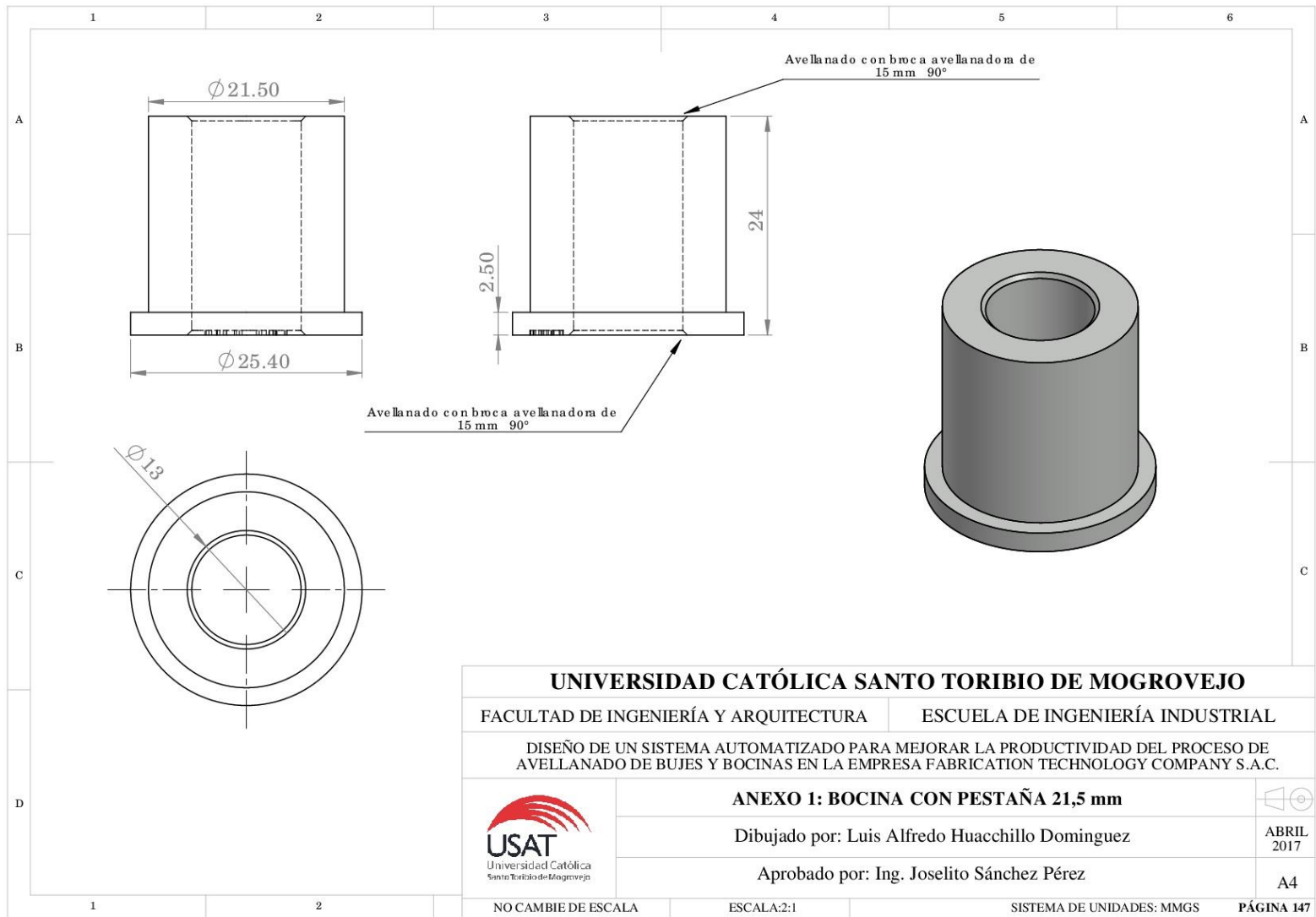
- Del presente proyecto pueden surgir mejoras que pueden ser tema de estudio para otros temas de investigación, como su modificación para el roscado automático de bujes, de esta manera se reduciría notablemente el cuello de botella de la línea de roscado y se atendería a la demanda insatisfecha en este producto. Por otro lado, otra mejora puede ser el acople de un alimentador automático para reducir el tiempo en que el operario carga la máquina.

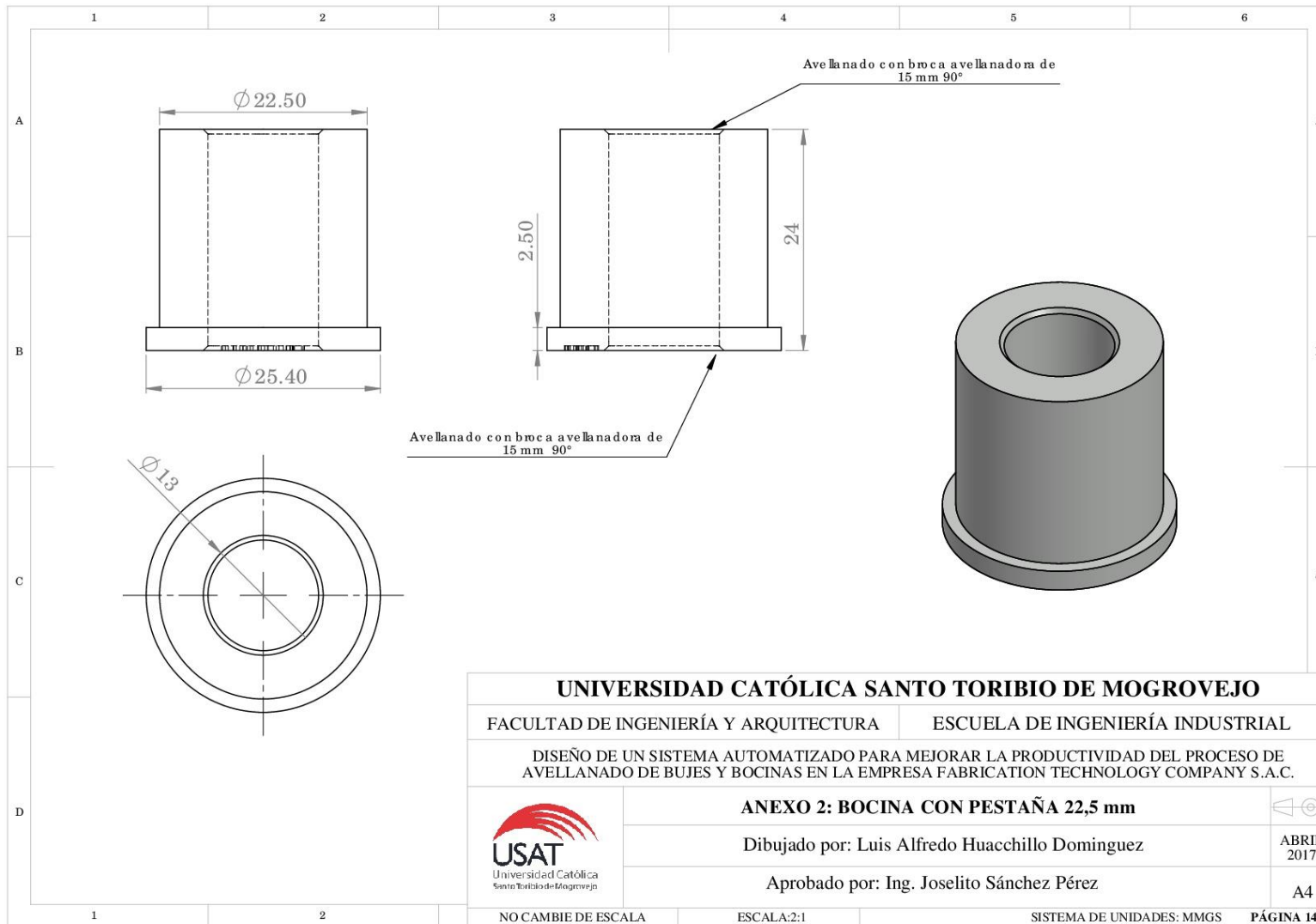
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

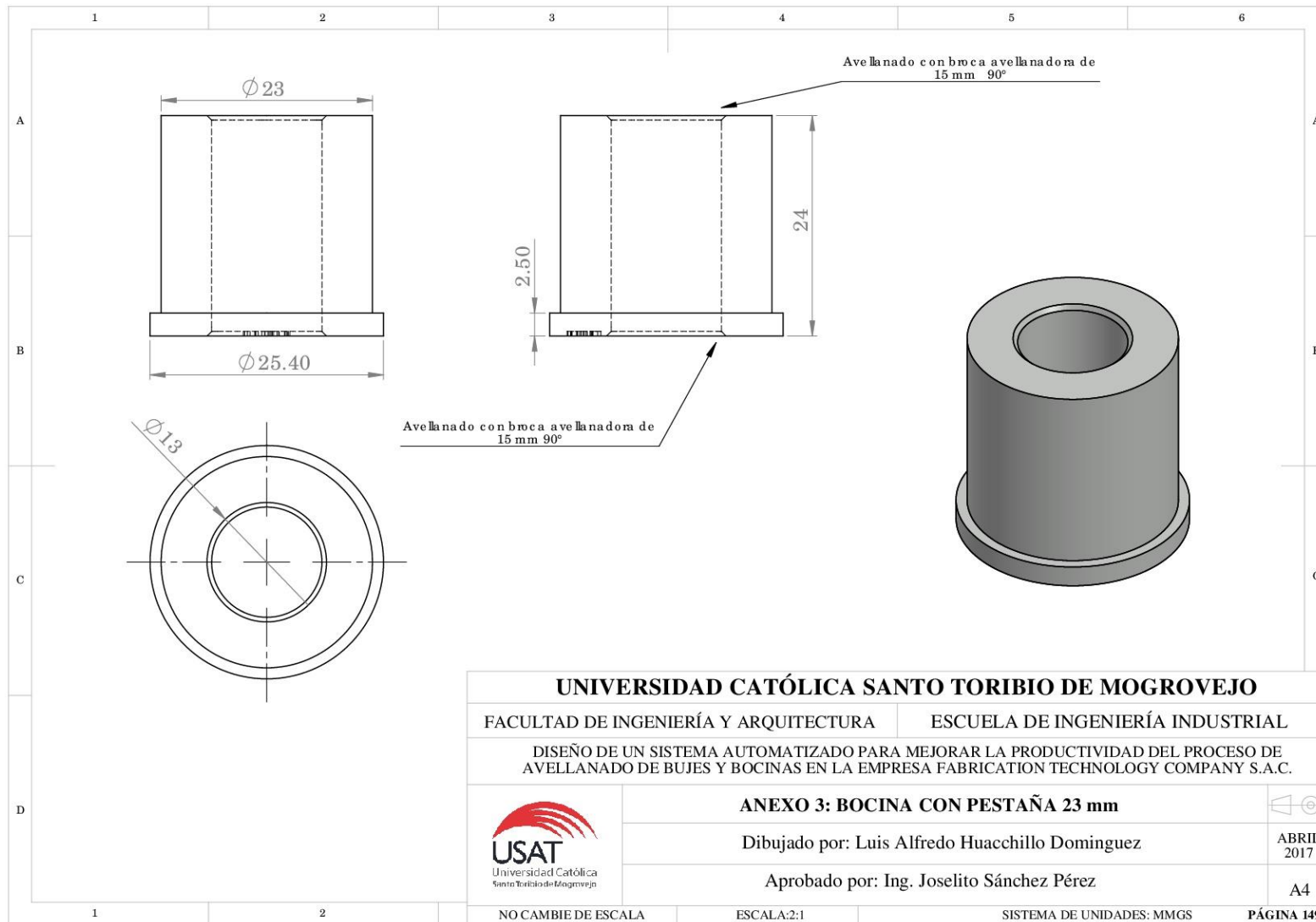
- ABB Líder en tecnologías digitales para la industria. La automatización en la industria discreta versus la automatización en la industria de procesos. <http://www.abb.com/cawp/seitp202/4295236601eae40ac1257bf6004ad128.aspx> (consultada el 10 de junio del 2017)
- Álvarez, David, Martínez, Ernesto. 2012. Diseño de un sistema para despaletizar botellas. *Revista de la Escuela Superior Politécnica del Litoral*.
- Aguilar, Regis. 2014. Automatización de una sierra ingletadora para la fabricación de disipadores de calor modelo TUC37644-2. *Científica*, vol. 18 no. 4: 131-134.
- Bryan y Bryan. 1997. *Programmable Controllers: Theory and Implementation*. Segunda edición. USA, Industrial Text.
- Comité metalmeccánico de la Sociedad Nacional de Industrias. Metalmeccánica crece en 18,2 % y rubro de confecciones está en negativo. http://www.cmm.org.pe/pagnoticias_cmm.htm (consultada el 05 de octubre del 2015)
- Hernández y Mendoza. 2015. *Fundamentos y planeación de la manufactura automatizada: un enfoque de los sistemas integrados de manufacturas*. Primera edición. México, Pearson.
- Festo. 2017. *Catálogo de productos Festo Perú*. Festo. 01 de mayo del 2017. Disponible en: https://www.festo.com/cat/es-pe_pe/products
- Instituto Politécnico Nacional - Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas. Cálculo de Actuadores Neumáticos. <https://neumaticahidraulica.files.wordpress.com/2011/02/sesion-5.pdf> (consultada el 13 de abril del 2017)
- Marin García y García Sabater. 2016. "Cálculo de indicadores productivos". Universidad Politécnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16050/indicadores.pdf?sequence>
- Mikell Groover. 2014. *Introducción a los procesos de manufactura*. Primera edición. México, Mc Graw – Hill Education.
- Ministerio de la Producción. Empresas manufactureras realizan actividades de innovación en el Perú. <http://www.produce.gob.pe/index.php/prensa/noticias-del-sector/1128-655-de-empresas-manufactureras-realizan-actividades-de-innovacion-en-el-peru>. (consultada 10 diciembre 2015)
- Moreno Bermudez, Adolfo, Deimer Ballesteros Padilla, y Germán Sánchez Torres. 2012. "Un prototipo mecánico para la automatización del proceso de selección del mango tipo exportación." *Revista Ingeniería Universidad de Medellín* 11, n° 21: 151-160.
- Niebel y Freivalds. 2009. *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño de trabajo*. Duodécima edición. México, Mc Graw – Hill.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. Tarifas eléctricas al 09/09/2015 en el departamento de Lambayeque, Perú. <http://www.osinergmin.com/>. (consultada 09 septiembre 2015)

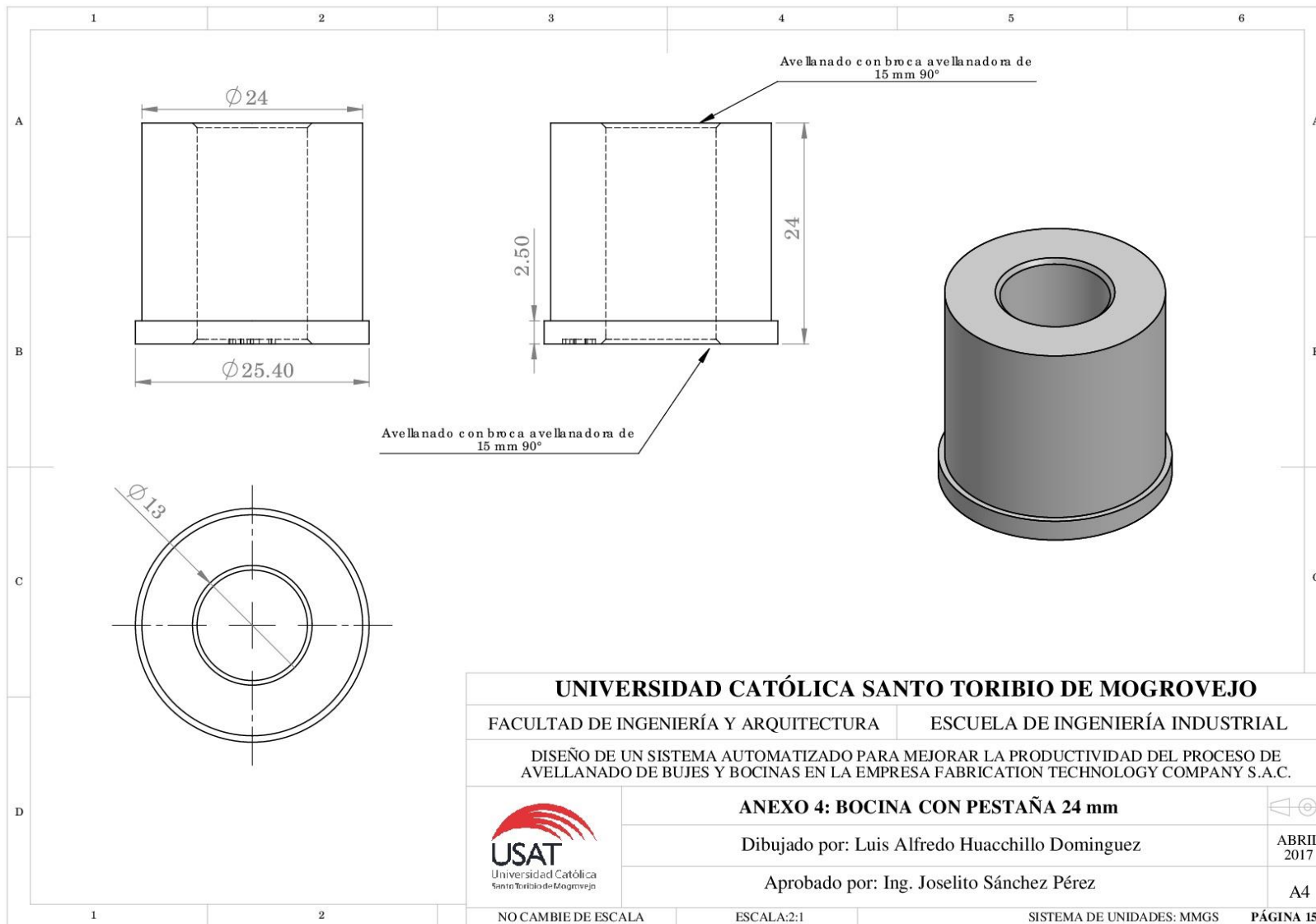
- Patel, Tejas, Sheth, Saurin, Modi, Bhavin, Chauhan, Purvi. 2016. Design and Fabrication of Semi-automatic Slotter Machine using PLC. *International Journal for Research in Engineering Application & Management* 02 (noviembre): 13-17.
- Patel, Tejas, Sheth, Saurin, Patel, Pathik. 2015. Design of semi-automatic hydraulic blanking machine using PLC. *National Conference on Innovative & Emerging Technologies*: 410-412
- Potencia Electromecánica. Motores asíncronos de inducción. <http://www.potenciaelectromecanica.com/motores-asincronos-de-induccion/> (consultada el 10 de junio del 2017)
- Ruedas Carlos. 2008. Automatización industrial. Áreas de aplicación para ingeniería. Paper leído el 12 de agosto del 2008 en el Auditorio de la Universidad Rafael Landívar.
- Sitio web de Alpen Drills. www.alpen-drills.com/es/ (consultada el 01 de mayo del 2017)
- Sitio web de Blue Master. www.bluemaster.es/ (consultada el 01 de mayo del 2017)
- Sitio web de SKF. www.skf.com/pe/index.html (consultada el 01 de mayo del 2017)
- Sitio web de Schneider Electric. <http://www.schneider-electric.com.pe/es/> (consultada el 01 de mayo del 2017)
- Sitio web de WEG Perú. www.weg.net/pe (consultada el 01 de mayo del 2017)
- Universidad Autónoma de Nuevo León. Introducción a los sistemas de control. <http://gama.fime.uanl.mx/~agarcia/materias/ingco/apclas/01%20%20Introduccion%20a%20los%20Sistemas%20de%20Control.pdf> (consultada el 10 de junio del 2017)
- Universidad Nacional de San Juan. Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales intervinientes de tiempo. <http://dea.unsj.edu.ar/control1b/teoria/unidad1y2.pdf>. (consultada el 10 de junio del 2017)
- Universidad Politécnica de Cataluña. Diseño y automatización industrial. <https://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf> (consultada el 10 de junio de 2017)
- Vásquez Oscar. 2012. "Apuntes de estudio de ingeniería de métodos". Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. http://issuu.com/oscarvgevvasi/docs/ingenier_a_de_m_todos.
- Zumaeta. 2012. "Apuntes de asignatura estudio del trabajo". SENATI. <https://zumlop.jimdo.com/> (consultada 10 de junio 2017)

VI. ANEXOS









UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.



ANEXO 4: BOCINA CON PESTAÑA 24 mm

Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez

Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez



ABRIL
2017

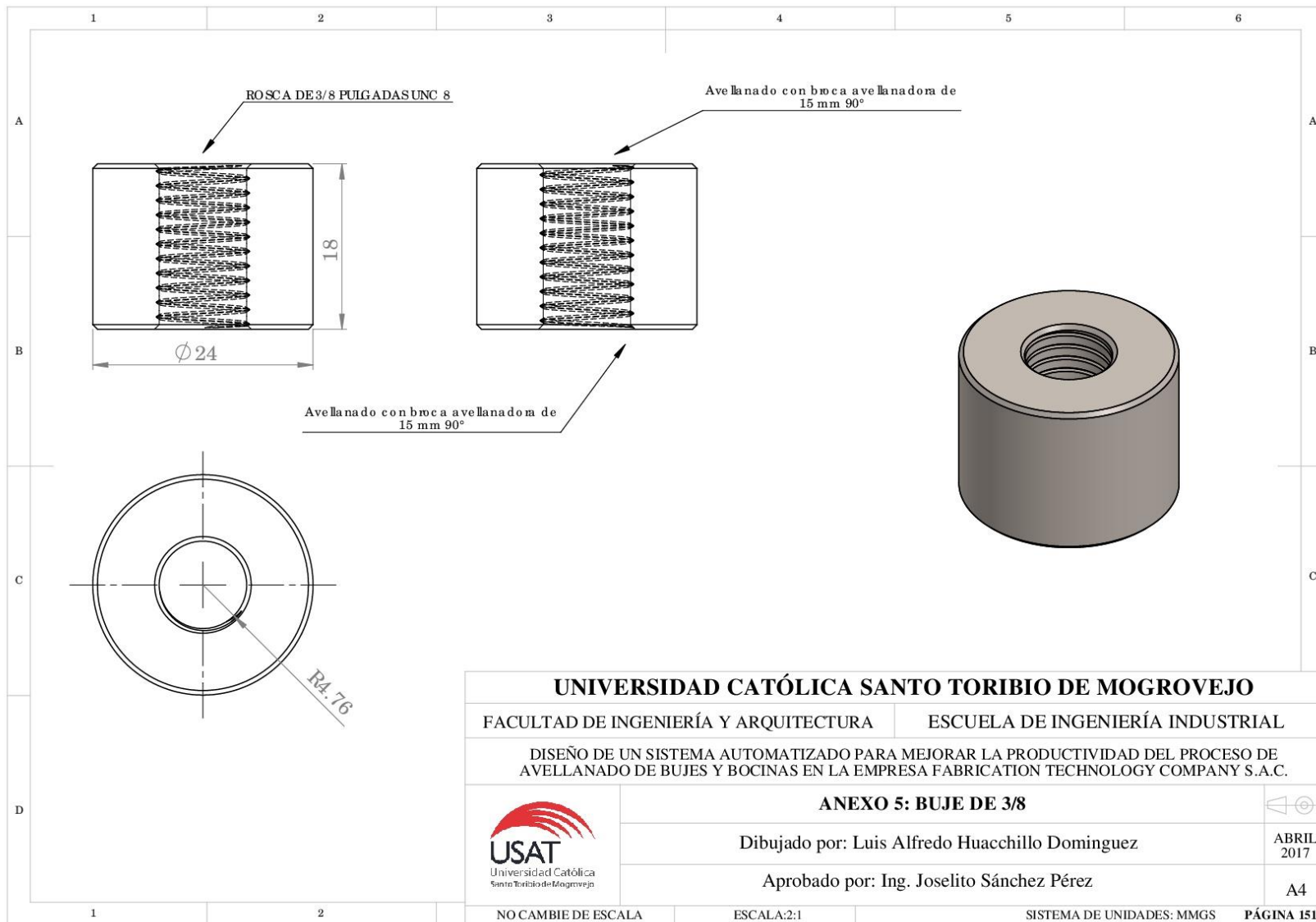
A4

NO CAMBIE DE ESCALA

ESCALA:2:1

SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 150



ANEXO 6: BASE DE DATOS PARA CÁLCULO DE UNIDADES REPROCESADAS PROMEDIO

- **Unidades avellanadas bien a la primera (Observaciones entre el período de enero – febrero 2016)**

Hora	Fecha										
	08 de enero	12 de enero	15 de enero	19 de enero	22 de enero	26 de enero	29 de enero	5 de febrero	12 de febrero	16 de febrero	Promedio
08 h 00 a 09 h 00	130	129	134	126	128	129	127	133	126	127	129
09 h 00 a 10 h 00	207	206	211	203	205	206	204	210	203	204	206
10 h 00 a 11 h 00	205	204	209	201	203	204	202	208	201	202	204
11 h 00 a 12 h 00	201	200	205	197	199	200	198	204	197	198	200
12 h 00 a 13 h 00	188	187	192	184	186	187	185	191	184	185	187
14 h 00 a 15 h 00	192	184	186	187	185	191	184	185	188	187	187
15 h 00 a 16 h 00	204	196	198	199	197	203	196	197	200	199	199
16 h 00 a 17 h 00	141	133	135	136	134	140	133	134	137	136	136

- **Unidades reprocesadas (Observaciones entre el período de enero – febrero 2016)**

Hora	Fecha										
	08 de enero	12 de enero	15 de enero	19 de enero	22 de enero	26 de enero	29 de enero	5 de febrero	12 de febrero	16 de febrero	Promedio
08 h 00 a 09 h 00	12	11	16	8	10	11	9	15	8	10	11
09 h 00 a 10 h 00	17	16	21	13	15	16	14	20	13	15	16
10 h 00 a 11 h 00	15	14	19	11	13	14	12	18	11	13	14
11 h 00 a 12 h 00	18	17	22	14	16	17	15	21	14	16	17
12 h 00 a 13 h 00	19	18	23	15	17	18	16	22	15	17	18
14 h 00 a 15 h 00	21	14	16	14	16	17	15	18	17	22	17
15 h 00 a 16 h 00	18	11	13	11	13	14	12	15	14	19	14
16 h 00 a 17 h 00	20	13	15	13	15	16	14	17	16	21	16

- **Total de unidades avellanadas (Observaciones entre el período de enero – febrero 2016)**

Hora	Fecha										
	08 de enero	12 de enero	15 de enero	19 de enero	22 de enero	26 de enero	29 de enero	5 de febrero	12 de febrero	16 de febrero	Promedio
08 h 00 a 09 h 00	142	140	150	134	138	140	136	148	134	137	140
09 h 00 a 10 h 00	224	222	232	216	220	222	218	230	216	219	222
10 h 00 a 11 h 00	220	218	228	212	216	218	214	226	212	215	218
11 h 00 a 12 h 00	219	217	227	211	215	217	213	225	211	214	217
12 h 00 a 13 h 00	207	205	215	199	203	205	201	213	199	202	205
14 h 00 a 15 h 00	213	198	202	201	201	208	199	203	205	209	204
15 h 00 a 16 h 00	222	207	211	210	210	217	208	212	214	218	213
16 h 00 a 17 h 00	161	146	150	149	149	156	147	151	153	157	146

ANEXO 7: SUPLEMENTOS PARA CÁLCULO DE TIEMPO ESTÁNDAR

Sistema de suplementos por descanso porcentajes de los Tiempos Básicos¹

1. SUPLEMENTOS CONSTANTES

	Hombres	Mujeres
A. Suplemento por necesidades personales	5	7
B. Suplemento base por fatiga	4	4

2. SUPLEMENTOS VARIABLES

	Hombres	Mujeres		Hombres	Mujeres
A. Suplemento por trabajar de pie	2	4		4	45
B. Suplemento por postura anormal				2	100
Ligeramente incómoda	0	1	F. Concentración intensa		
incómoda (inclinado)	2	3	Trabajos de cierta precisión	0	0
Muy incómoda (echado, estirado)	7	7	Trabajos precisos o fatigosos	2	2
C. Uso de fuerza/energía muscular (Levantar, tirar, empujar)			Trabajos de gran precisión o muy fatigosos	5	5
Peso levantado [kg]			G. Ruido		
2,5	0	1	Continuo	0	0
5	1	2	Intermitente y fuerte	2	2
10	3	4	Intermitente y muy fuerte	5	5
25	9	20	Estridente y fuerte		
35,5	22	máx	H. Tensión mental		
D. Mala iluminación			Proceso bastante complejo	1	1
Ligeramente por debajo de la potencia calculada	0	0	Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos	4	4
Bastante por debajo	2	2	Muy complejo	8	8
Absolutamente insuficiente	5	5	I. Monotonía		
E. Condiciones atmosféricas			Trabajo algo monótono	0	0
Índice de enfriamiento Kata			Trabajo bastante monótono	1	1
16		0	Trabajo muy monótono	4	4
8		10	J. Tedio		
			Trabajo algo aburrido	0	0
			Trabajo bastante aburrido	2	1
			Trabajo muy aburrido	5	2

¹Introducción al Estudio del trabajo – segunda edición, OIT. Ejemplo sin valor normativo


ANEXO 8: RECIBO DE LUZ

RECIBO N° 251-30915298
José Leonardo ortíz, Chiclayo -

Para Consultas, su código es: **25932890**

ACOSTA MENDOZA, SEGUNDO EMILIO
Ca. Henry Francois 00101 Urb. SANTA MARIA
Ca. Henry Francois 101 Urb. SANTA MARIA.

Agosto-2015

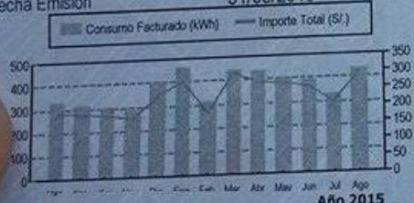


Ensa
EMPRESA REGIONAL DE SERVICIO PUBLICO
DE ELECTRICIDAD DEL NORTE S.A.
San Martín N° 250 - Chiclayo
R.U.C.20103117540

DATOS DEL SUMINISTRO Y CONSUMO

Tensión: 380/220 V - BT
Sub. Estación N°: D-201689 (SE0094)
Tipo de Conexión: Trifásica-Aérea(C2.1)
Opción Tarifaria: BT5B - No Residencial
Medidor N°: 0000000EN790104 - Electrón.
Hilos: 4
Lectura Anterior: 33,043.00 (30/07/2015)
Lectura Actual: 33,482.00 (29/08/2015)
Diferencia de Lectura: 439.00
Factor: 1.0000
Consumo: 439.00 kWh
Cons. Prom.(6): 389.00 kWh




Potencia Contratada: 4.00 kW.
Inicio Contrato: 21/08/2008
Termino Contrato: 20/08/2016
Fecha Emisión: 31/08/2015



Año 2015


Importe 2 Últimos Meses Facturados	
Jun - 2015 S/:	257.00
Jul - 2015 S/:	208.40

Fecha Corte: 16/09/2015
Si paga hasta la fecha de vencimiento evitará el corte, gastos y molestias innecesarias.

IMPORTE FACTURADOS

Recibo por Consumo del 31/07/2015 al 29/08/2015	3.06
Cargo Fijo	1.02
Cargo por Reposición y Mantenimiento de la Conexión	232.93
Ene.Activa(S/ 0.5306 x 439.00 kWh)	10.30
AlumbradoPublico (Alcuota : S/ 0.2944)	0.87
Interés Compensatorio	0.16
Ajuste Tarifario	248.34
SUB TOTAL	44.70
Imp. Gral. a las Ventas	0.06
Interés Moratorio	-0.04
Saldo por redondeo	-0.04
Diferencia de redondeo	3.38
Aporte Ley Nro. 28749 0.0077	
TOTAL RECIBO DE AGOSTO-2015	296.40
Deuda Anterior (1 Mes)	208.40
Aporte FOSE(Ley N°27510) S/ 6.67	



Promovamos adopciones prioritarias
"Espero por ti"
Ca. Los Laureles N° 179
Urb. Los Libertadores - Chiclayo

FECHA DE VENCIMIENTO 15/09/2015

TOTAL A PAGAR ***504.80**

RECIBO N° 251-30915298
Suministro: 25932890
José Leonardo ortíz, Chiclayo - Lambayeque/
1308 - 10735 - 5720 / 31/08/2015 / 15/09/2015

Agosto-2015
ACOSTA MENDOZA, SEGUNDO

ANEXO 9: CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADO – PROCESO DE AVELLANADO



Condiciones de corte recomendadas *Recommended cutting conditions*

- Los valores de corte indicados son solo orientativos. En condiciones favorables es posible un aumento de los mismos mientras que en condiciones desfavorables se recomienda una reducción.
- Para avellanadores recubiertos (TiN), el avance no debe ser inferior al valor recomendado. Realizar el avellanado de una sola vez.

Grupo materiales <i>Materials groups</i>	Subgrupos materiales <i>Application materials sub-groups</i>	Dureza <i>Hardness</i> (HB30)	Resist. Tensil <i>Tensile strength</i> (N/mm ²)	Ejemplos <i>Examples</i>	Vel. Corte <i>Cut. speed</i> (m/min.)
GR1 Aceros no aleados <i>Non alloy steels</i>	1 Aceros de construcción / <i>General structural steels</i>	< 150	330 - 520	St33-2 / St37-2 / St44-2 / St52-3	20 - 25
	2 Aceros de cementación / <i>Case hardening steels (*)</i>	131 - 150	640 - 880	C10 / Ck10 / C15 / C15Pb	15 - 20
	3 Aceros para tornos automáticos / <i>Free cutting steels</i>	159 - 174	560 - 800	9SMnPb28K / 9SMnPb36 / 10SPb20	15 - 20
	4 Aceros de bonificación / <i>Heat treatable steels (*)</i>	156 - 207	650 - 850	C22 / Ck22 / C25 / Ck38 / Ck40 / C45	15 - 20
	5 Aceros para temple superficial / <i>Steel for superficial hardening (*)</i>	183 - 217	760 - 1030	Cf35 / Cf45 / Cf53 / Cf70	12 - 17
	6 Aceros para herramientas / <i>Tool steels</i>	190 - 230	640 - 780	C110W2 / C45W / C110W	18 - 20

ANEXO 10: MASA DE PORTABROCAS PARA TALADRO

ROBUSTOS PARA TALADROS. HASTA 1200W



Referencia	Código EAN	Capacidad	Rosca	L	L1	D	Peso (gr)
PB8020C	8436026362785	1-13	1/2 - 20	93	86	42	650

- Porta brocas automático metálico para taladros de gran potencia y precisión, hasta 1200 W.
- **Presentación en caja de cartón** (las referencias terminan con la letra C).
- También para taladros de columna de rosca 1/2 - 20h.

ANEXO 11: MASA DE BROCA AVELLANADORA DE 15 MM O 5/8 PULGADAS

Brocas para Metal ANSI B 94.11 M

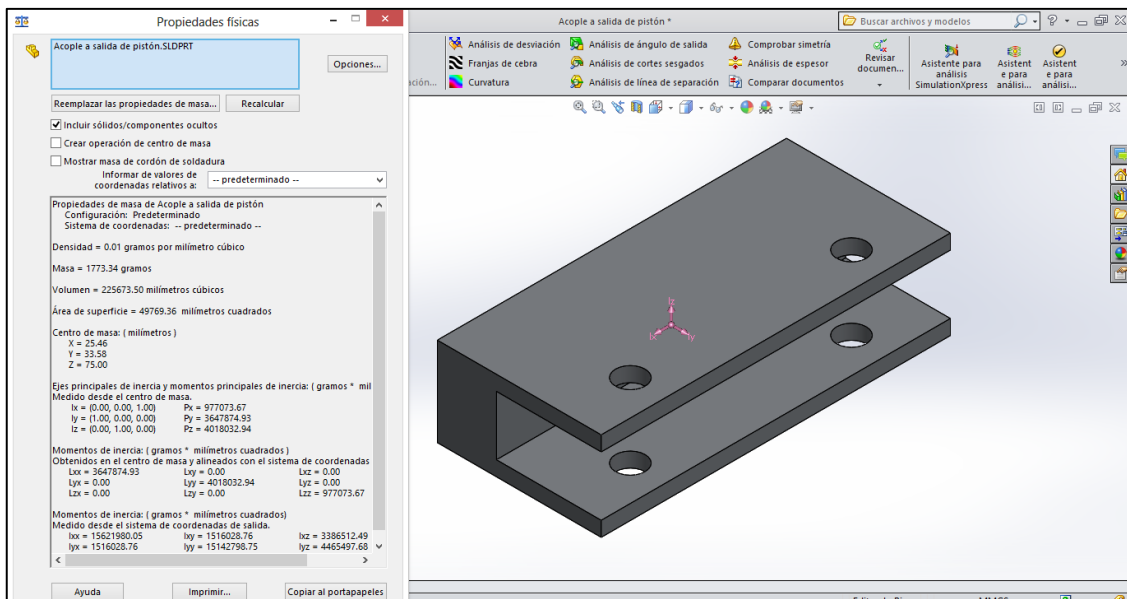
Tubo unitário

Cód.	- Ø - (pol.)	- L - (mm)	- W - (mm)	Peso (g)
1138	17/32"	173	127	149
1140	9/16"	173	127	164
1144	5/8"	186	137	204
1148	11/16"	200	148	258
1152	3/4"	205	140	314
1160	7/8"	215	140	483
1168	1"	230	155	616

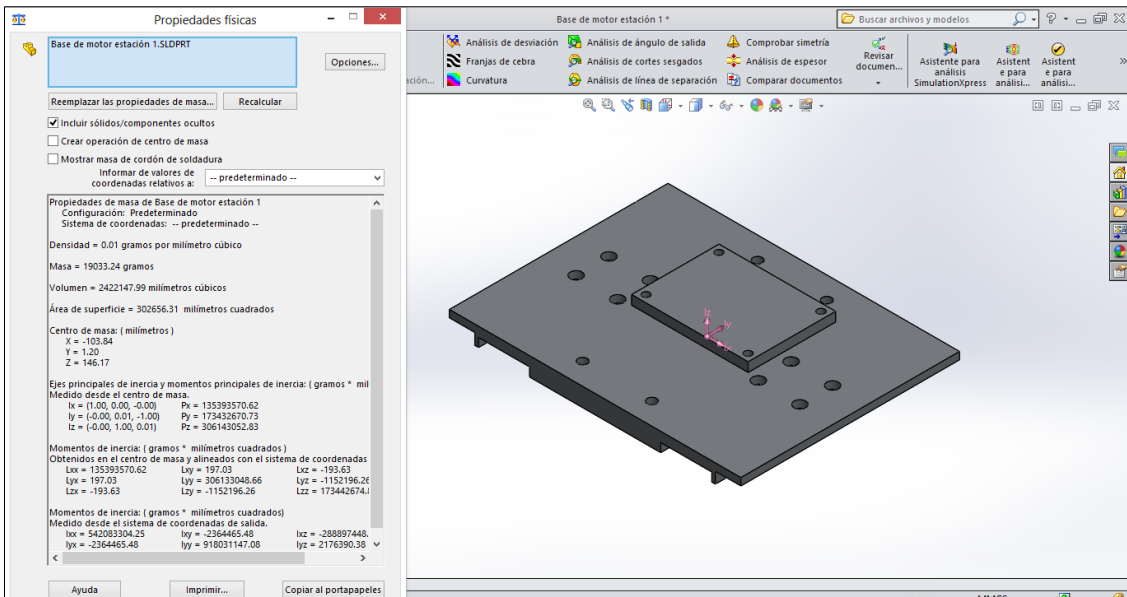
ANEXO 12: MASA DE ESTRUCTURA A MOVER POR EL CILINDRO NEUMÁTICO DE 125 mm DE CARRERA Y MASA DE ESTRUCTURA A MOVER POR CILINDRO DE 100 mm DE CARRERA

Solidworks realiza el cálculo de la masa de cada estructura teniendo como referencia el material asignado. A continuación, se detalla cada masa de cada estructura y la masa total que tendrá que mover el cilindro neumático de 125 mm de carrera.

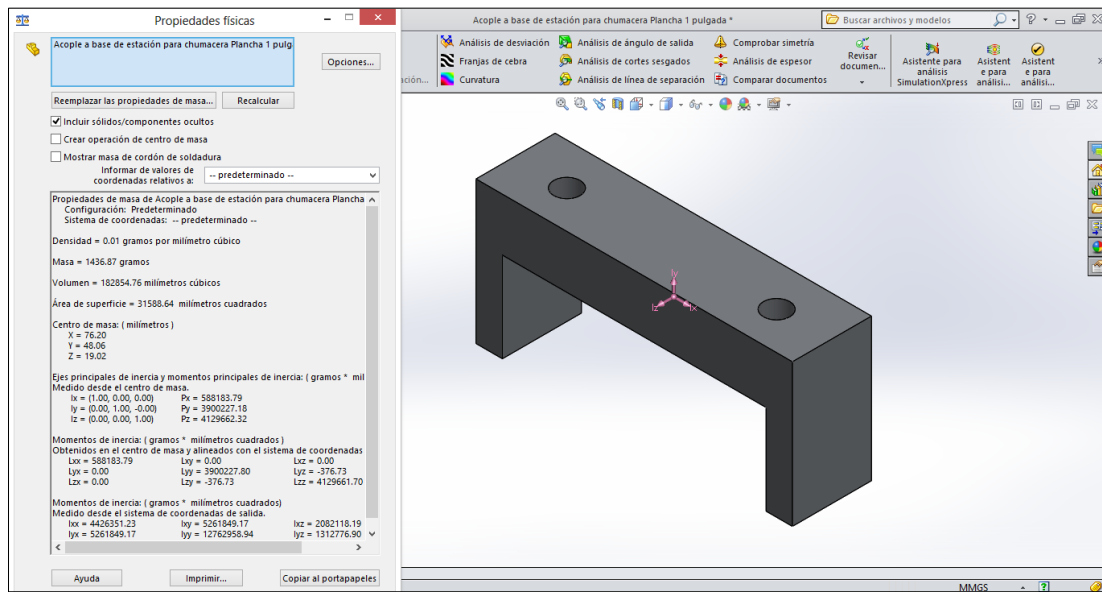
1. Teniendo como referencia el anexo 9, el peso de la primera estructura es de 1773,34 gramos, o 1,77 kg.



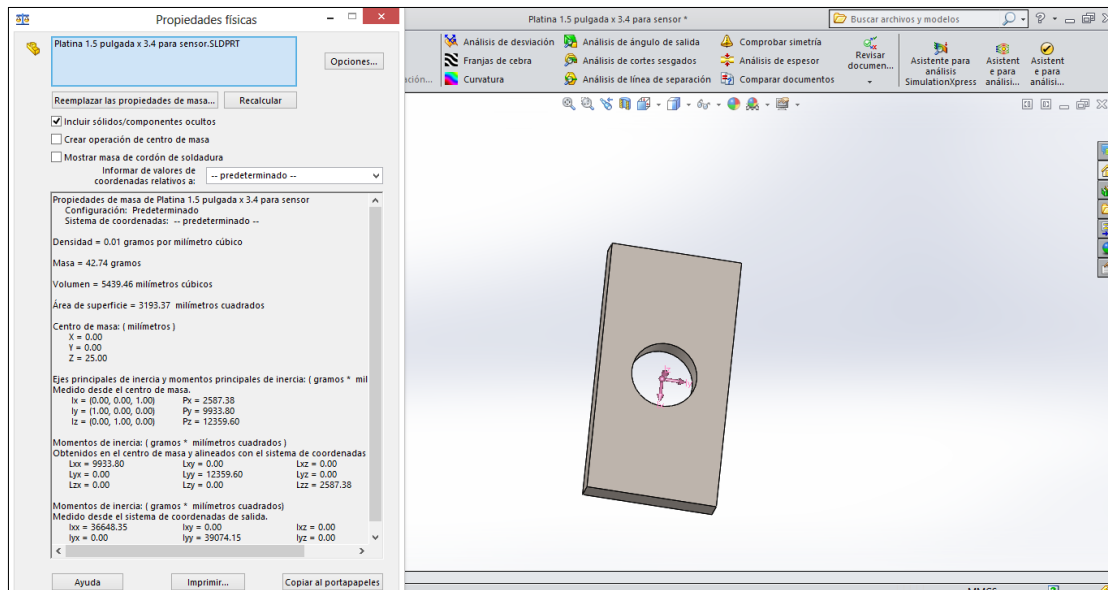
2. Teniendo como referencia el anexo 9, el peso de la segunda estructura es de 19033,24 gramos, o 19,03 kg.



3. Teniendo como referencia el anexo 9, el peso de la tercera estructura es de 1436,87 gramos, o 1,44 kg.



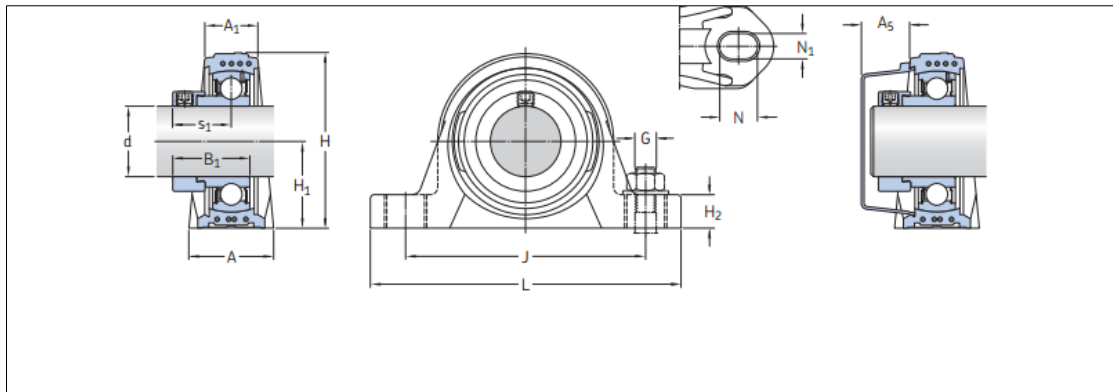
4. Teniendo como referencia el anexo 9, el peso de la cuarta estructura es de 42,74 gramos.



5. El peso del motor es de 19,5 kg.

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/In	Par con rotor trabado Tl/Tn	Par máximo Tt/Tn	Momento de inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	RPM	380 V						
								Caliente	Frío				% de la potencia nominal			Corriente nominal In (A)			
													Rendimiento		Factor de potencia				
kW	HP											50	75	100	50	75	100		
VIII Polos																			
0,12	0,16	71	0,144	2,8	1,9	2,0	0,0009	169	372	9,5	45	810	48,0	54,0	59,5	0,32	0,40	0,48	0,638
0,18	0,25	80	0,209	3,5	1,8	2,2	0,0027	52	114	12,0	46	840	51,0	57,0	64,0	0,44	0,56	0,65	0,857
0,25	0,33	80	0,292	3,6	1,9	2,2	0,0032	49	108	14,5	46	835	56,0	60,0	68,0	0,44	0,56	0,66	0,846
0,37	0,5	90S	0,429	3,4	1,7	2,3	0,0055	40	88	19,5	47	840	58,0	63,0	72,0	0,40	0,51	0,60	1,30
0,55	0,75	90L	0,638	3,7	1,9	2,3	0,0066	35	77	23,0	47	840	62,0	65,0	74,0	0,40	0,52	0,60	1,89
0,75	1	100L	0,884	4,1	2	2,3	0,0077	25	45	25,0	47	845	68,0	71,0	77,0	0,40	0,51	0,60	2,64

f) La masa del portabrocas y broca juntos es de 650 gramos más 204 gramos, dando un total de 854 gramos (anexo 12 y 13). La masa de la chumacera de 20 mm es de 0,26 kg.



Dimensiones														Masa
d	A	A ₁	B ₁	H	H ₁	H ₂	J	L	N	N ₁	G	s ₁	A ₅	
mm														kg
20	32	21	31	64	33,3	16	96	126	17,6	12,4	M10	23,9	18,5	0,26
25	32	22	30,9	70,5	36,5	16	105	134	17,6	12,4	M10	23,4	18	0,31
30	40	25	35,6	82	42,9	19	121	159	21,4	14,4	M12	26,6	20	0,50
35	45	27	38,8	93	47,6	19	126	164	21,4	14,4	M12	29,3	22	0,69
40	48	30	43,6	99	49,2	19	136	176	21,4	14,4	M12	33,1	23,5	0,86

g) La masa del sensor inductivo es de 100 gramos.

Alcance (Sn) mm	Función	Salida	Conexión	Referencia	Peso kg
8	NA	PNP	Por cable 2 m	XS6-18B1PAL2	0,100

La suma en total es de 1773,34 gramos (primera estructura) más 19033,24 gramos (segunda estructura) más 1436,87 gramos (tercera estructura) más 42,74 gramos (cuarta estructura) más 19500 gramos (motor) más 854 gramos (portabrocas y broca) más 260 gramos (chumacera) más 100 gramos (sensor), dando un total de 43 000,19 gramos, es decir, 43 kg.

ANEXO 13: COMPRESOR 8 BAR 2 HP



Atributo	Detalle
Presión trabajo	8 Bar/116 Psi
Garantía	1 año
Empaque	Caja
Modelo	Huracán 1520
Uso	Profesional
Flujo Entrada	222 lt/min
Estanque	50 lts
Peso	29 kg
Marca	Indura
Potencia Motor	2 HP
Largo del cable	1.2 mt
Observaciones	Conexión a la Red 220 V, 1 Fase
Origen	China
Flujo Salida	135 lt/min
Accesorios	Incluye: 1) Pistola y contenedor para lavar 2) Pistola para sopletear 3) Pistola y contenedor para pintar 4) Manguera flexible 5) Inflador para neumáticos 6) Ruedas

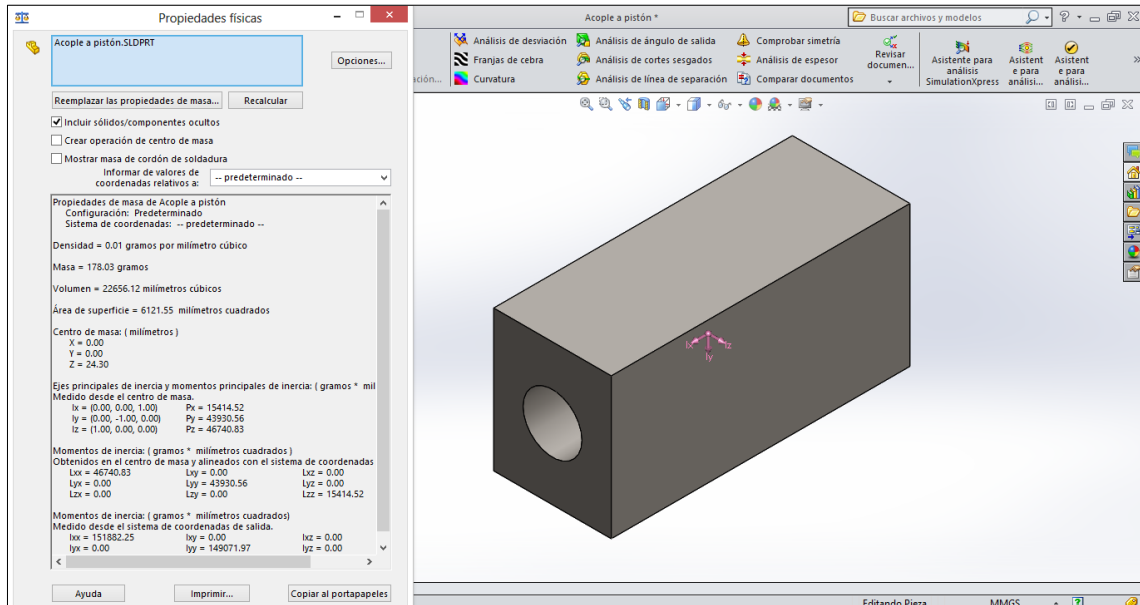
ANEXO 14: CALIBRE DE CONDUCTORES Y SU AMPERAJE MÁXIMO

Codigo AWG	Diametro del conductor (mm)	Ohmios por kilometro	Amperaje maximo para distancias cortas	Amperaje maximo para distancias largas
0000	11.684	0.16072	380	302
000	10.40384	0.202704	328	239
00	9.26592	0.255512	283	190
0	8.25246	0.322424	245	150
1	7.34822	0.406392	211	119
2	6.54304	0.512664	181	94
3	5.82676	0.64616	158	75
4	5.18922	0.81508	135	60
5	4.62026	1.027624	118	47
6	4.1148	1.295928	101	37
7	3.66522	1.634096	89	30
8	3.2639	2.060496	73	24
9	2.90576	2.598088	64	19
10	2.58826	3.276392	55	15
11	2.30378	4.1328	47	12
12	2.05232	5.20864	41	9.3
13	1.8288	6.56984	35	7.4
14	1.62814	8.282	32	5.9
15	1.45034	10.44352	28	4.7
16	1.29032	13.17248	22	3.7
17	1.15062	16.60992	19	2.9
18	1.02362	20.9428	16	2.3
19	0.91186	26.40728	14	1.8
20	0.8128	33.292	11	1.5
21	0.7239	41.984	9	1.2
22	0.64516	52.9392	7	0.92
23	0.57404	66.7808	4.7	0.729
24	0.51054	84.1976	3.5	0.577
25	0.45466	106.1736	2.7	0.457
26	0.40386	133.8568	2.2	0.361
27	0.36068	168.8216	1.7	0.288
28	0.32004	212.872	1.4	0.226
29	0.28702	268.4024	1.2	0.182
30	0.254	338.496	0.86	0.142
31	0.22606	426.728	0.7	0.113
32	0.2032	538.248	0.53	0.091

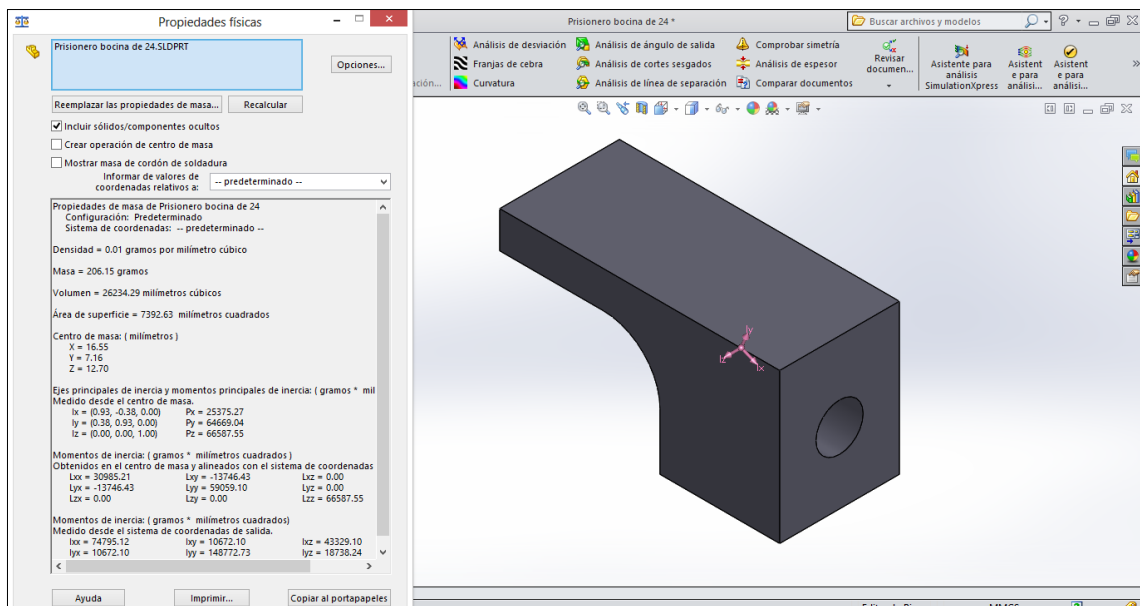
ANEXO 15: MASA DE ESTRUCTURA A MOVER POR EL CILINDRO 100 mm DE CARRERA

Para la masa a mover por el cilindro neumático, y teniendo en base el anexo 9.

El primer cilindro empujará a la pieza y solo sostendrá la estructura de acero acoplada a su salida. Tiene una masa de 178,03 gramos.



El segundo cilindro que aprisionará a la pieza sostendrá solo a la estructura de acero acoplada a su salida. Tiene una masa de 206,15 gramos.



El tercer cilindro que retira la pieza empujará a una estructura soldada por dos partes, las cuales suman una masa total de 333,35 gramos para la primera y 252,55 gramos para la segunda, dando un total de 585,9 gramos.

Propiedades físicas

Acople a tercer pistón.SLDPRT

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Acople a tercer pistón

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 333.35 gramos

Volumen = 42421.81 milímetros cúbicos

Área de superficie = 10079.32 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = 0.00
Y = 33.74
Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetro desde el centro de masa.

$I_x = (0.00, 1.00, 0.00)$ $P_x = 77805.27$
 $I_y = (1.00, 0.00, 0.00)$ $P_y = 133103.16$
 $I_z = (0.00, 0.00, 1.00)$ $P_z = 201947.41$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

$L_{xx} = 133103.16$ $L_{yy} = 0.00$ $L_{zz} = 0.00$
 $L_{xy} = 0.00$ $L_{yz} = 77805.27$ $L_{xz} = 0.00$
 $L_{yx} = 0.00$ $L_{zy} = 0.00$ $L_{zx} = 201947.41$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 512491.37$ $I_{yy} = 0.00$ $I_{zz} = 0.00$
 $I_{xy} = 0.00$ $I_{yz} = 77805.27$ $I_{xz} = 0.00$

Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

Acople a tercer pistón *

Analisis de desviación Analisis de ángulo de salida Comprobar simetría Revisar documentos... Asistente para análisis SimulationXpress Asistent e para análisis...
 Franjas de cebra Analisis de cortes sesgados Analisis de espesor Comparar documentos
 Curvatura Analisis de línea de separación

Propiedades físicas

Retira pieza Platina de pistón 1.5 pulg por 0.5 pulg.SLDPRT

Reemplazar las propiedades de masa... Recalcular

Incluir sólidos/componentes ocultos

Crear operación de centro de masa

Mostrar masa de cordón de soldadura

Informar de valores de coordenadas relativos a: -- predeterminado --

Propiedades de masa de Retira pieza Platina de pistón 1.5 pulg por 0.5 pulg

Configuración: Predeterminado

Sistema de coordenadas: -- predeterminado --

Densidad = 0.01 gramos por milímetro cúbico

Masa = 252.55 gramos

Volumen = 32139.13 milímetros cúbicos

Área de superficie = 8224.92 milímetros cuadrados

Centro de masa: (milímetros)

X = 0.26
Y = 6.27
Z = 0.00

Ejes principales de inercia y momentos principales de inercia: (gramos * milímetro desde el centro de masa.

$I_x = (1.00, 0.01, 0.00)$ $P_x = 57685.97$
 $I_y = (0.00, 0.00, 1.00)$ $P_y = 57864.43$
 $I_z = (0.01, 1.00, 0.00)$ $P_z = 108801.59$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

Obtenidos en el centro de masa y alineados con el sistema de coordenadas

$L_{xx} = 57687.28$ $L_{yy} = 259.57$ $L_{zz} = 0.00$
 $L_{xy} = 259.57$ $L_{yz} = 108800.27$ $L_{xz} = 0.00$
 $L_{yx} = 0.00$ $L_{zy} = 0.00$ $L_{zx} = 57864.43$

Momentos de inercia: (gramos * milímetros cuadrados)

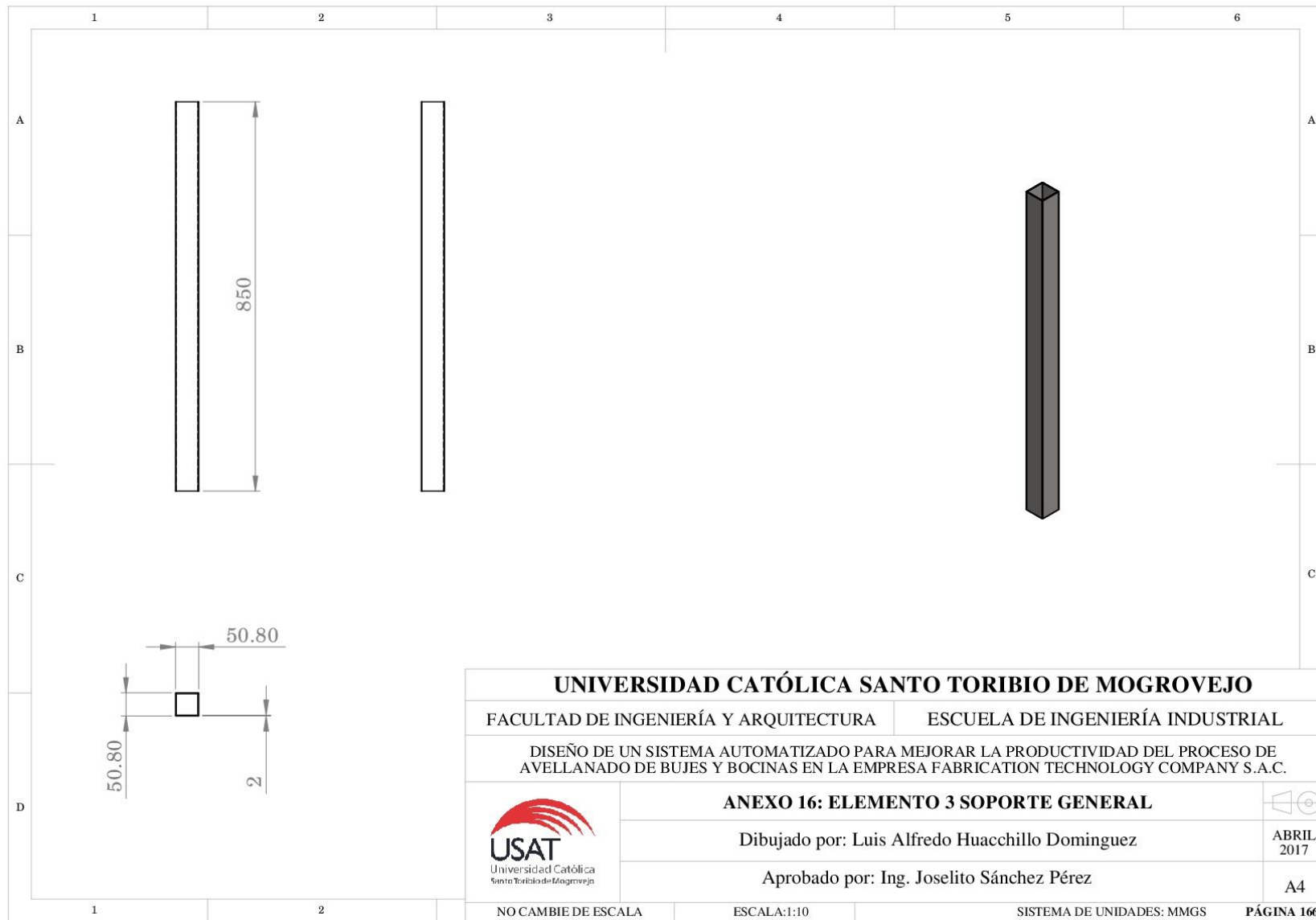
Medido desde el sistema de coordenadas de salida.

$I_{xx} = 67628.19$ $I_{yy} = 674.38$ $I_{zz} = 0.00$
 $I_{xy} = 674.38$ $I_{yz} = 108817.58$ $I_{xz} = 0.00$

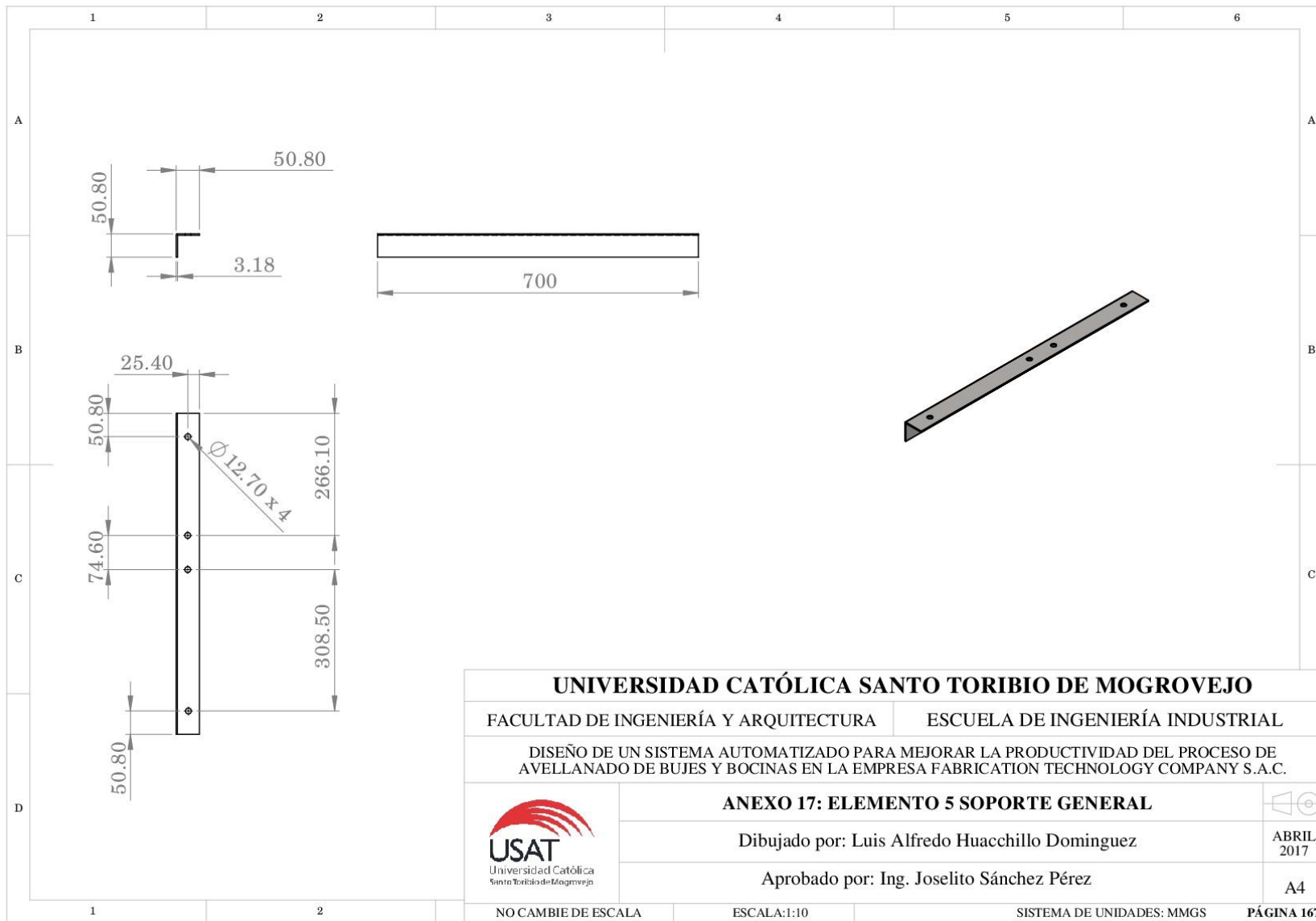
Ayuda Imprimir... Copiar al portapapeles

Retira pieza Platina de pistón 1.5 pulg por 0.5 pulg *

Analisis de desviación Analisis de ángulo de salida Comprobar simetría Revisar documentos... Asistente para análisis SimulationXpress Asistent e para análisis...
 Franjas de cebra Analisis de cortes sesgados Analisis de espesor Comparar documentos
 Curvatura Analisis de línea de separación



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO			
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	
DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.			
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	ANEXO 16: ELEMENTO 3 SOPORTE GENERAL		
	Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez		ABRIL 2017
	Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez		A4
NO CAMBIE DE ESCALA	ESCALA:1:10	SISTEMA DE UNIDADES: MMGS	PÁGINA 166



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.



ANEXO 17: ELEMENTO 5 SOPORTE GENERAL



Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez

ABRIL
2017

Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez

A4

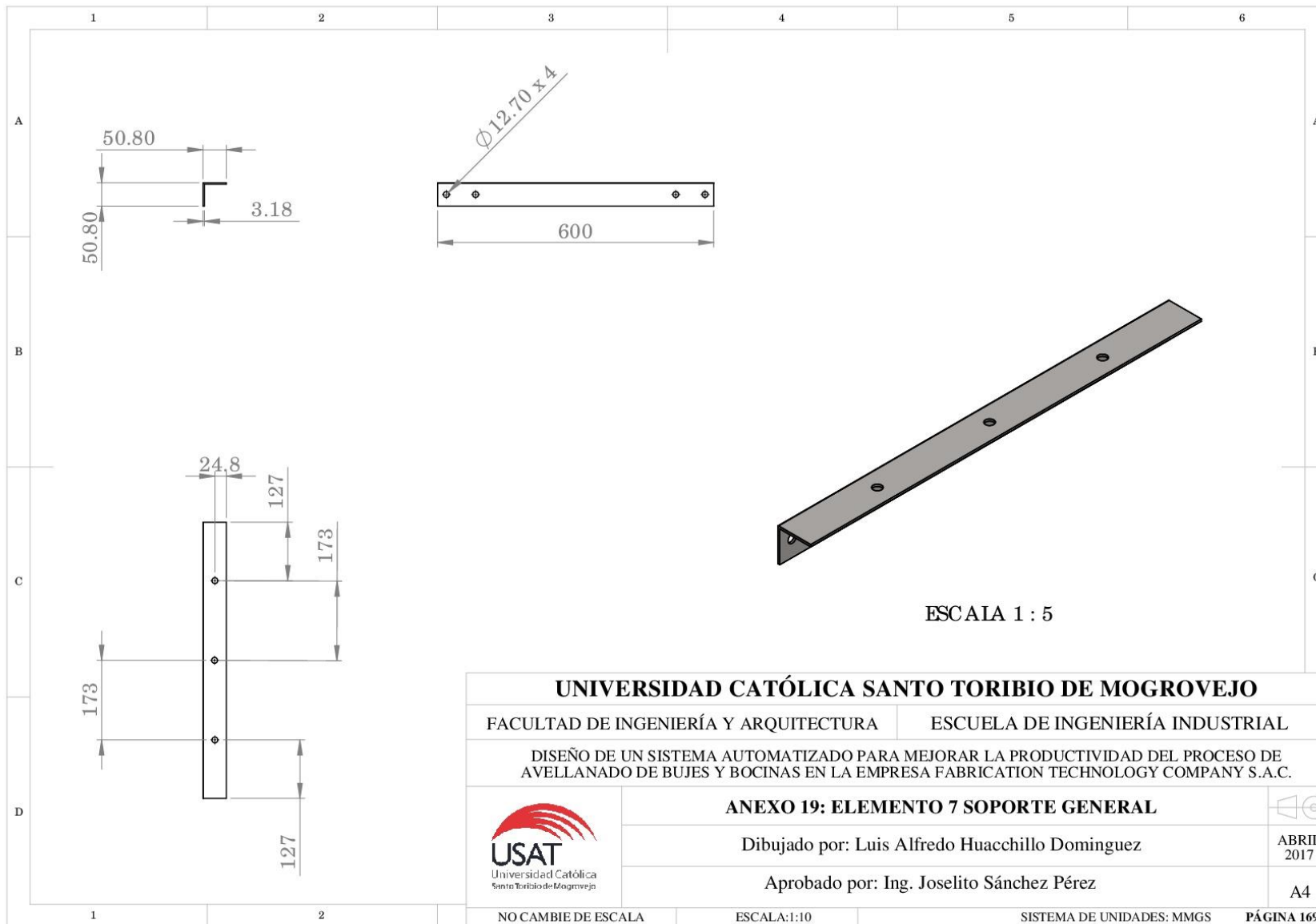
NO CAMBIE DE ESCALA

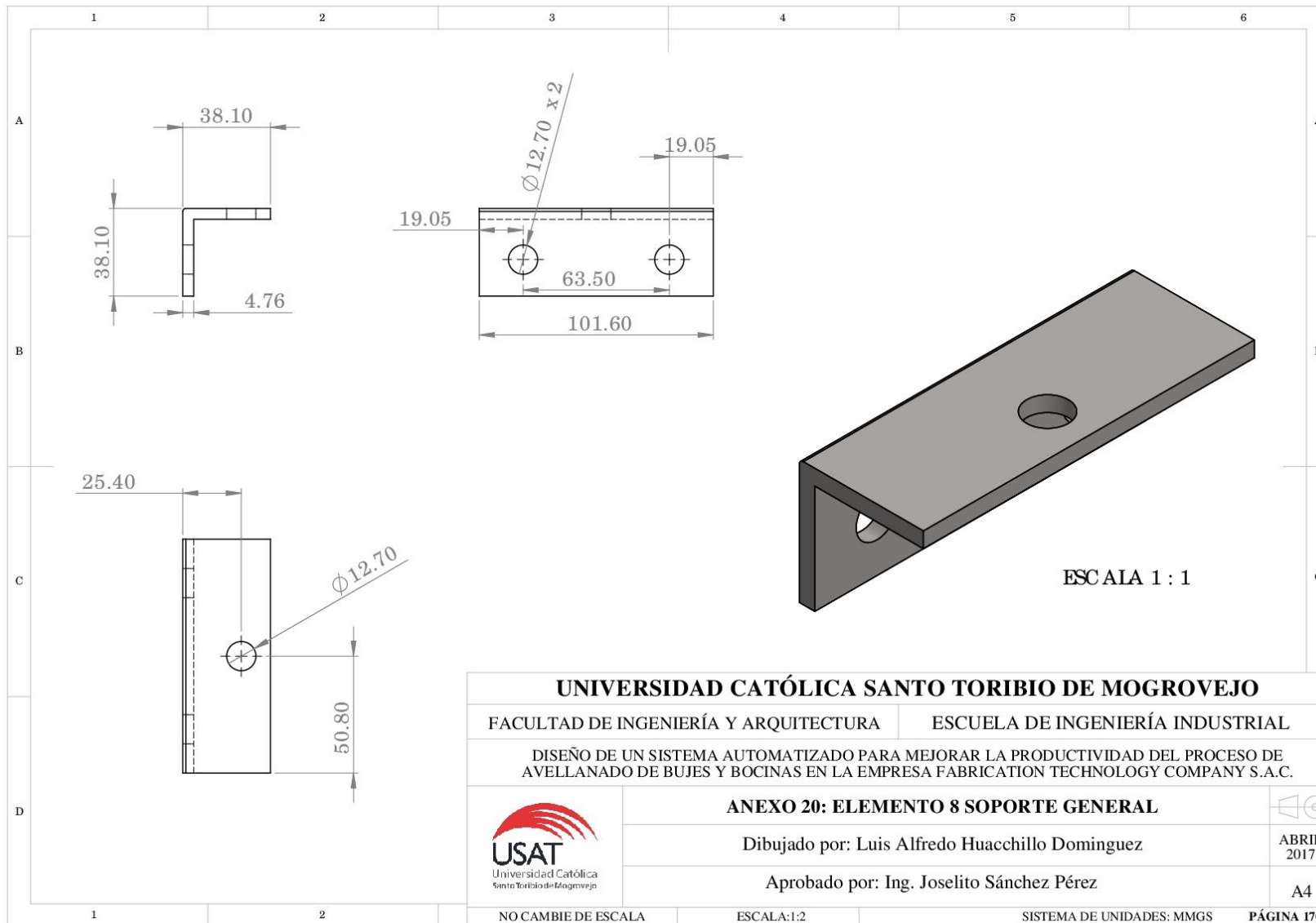
ESCALA:1:10

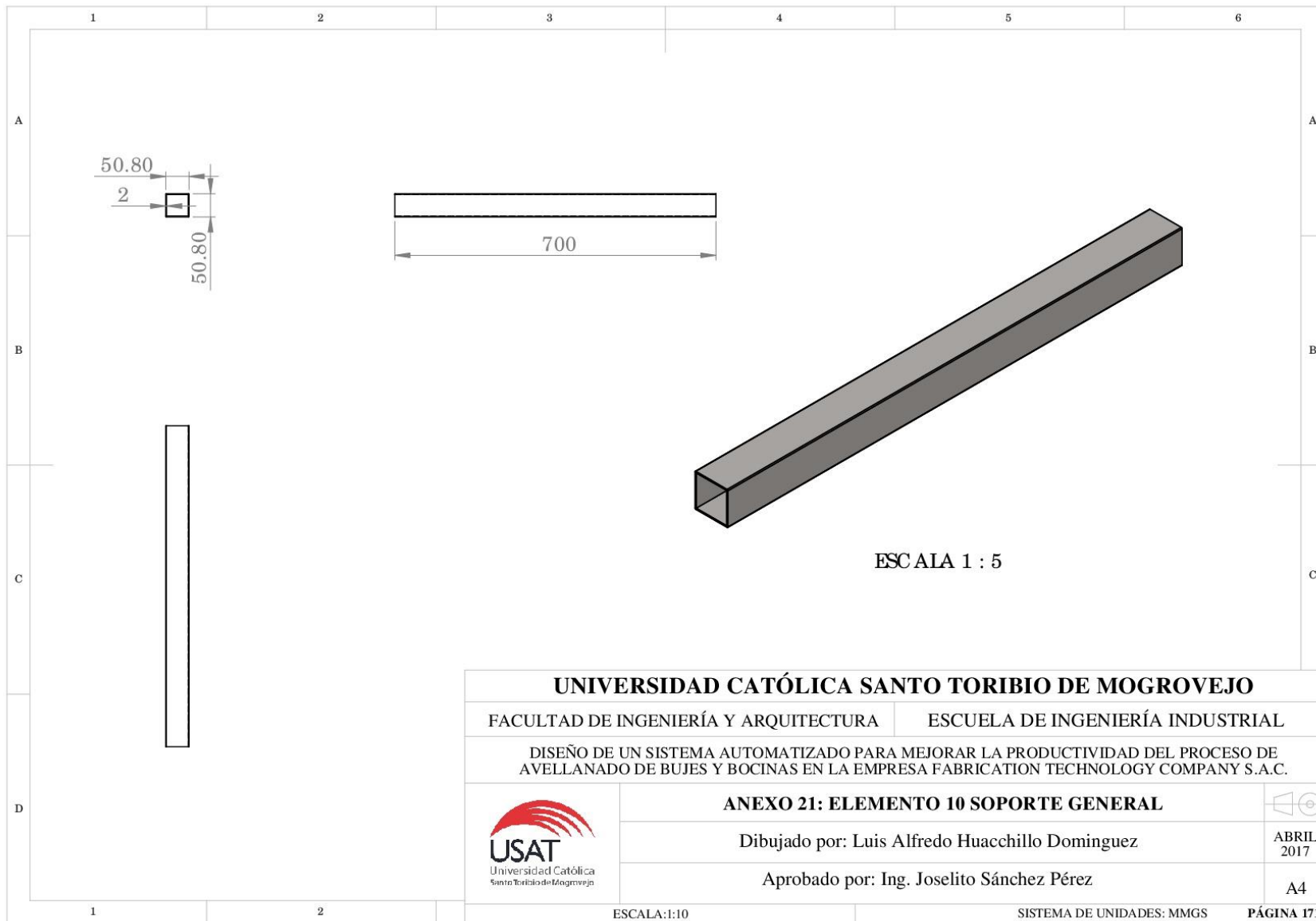
SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

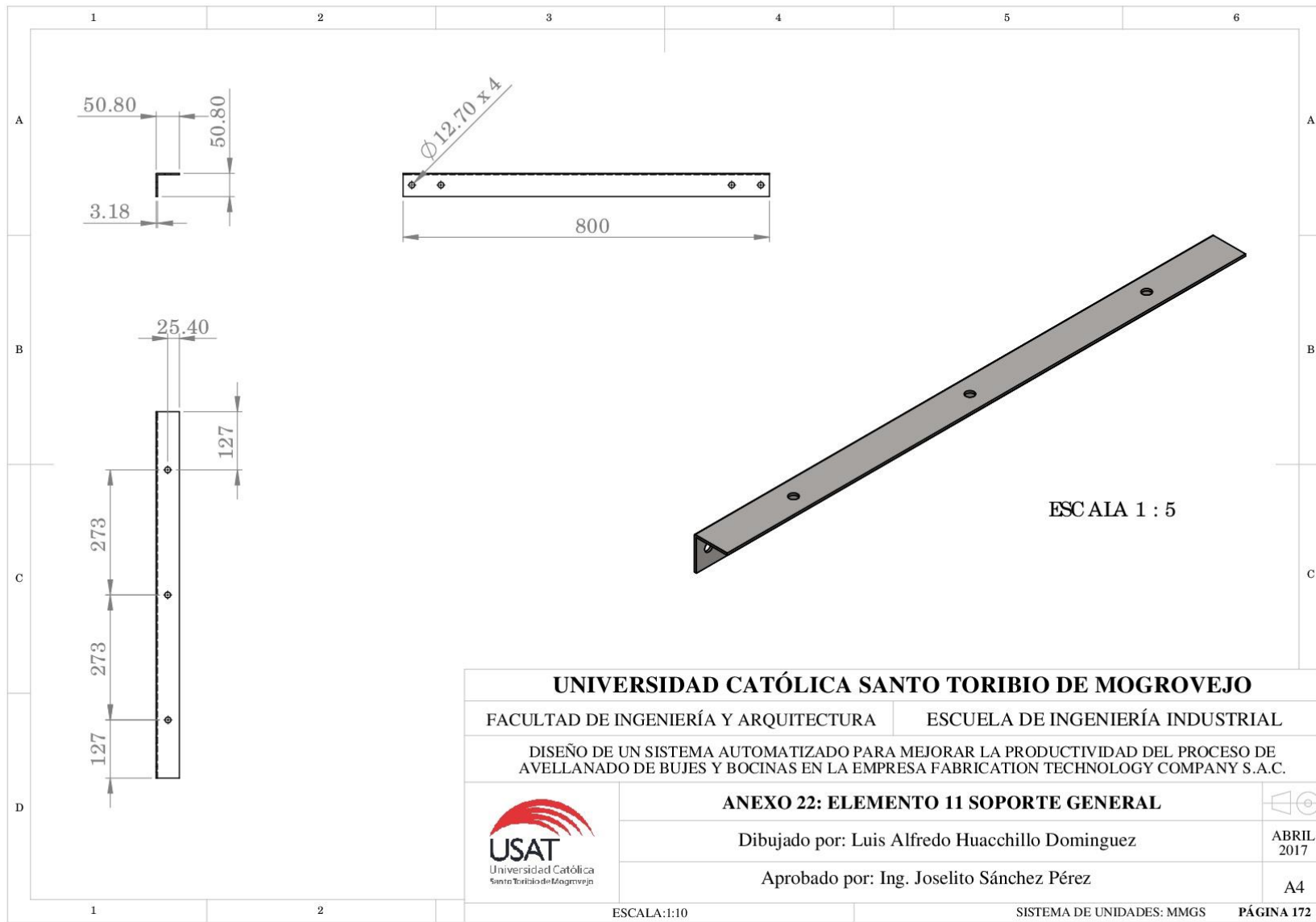
PÁGINA 167

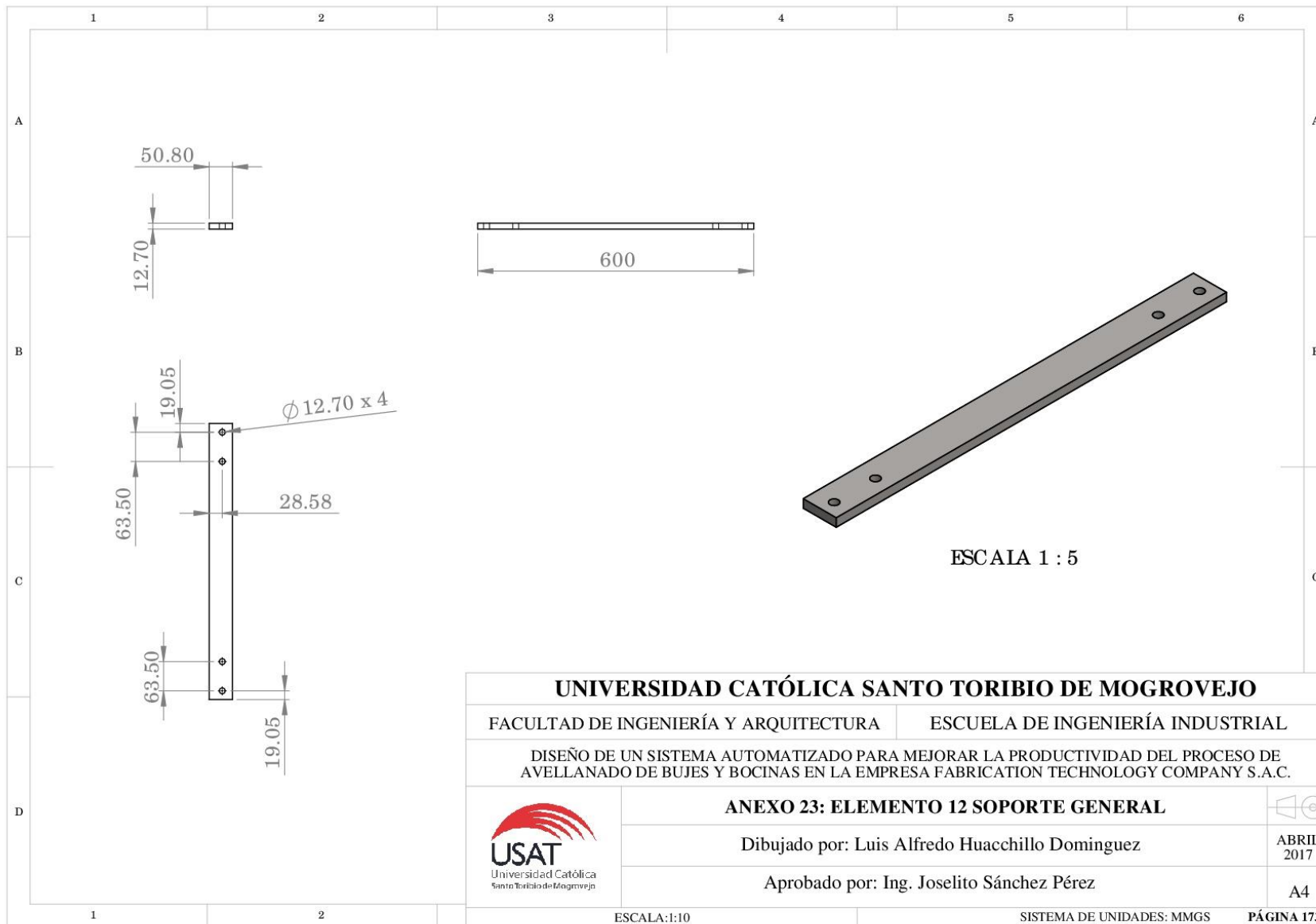




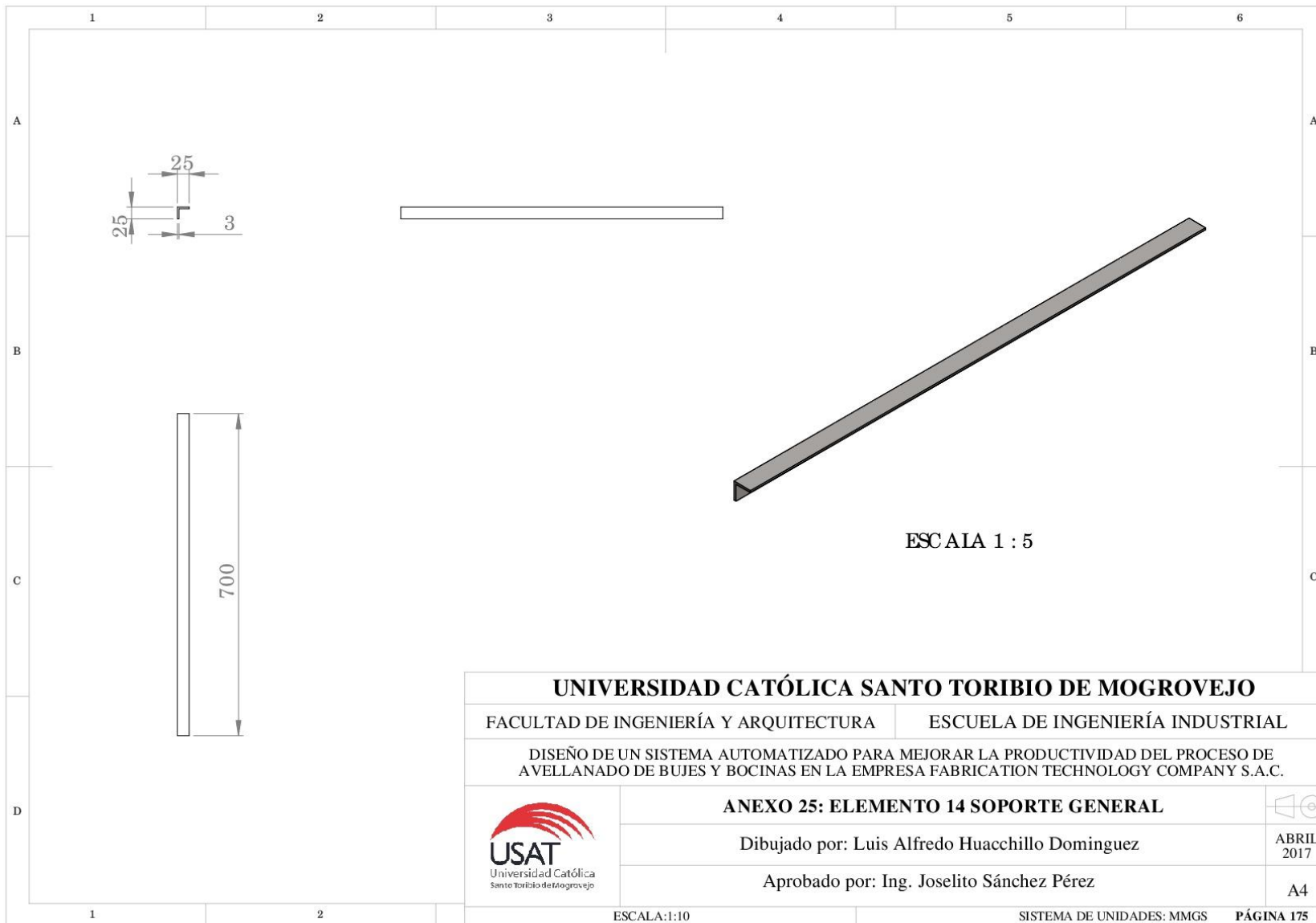


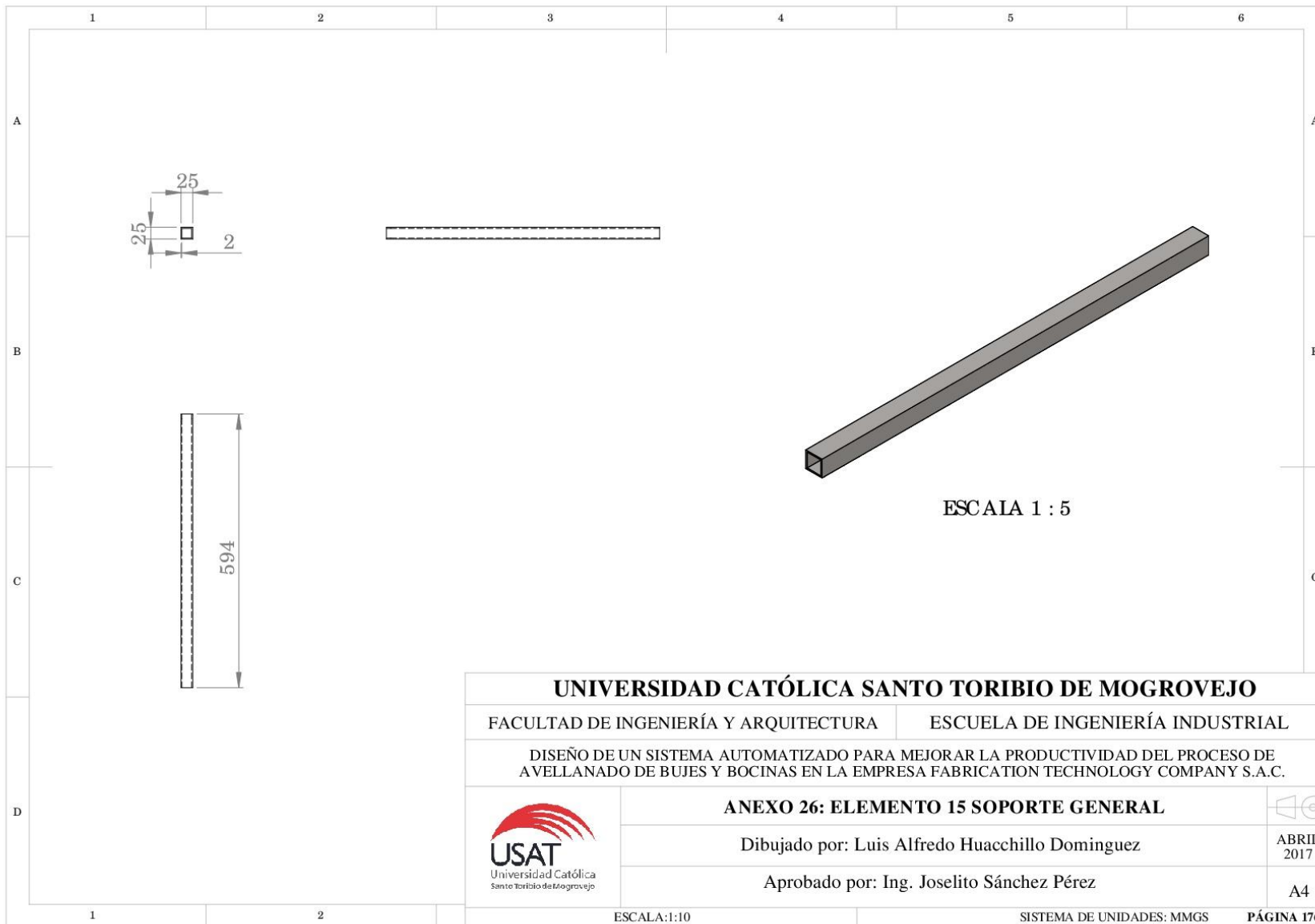


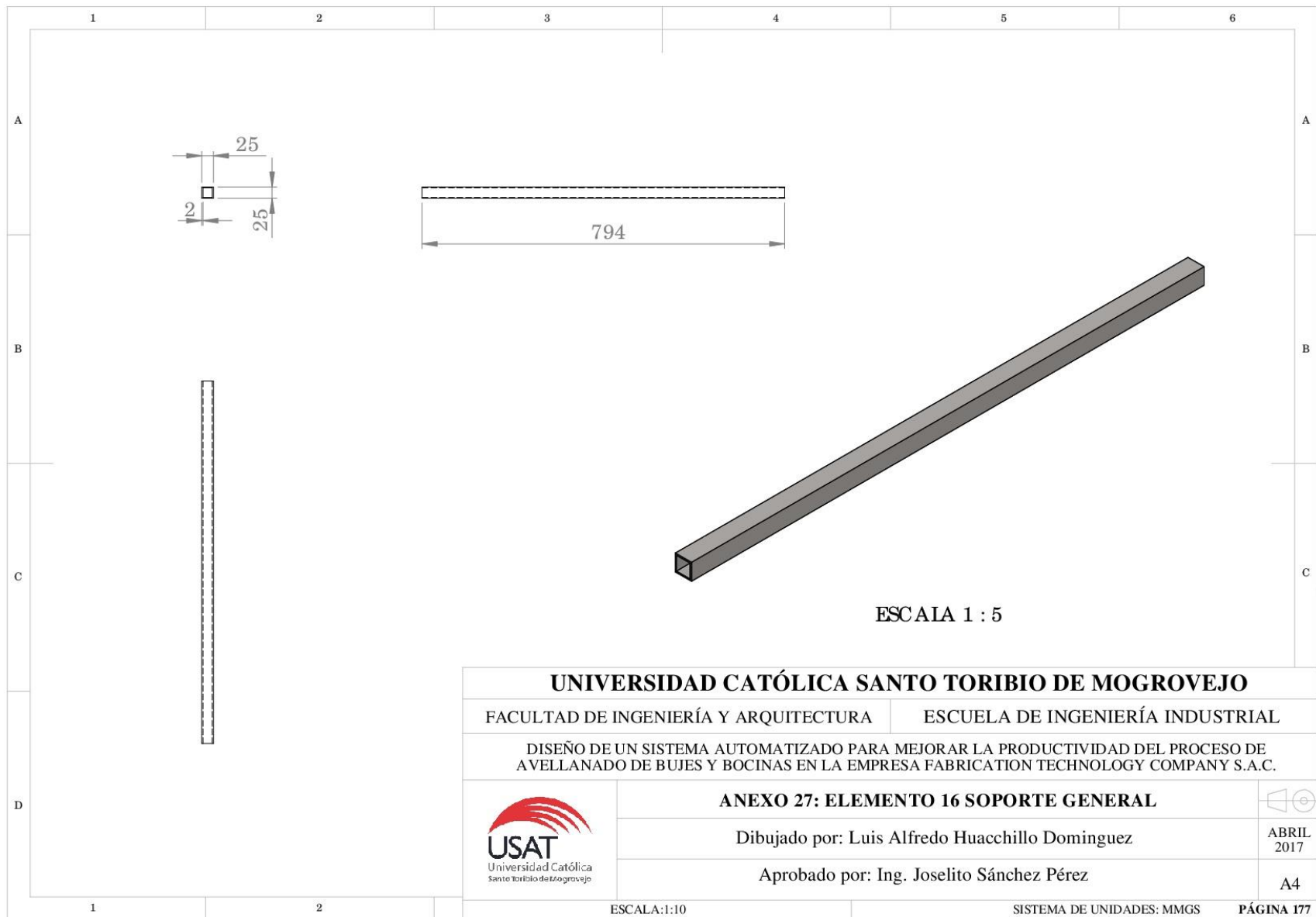




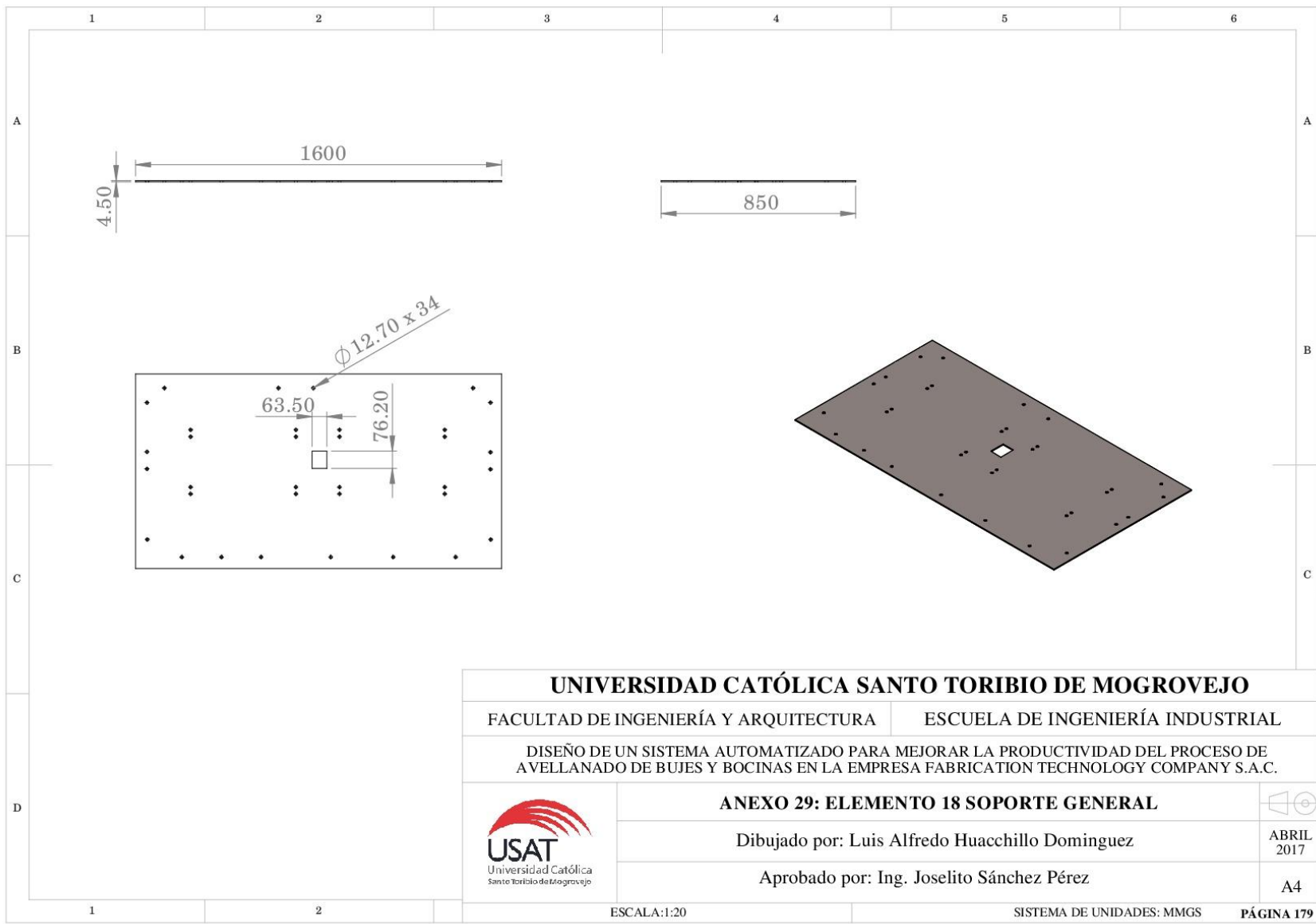












UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.

ANEXO 29: ELEMENTO 18 SOPORTE GENERAL

Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez

ABRIL 2017

Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez

A4




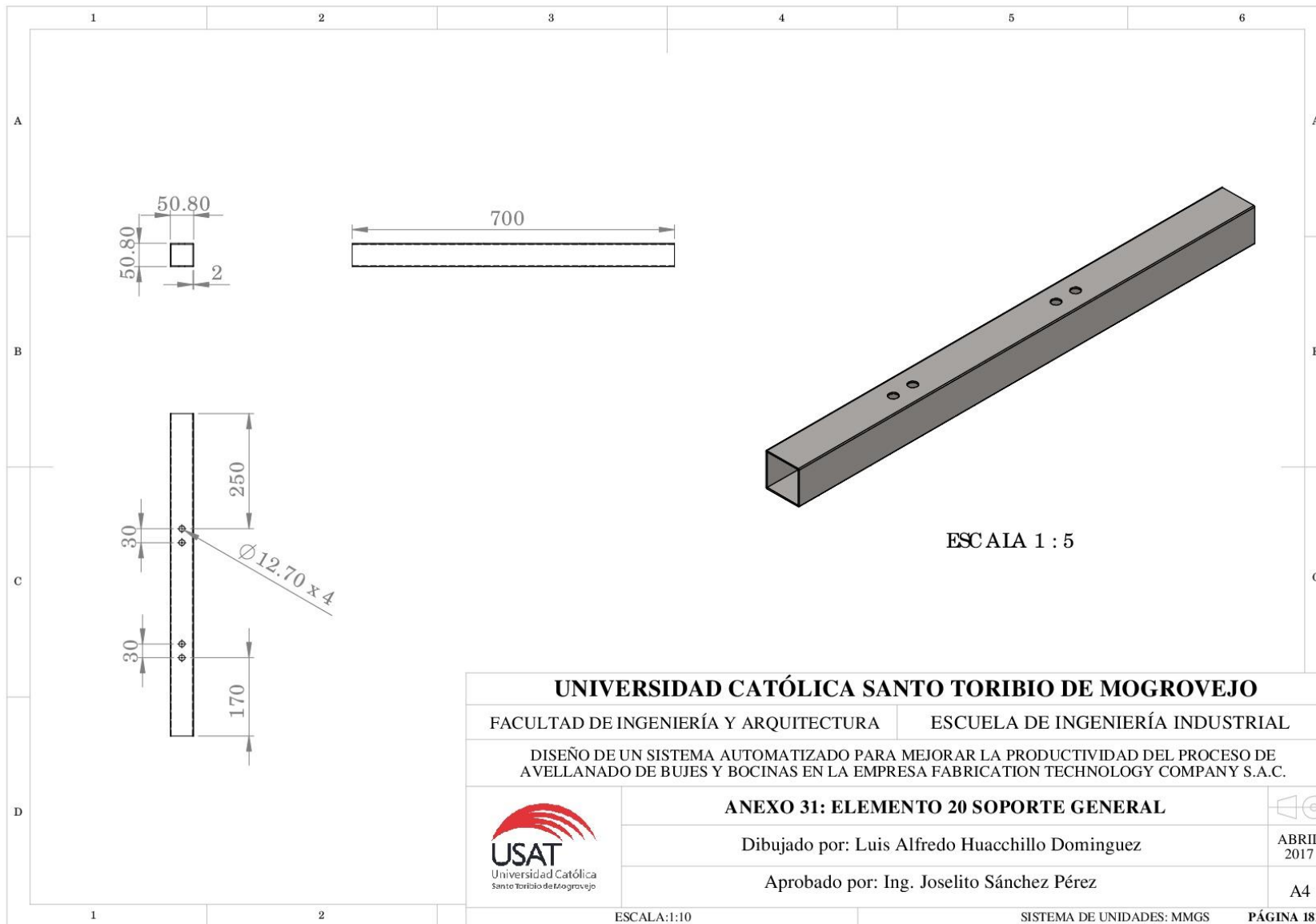
ESCALA:1:20

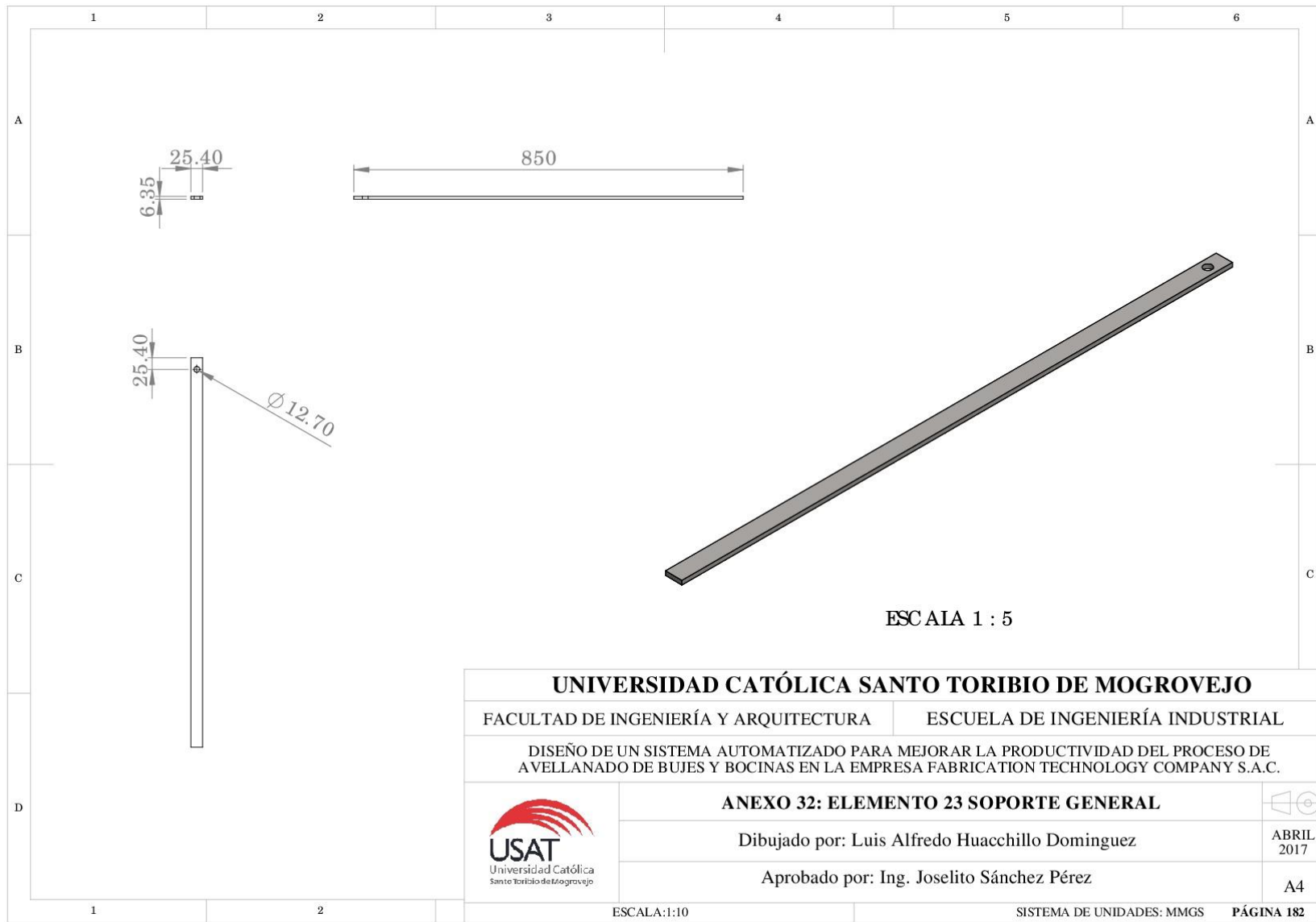
SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 179

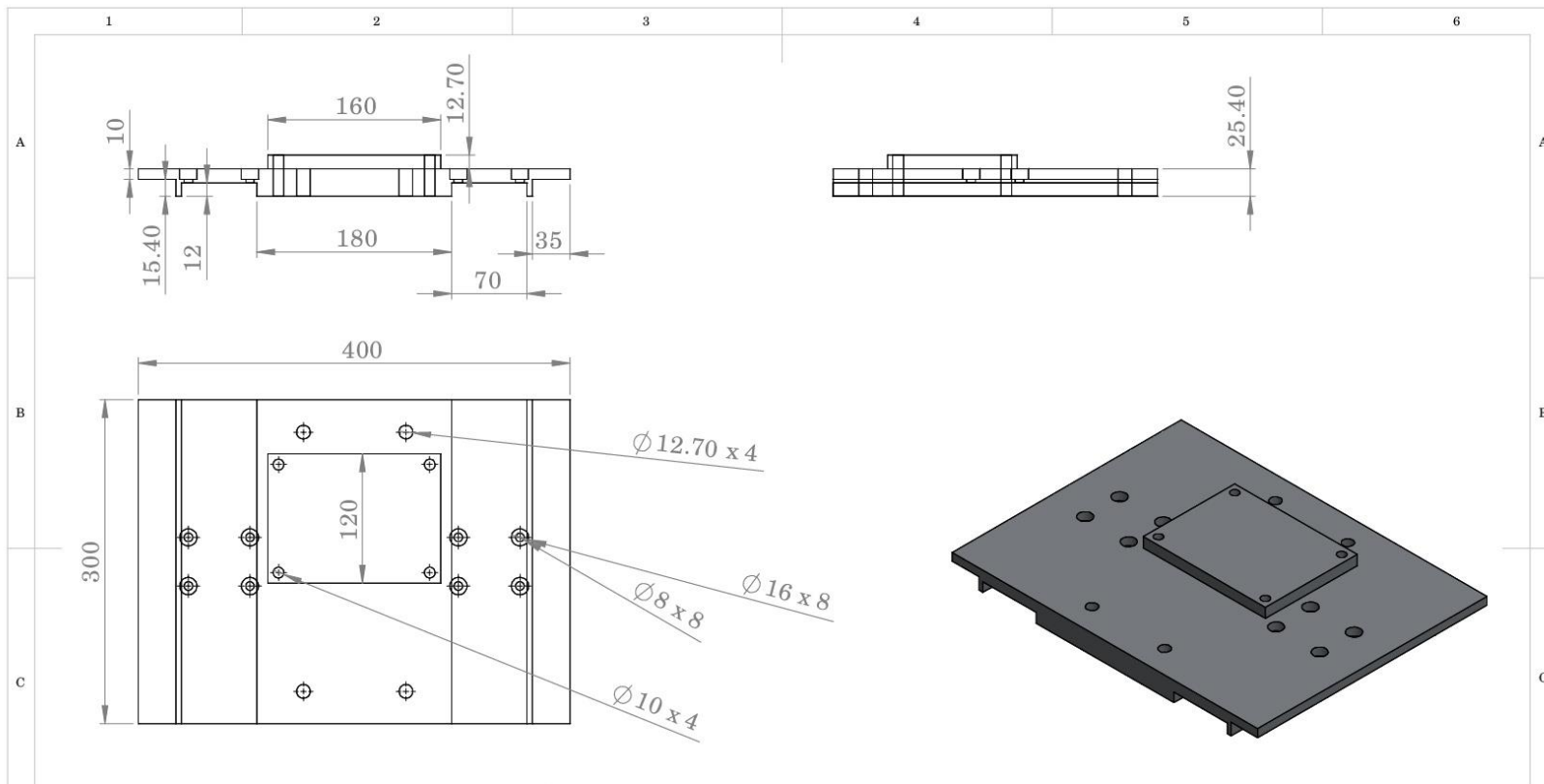


UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.		
 USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	ANEXO 30: ELEMENTO 19 SOPORTE GENERAL	
	Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez	ABRIL 2017
	Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez	A4
ESCALA: 1:10		SISTEMA DE UNIDADES: MMGS PÁGINA 180









UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.

ANEXO 34: ELEMENTO 2 Y 4 AVANCE DE BROCA

Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez

ABRIL
2017

Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez

A4

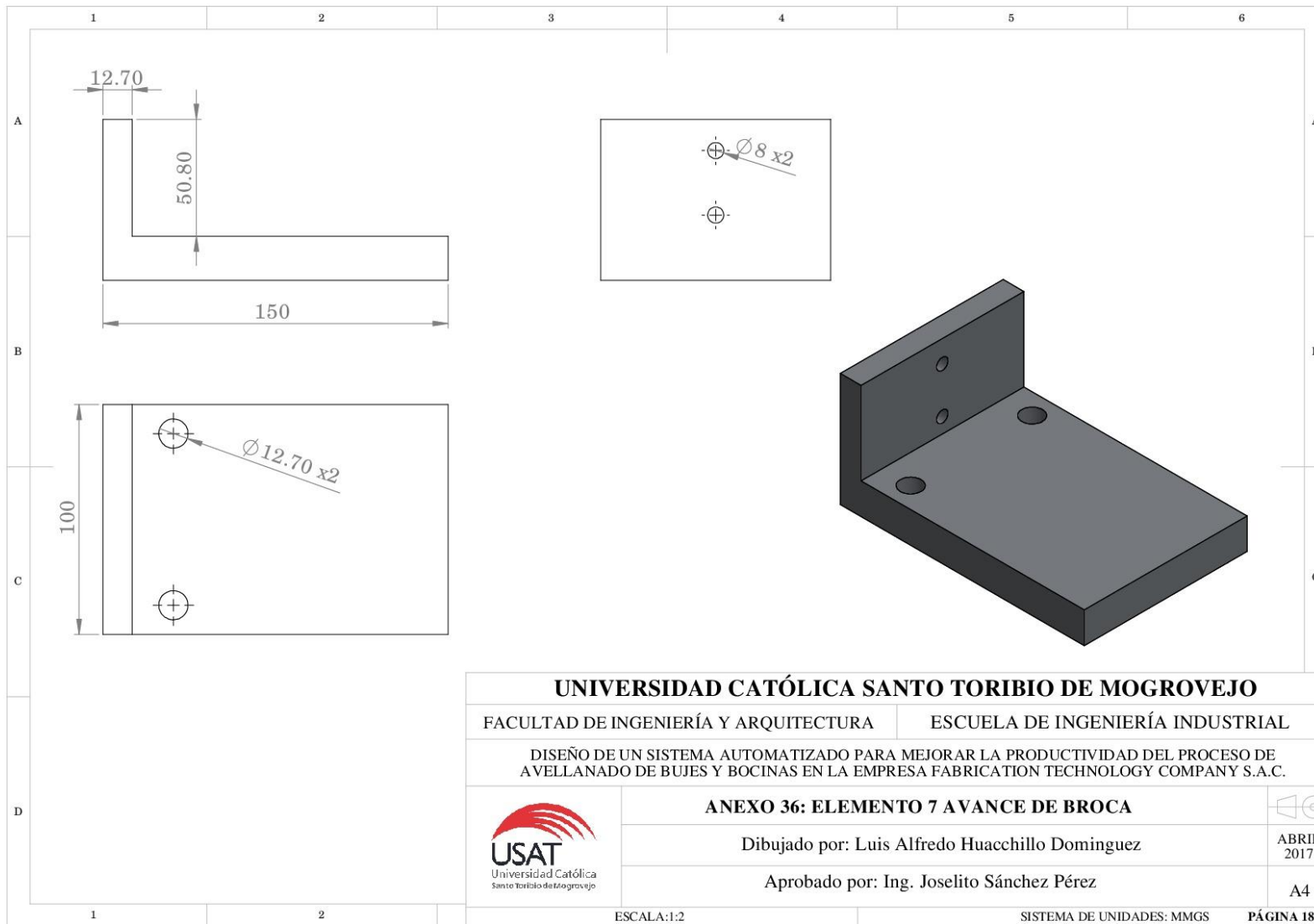


ESCALA:1:5

SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 184





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY Y S.A.C.



ANEXO 36: ELEMENTO 7 AVANCE DE BROCA

Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez

Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez



ABRIL 2017

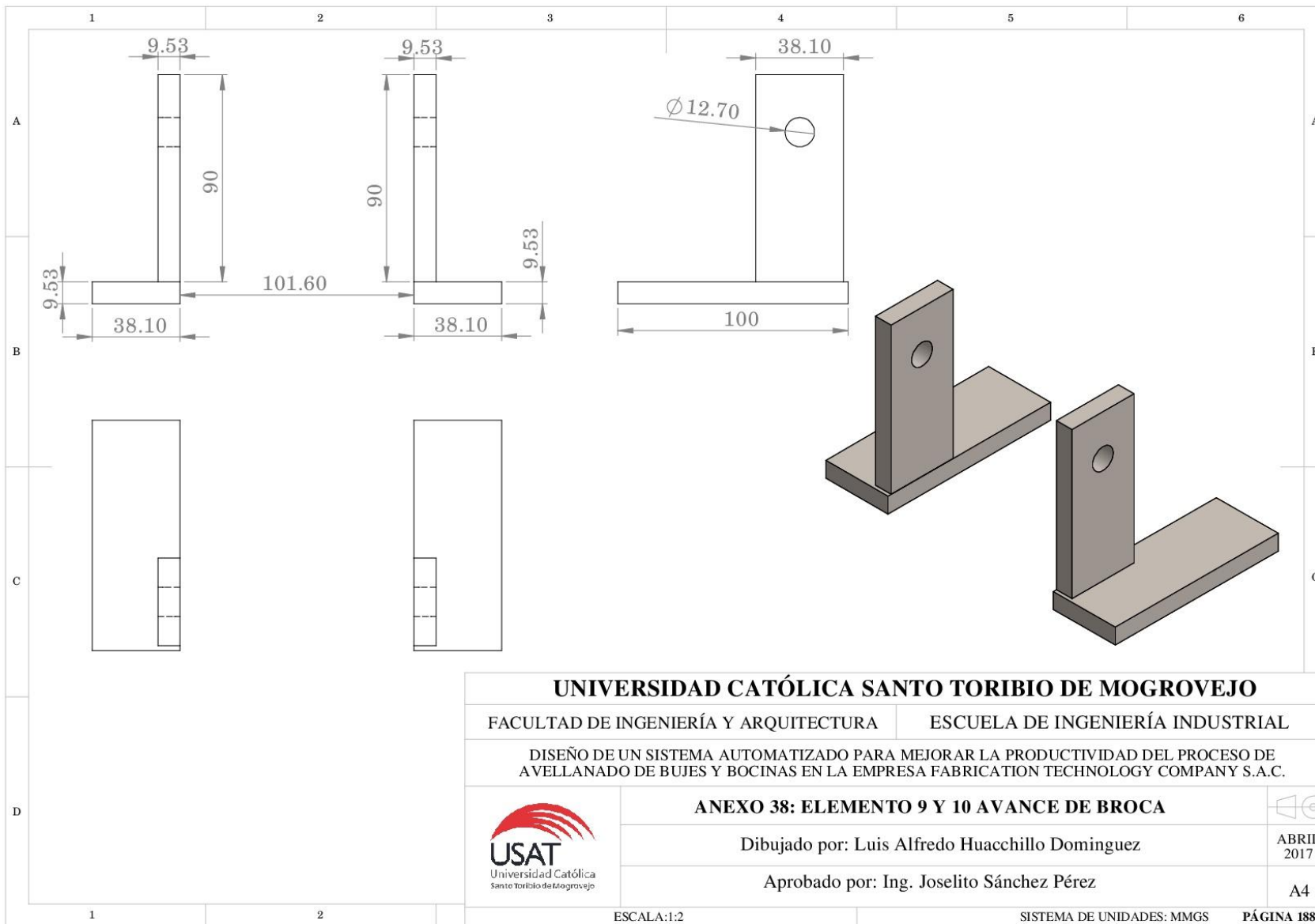
A4

ESCALA: 1:2

SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 186





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.



ANEXO 38: ELEMENTO 9 Y 10 AVANCE DE BROCA

Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez

Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez



ABRIL
2017

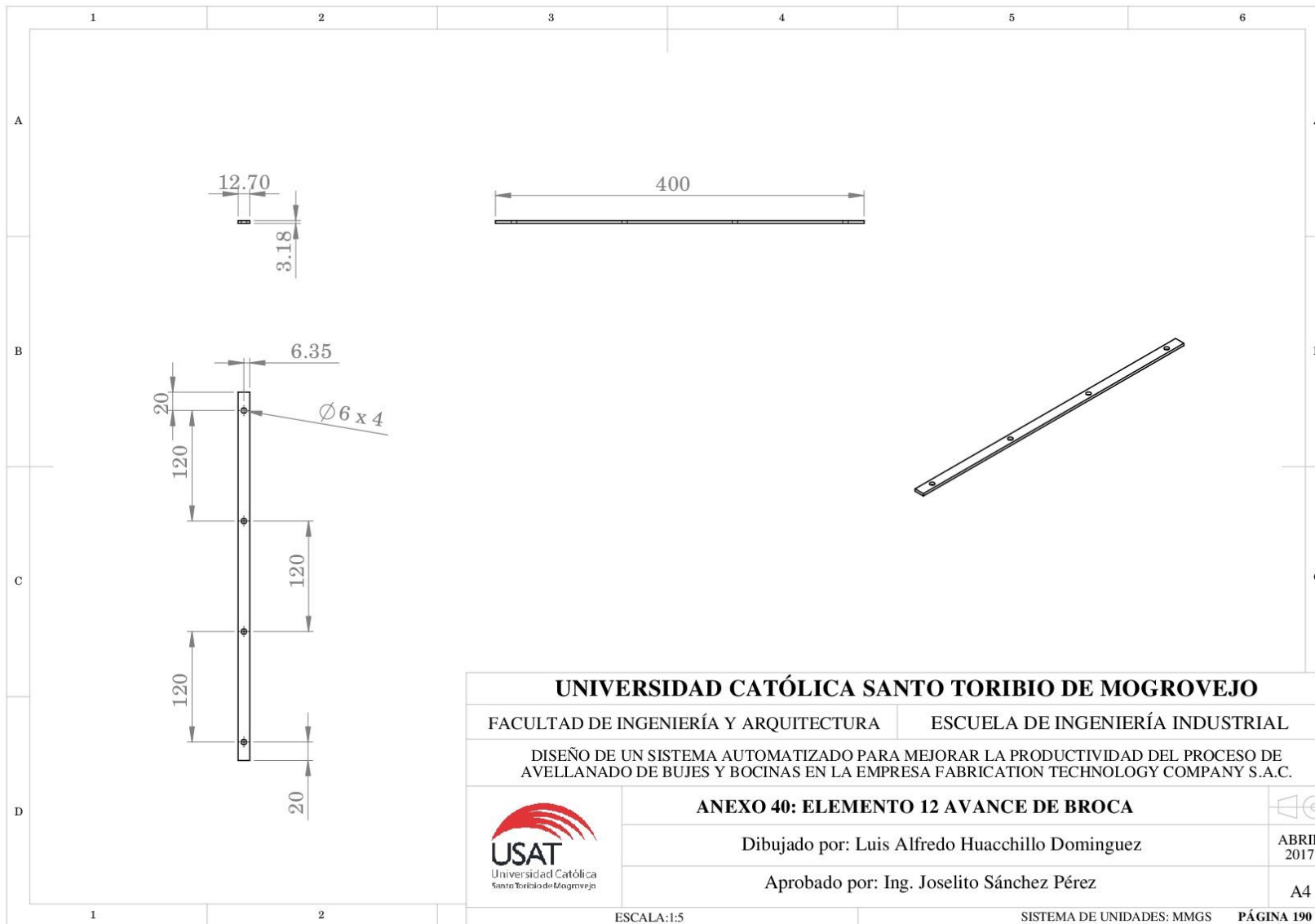
A4

ESCALA:1:2

SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 188





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE
 AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.



ANEXO 40: ELEMENTO 12 AVANCE DE BROCA

Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez



ABRIL
2017

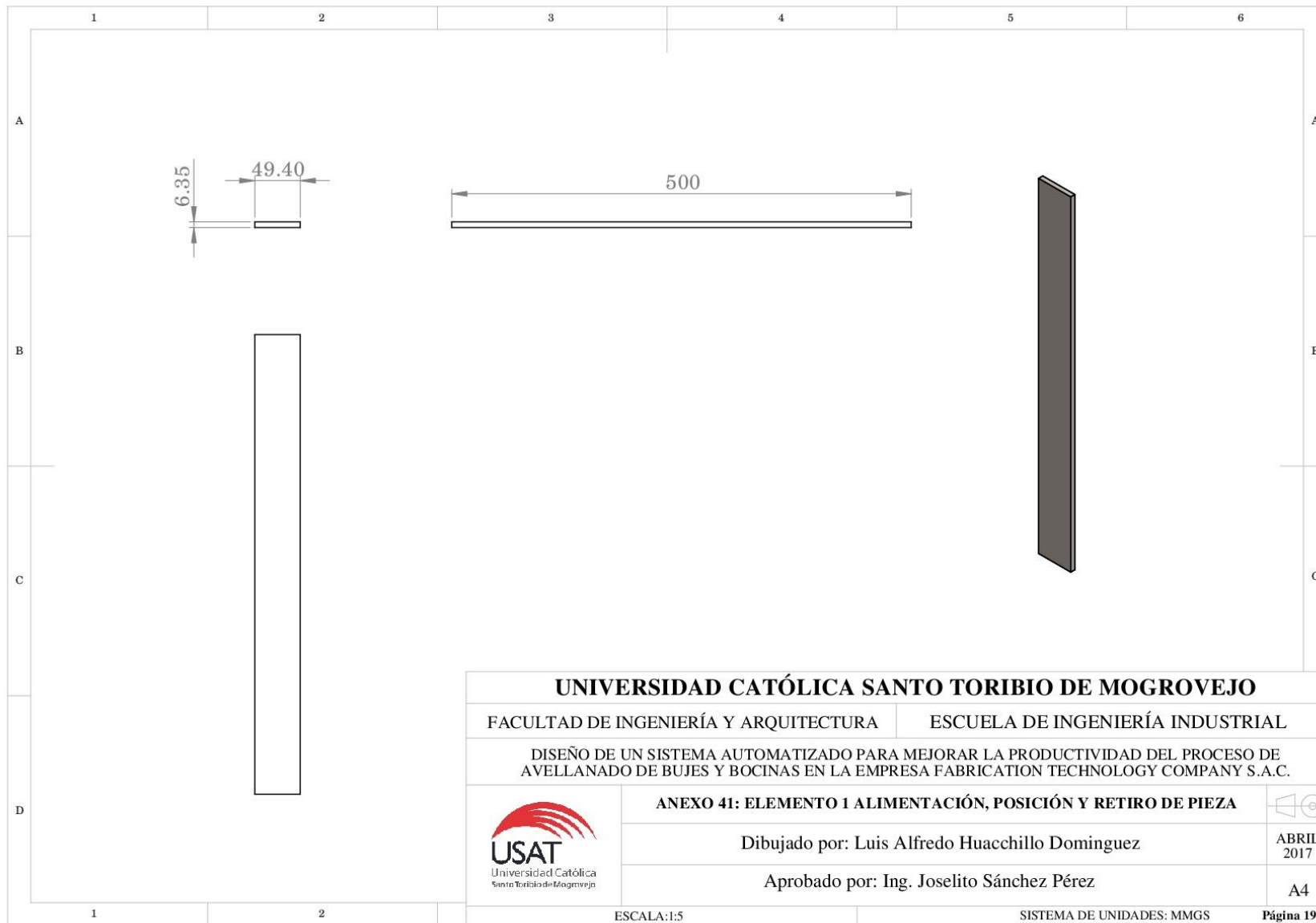
Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez

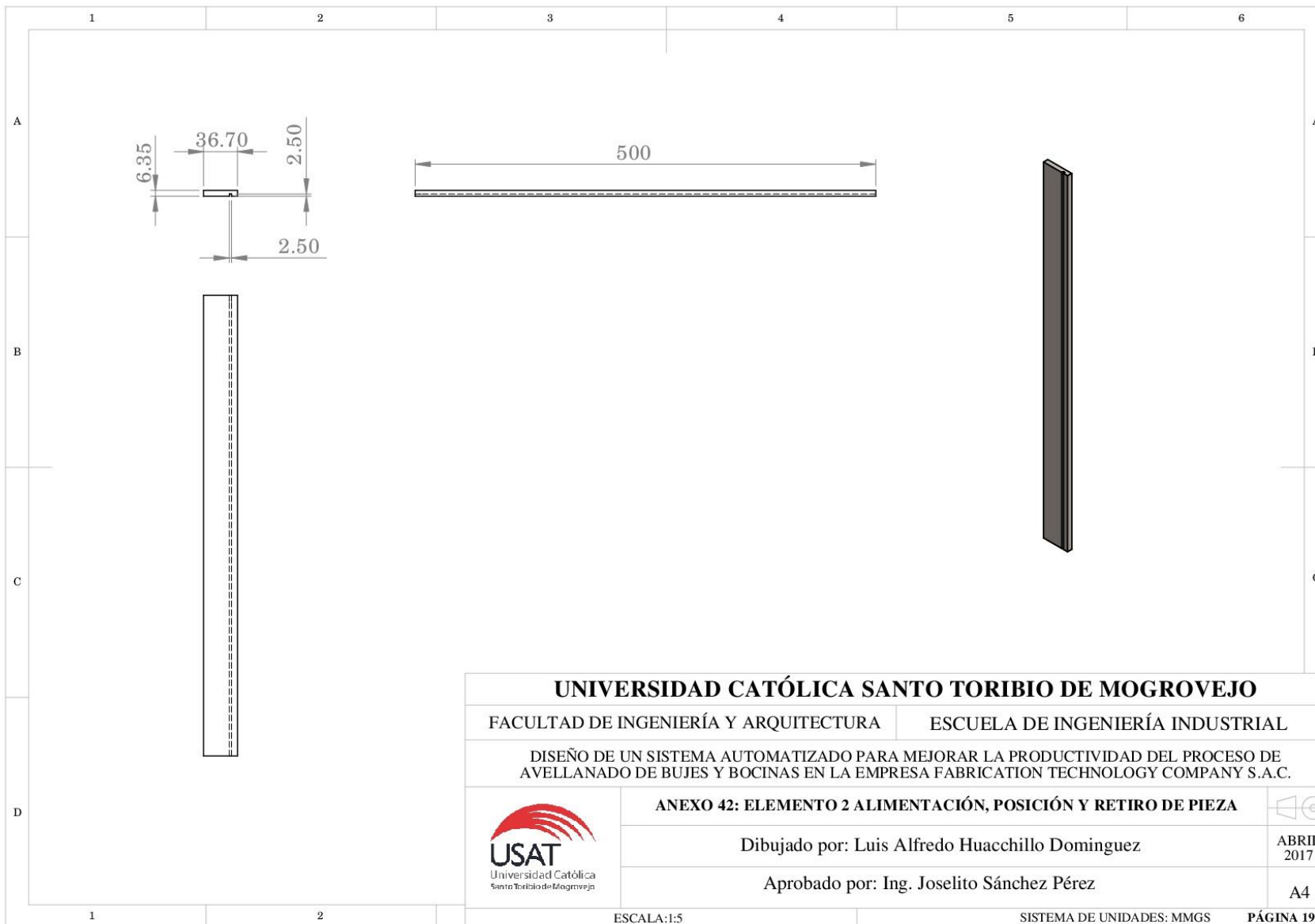
A4

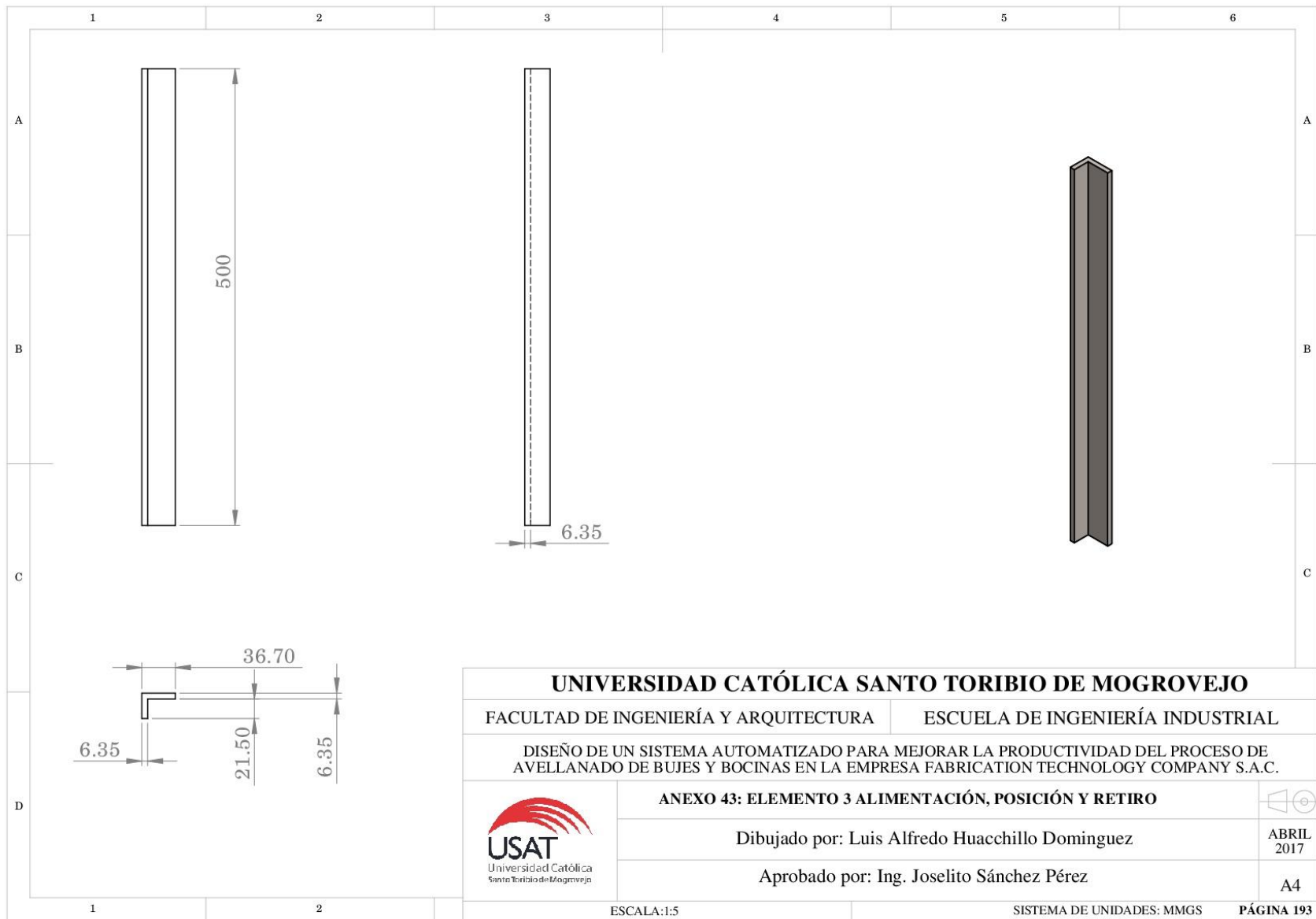
ESCALA: 1:5

SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 190









UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.

ANEXO 44: ELEMENTO 4 ALIMENTACIÓN, POSICIÓN Y RETIRO



Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez



ABRIL
2017

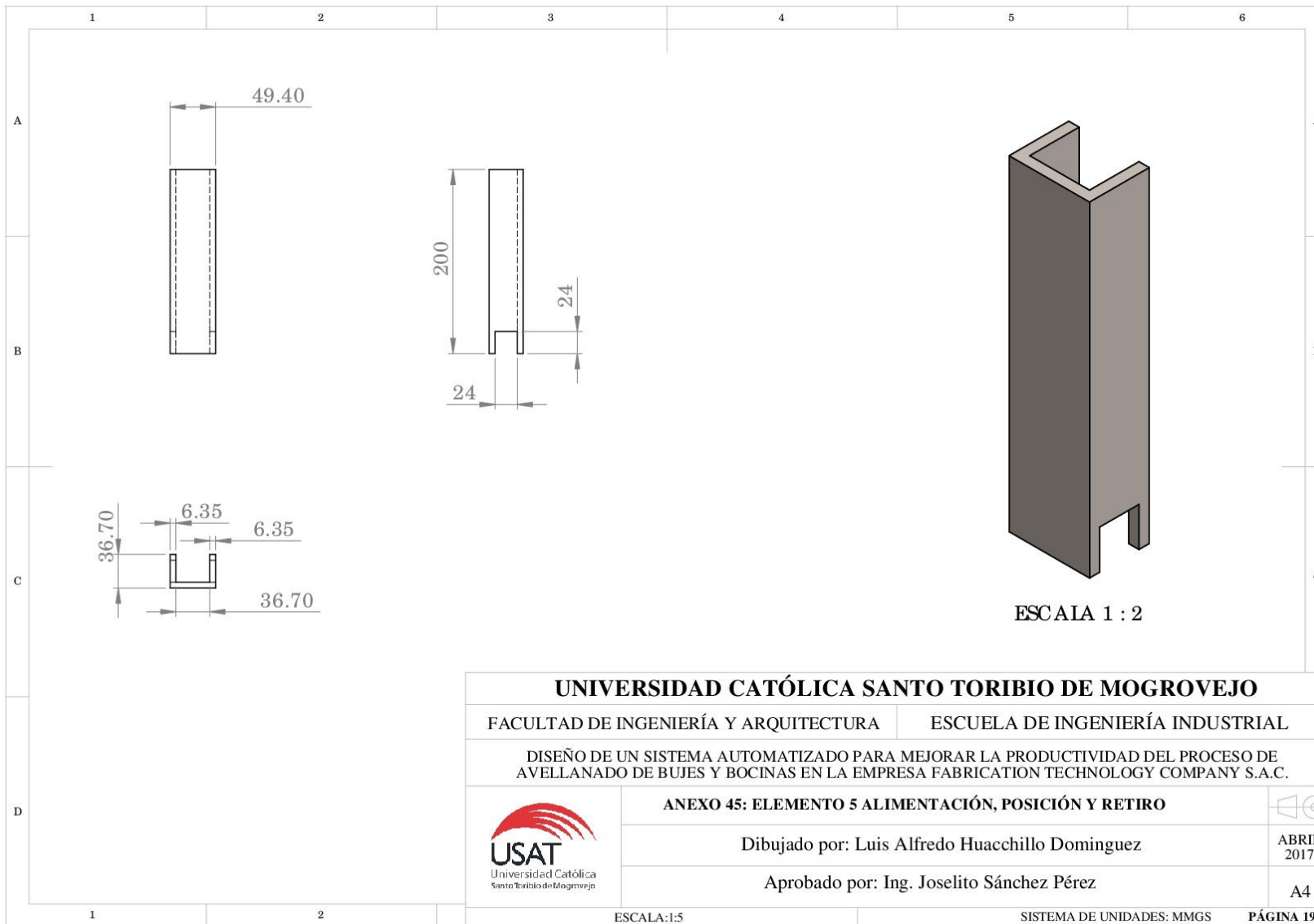
Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez

A4

ESCALA:1:2

SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 194



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.

ANEXO 45: ELEMENTO 5 ALIMENTACIÓN, POSICIÓN Y RETIRO



Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez

ABRIL
2017

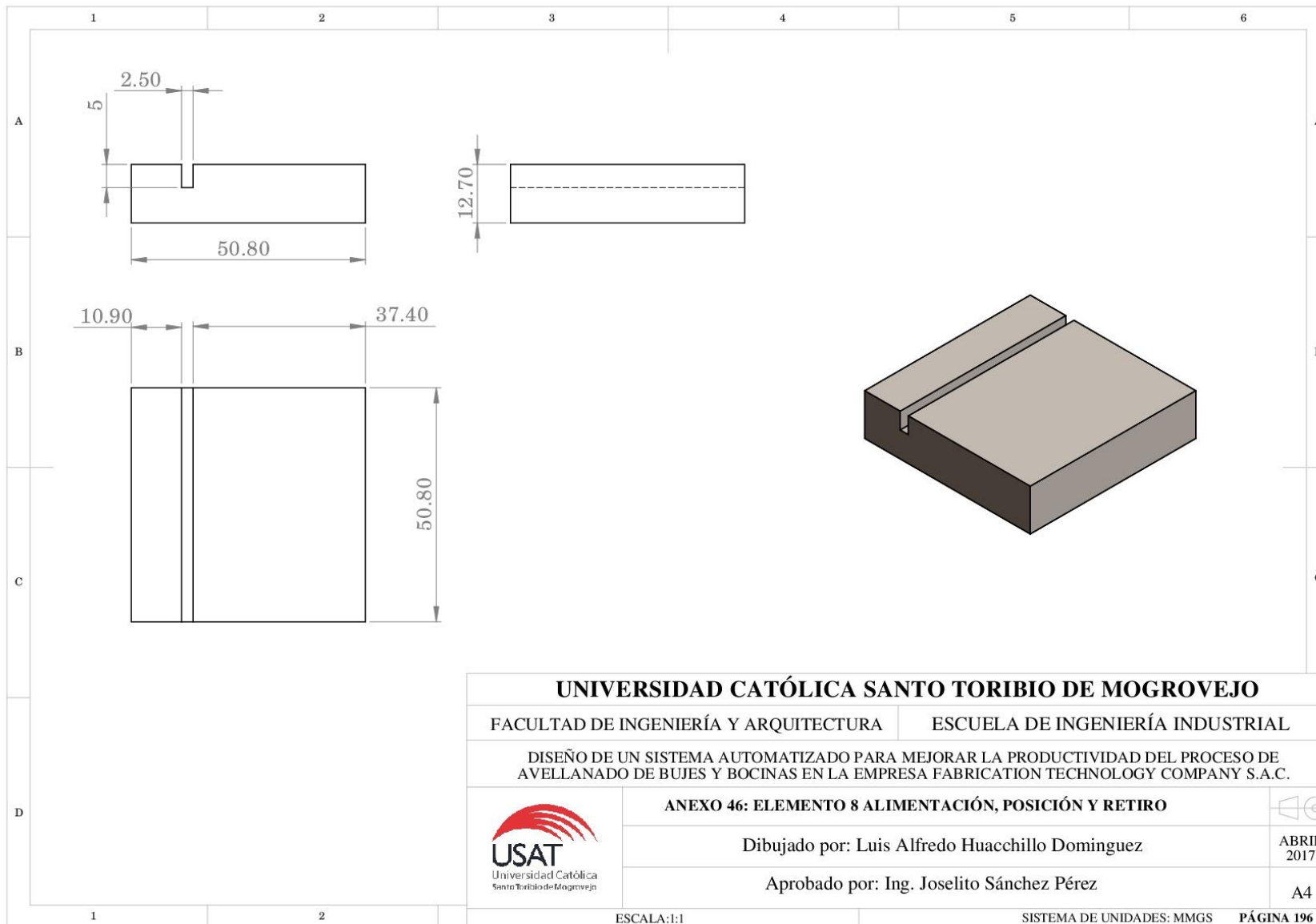
Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez

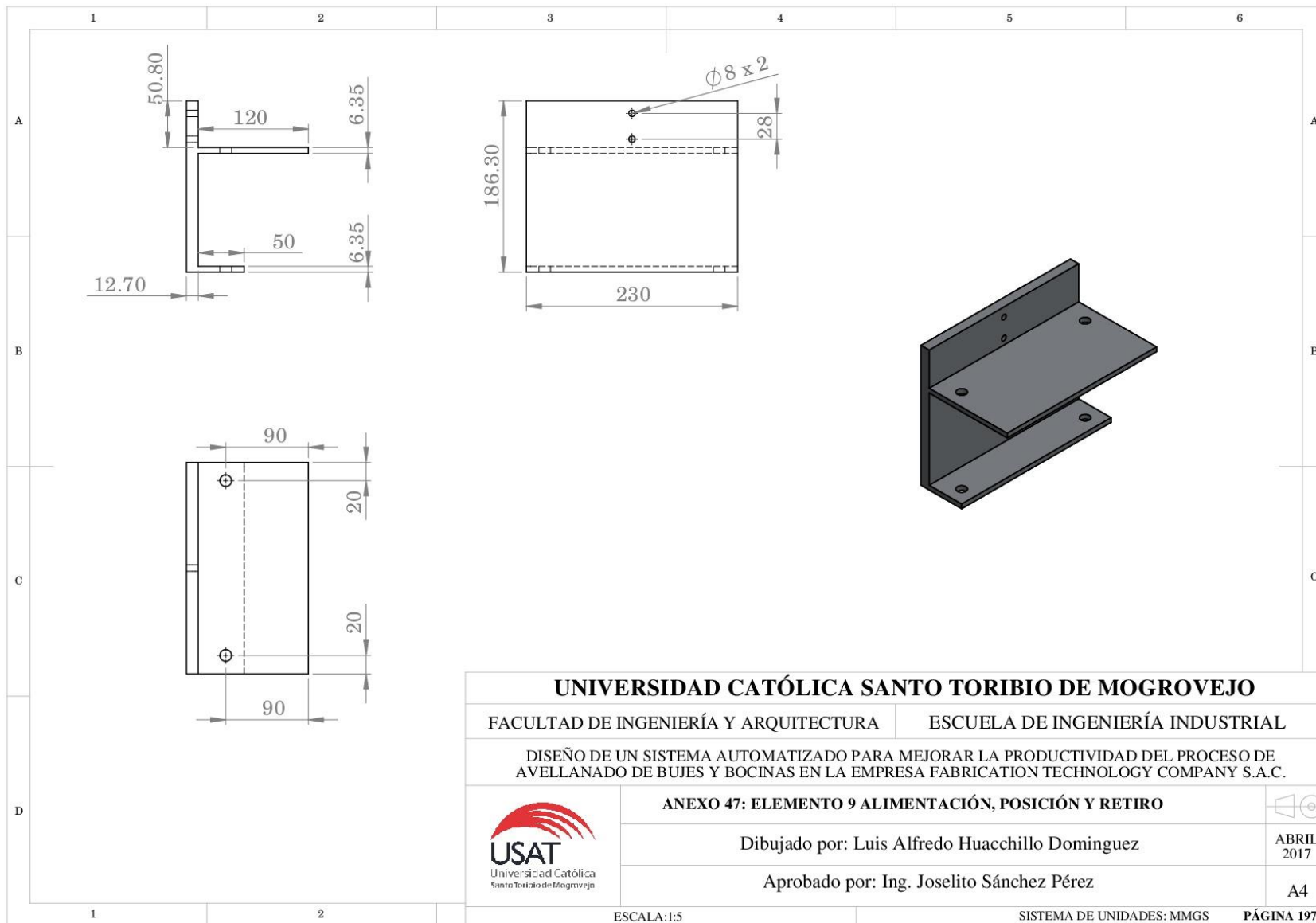
A4

ESCALA: 1:5

SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 195





UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.



ANEXO 47: ELEMENTO 9 ALIMENTACIÓN, POSICIÓN Y RETIRO

Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez



ABRIL
2017

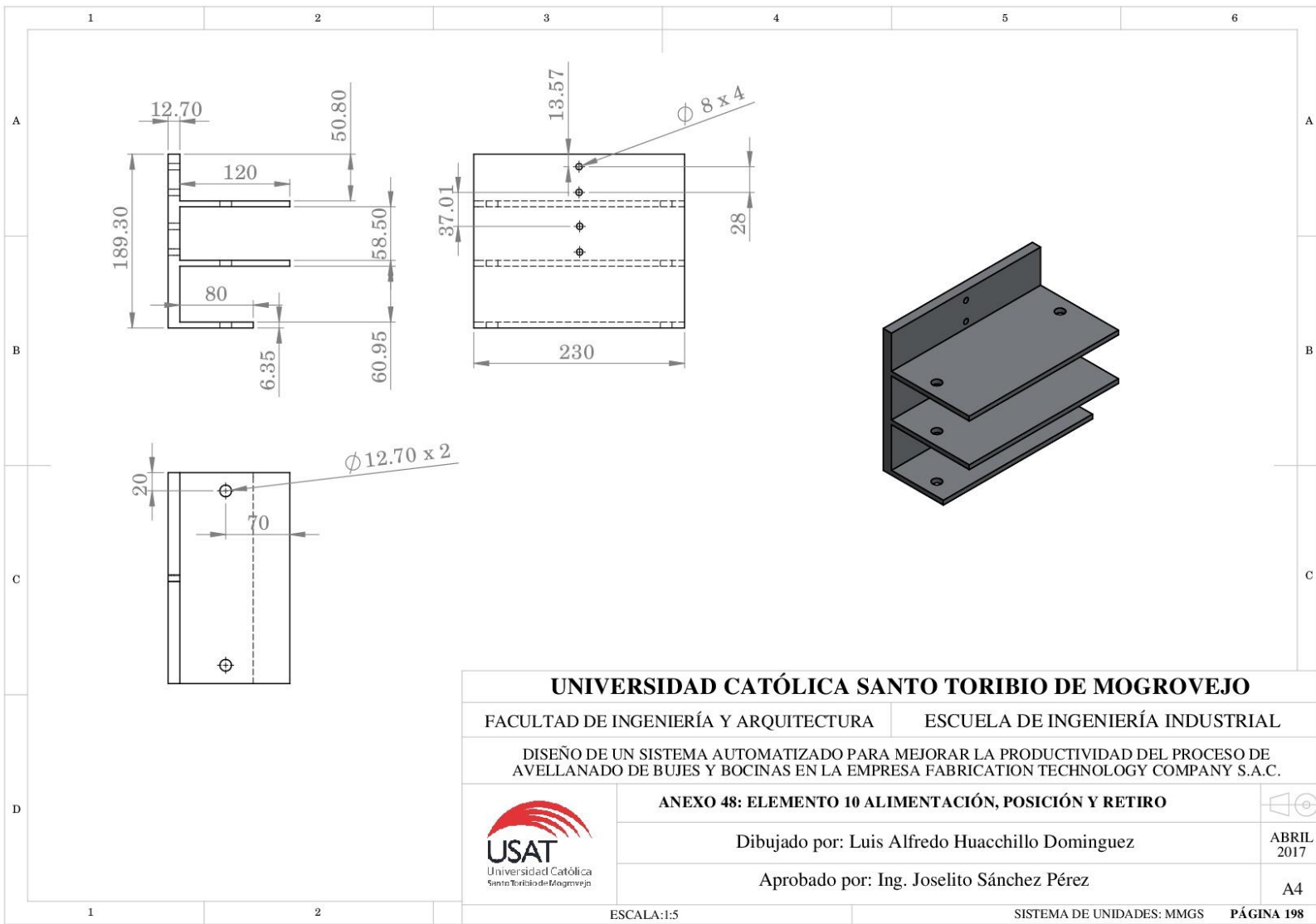
Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez

A4

ESCALA: 1:5

SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 197



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.

ANEXO 48: ELEMENTO 10 ALIMENTACIÓN, POSICIÓN Y RETIRO



Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez

ABRIL 2017

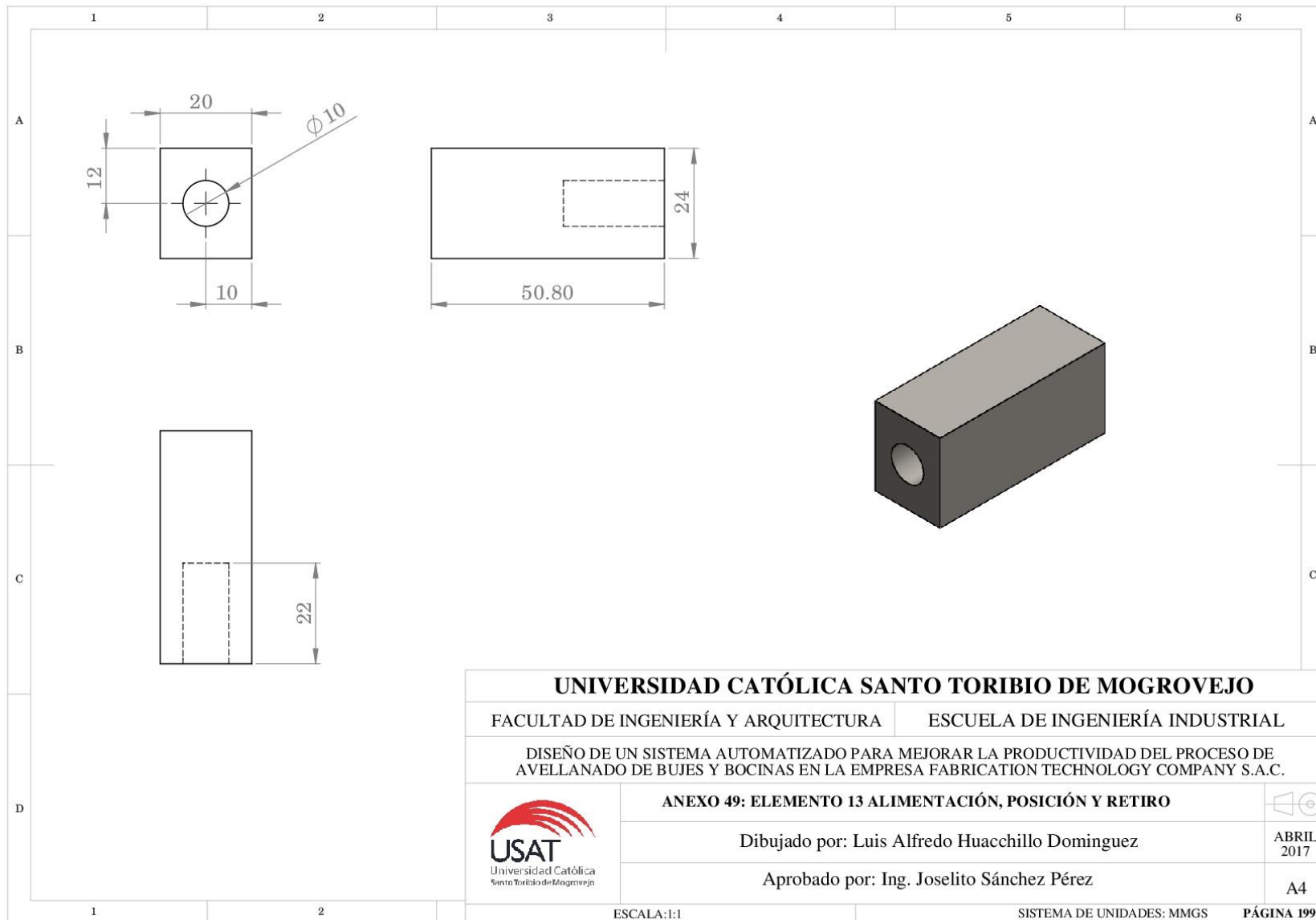
Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez

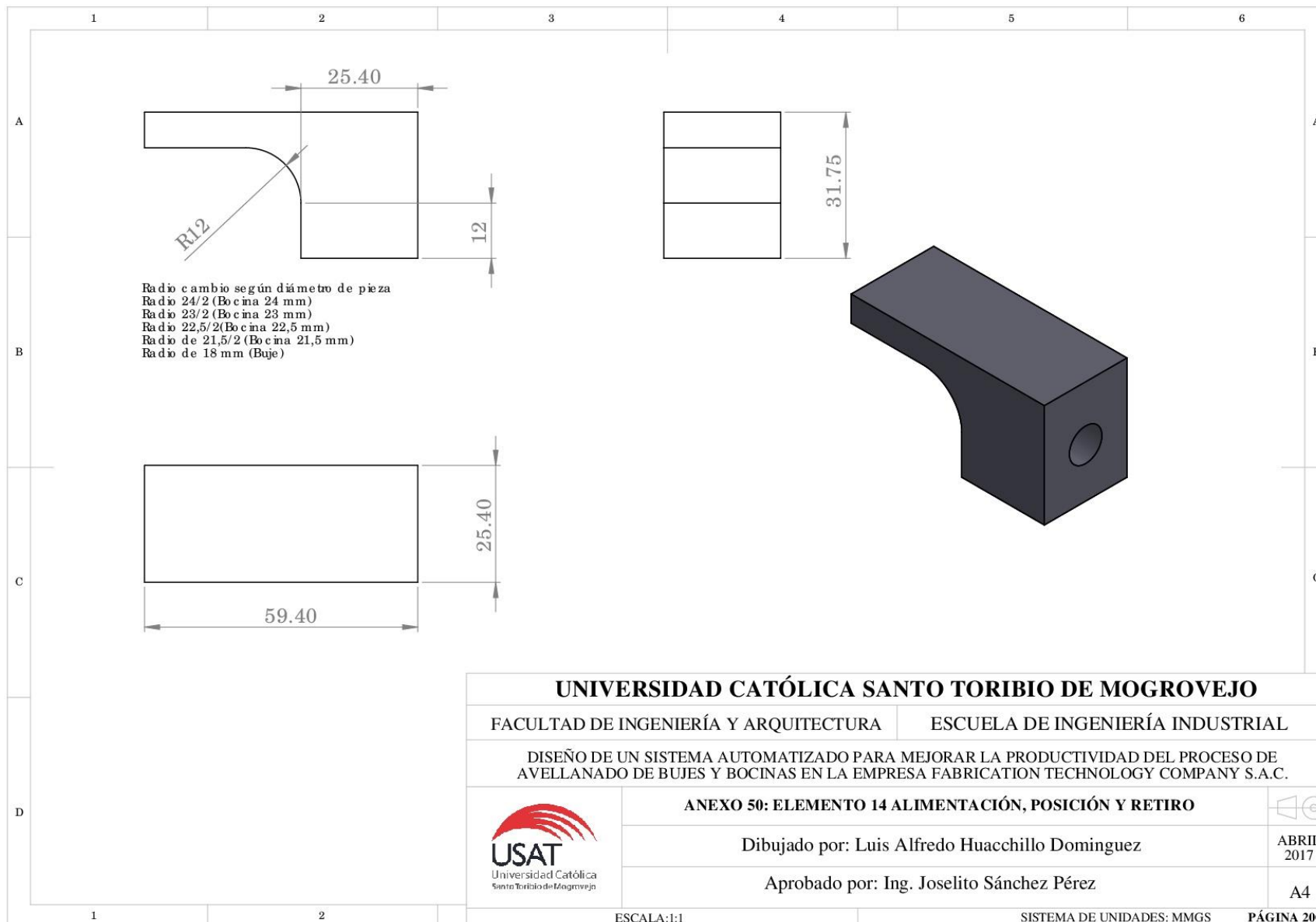
A4

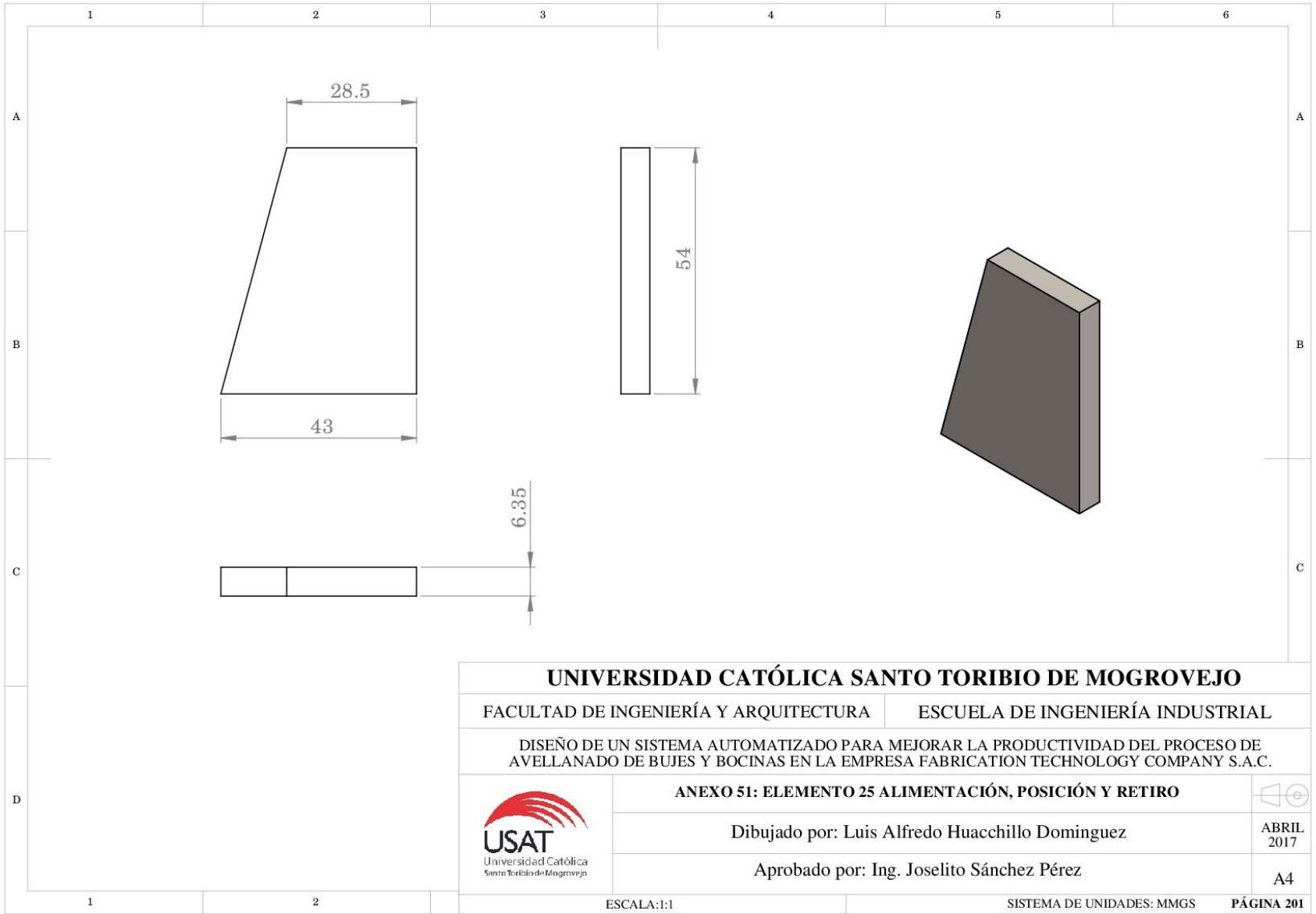
ESCALA: 1:5



SISTEMA DE UNIDADES: MMGS

PÁGINA 198







UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO		
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA		ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE AVELLANADO DE BUJES Y BOCINAS EN LA EMPRESA FABRICATION TECHNOLOGY COMPANY S.A.C.		
 <p>USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</p>	ANEXO 51: ELEMENTO 25 ALIMENTACIÓN, POSICIÓN Y RETIRO	
	Dibujado por: Luis Alfredo Huacchillo Dominguez	
	Aprobado por: Ing. Joselito Sánchez Pérez	
		ABRIL 2017
		A4
ESCALA:1:1		SISTEMA DE UNIDADES: MMGS PÁGINA 201