



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA INCREMENTAR UN 20% LA
PRODUCCIÓN DE PIEZAS PARA UN FUSIL”**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
ING. CARLOS GARCÍA GARCÍA

TUTORA PRINCIPAL
DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS
FACULTAD DE INGENIERÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MÉXICO, AGOSTO 2018

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dra. Flores de la Mota Idalia
Secretario: M. I. Soler Anguiano Francisca Irene
Vocal: Dra. Huerta Barrientos Aida
1^{er.} Suplente: Dra. Segura Pérez Esther
2^{d o.} Suplente: M. I. Hernández Hernández Víctor

Lugar donde se realizó la tesis: MÉXICO, CIUDAD DE MÉXICO.

TUTORA DE TESIS:

DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS

FIRMA

Agradecimientos

A Dios por permitirme hacer uso de mis virtudes y fortalezas para continuar escalando peldaños en mi vida profesional.

A mi madre por estar siempre ahí, brindándome su apoyo incondicional para comenzar con esta aventura y creer en mí para recorrer y concluir este camino.

A mi hermana por ser una motivación más para concluir esta etapa en mi carrera profesional.

A la Dra. Aida Huerta por su amistad, paciencia, motivación y conocimientos compartidos que fueron guía para llevar a cabo con éxito todo el proceso para la realización de este trabajo.

Al M.I. Víctor Hernández por su amistad, brindándome las facilidades y la oportunidad de aportar mis conocimientos en el presente trabajo, así como su asesoría y consejos en la realización del mismo.

A los miembros del jurado por su tiempo en la revisión de este trabajo, así como sus experiencias, aportaciones y sugerencia para mejorarlo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México mi alma mater, por todas las vivencias ofrecidas y abrirme nuevamente las puertas para seguir superándome tanto de manera personal como profesional.

ÍNDICE

Página

Índice de Tablas.....	iii
Índice de Gráficas.....	v
Índice de Figuras.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I. PROBLEMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN DE PIEZAS PARA UN FUSIL.....	3
1.1.-Contexto.....	3
1.2- Dimensiones de los equipos y maquinaria empleada.....	7
1.3.-Determinación de requerimiento de flujo del proceso (Diagrama de espaguetti).....	8
1.4.-El problema por resolver.....	20
1.5.-El objetivo general.....	21
1.6.-Objetivos específicos.....	21
1.7.-Metodología de Investigación.....	22
Capítulo II. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO.....	25
2.1.-Distribución de planta.....	25
2.2.-Factores a considerar en la distribución de planta.....	26
2.3.- Principios de distribución de planta.....	28
2.4.- Tipos de distribución de planta.....	28
2.4.1.- Distribución por proceso (job-shop layout).....	29
2.4.2.- Distribución por producto o en línea (flow-shop layout).....	31
2.4.3.- Distribución por posición fija.....	32
2.4.4.- Células de fabricación flexible o distribución combinada.....	34
2.5.-Modelos de distribución de planta.....	36
2.5.1.-SPL (Systematic Plan Layout).....	36
2.5.2.-QAP (Quadric assignment Problem).....	36
2.5.3.-Corelap.....	36
2.5.4.-ASBMODEL.....	37
2.5.5.-LIMP.....	37
2.6.-Balanceo de línea.....	37
2.7.-Tiempo estándar.....	39
2.8.-Tiempo takt.....	39
2.9.-Eficiencia.....	39
2.10.-Cuadro resumen.....	40

Capítulo III. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS PARA UN FUSIL.....	41
3.1.- Modelo de simulación.....	41
3.2.- Formulación del problema.	41
3.3.- Establecimiento de objetivos.	43
3.4.- Conceptualización del modelo.	43
3.5.- Recolección de datos.	49
3.6.- Traducción del modelo.....	49
3.7.- Verificación del modelo.....	52
3.8.- Validación del modelo.	52
3.9.- Diseño experimental.	55
3.10.-Corridas de producción.....	56
3.11.-Más corridas.....	61
3.12.-Documentación y presentación de informes.....	61
Capítulo IV. MEJORAS A LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LA PLANTA Y ALTERNATIVAS PARA INCREMENTAR UN 20% LA PRODUCCIÓN DE PIEZAS PARA UN FUSIL.....	65
4.1.-Balanceo de líneas.....	65
4.2.-Selección del tipo de distribución.	78
4.3.-Selección del método para la nueva distribución.	79
4.4.-Análisis y determinación de la nueva distribución física de la fábrica.....	80
4.5.-Carta From-To.....	80
4.6.-Propuesta de la distribución de planta	83
4.7.- Modelo de simulación para incrementar un 20 % la producción de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm.....	90
4.8.- Análisis y comparación de resultados de los modelos de simulación.....	92
Conclusiones.	99
Recomendaciones.....	101
Anexos.....	102
Bibliografía.....	117

Índice de Tablas

- Tabla 1.-** Áreas y departamentos de la fábrica de componentes para armamento
- Tabla 2.-** Área ocupada por departamento
- Tabla 3.-** Maquinaria y equipo disponible por departamento considerando áreas y volúmenes totales
- Tabla 4.-** Piezas manufacturadas con mayor número de procesos
- Tabla 5.-** Piezas maquinadas que requieren un mayor número de traslados entre talleres
- Tabla 6.-** Piezas maquinadas con mayor tiempo de maquinado
- Tabla 7.-** Tabla comparativa de piezas representativas para un fusil Cal. 5.56 mm
- Tabla 8.-** Distancia recorrida por las piezas elegidas como las más representativas
- Tabla 9.-** Cuadro resumen de la literatura y marco teórico
- Tabla 10.-** Comparativa del número de operaciones reales y consideradas para el modelo de simulación
- Tabla 11.-** Colores asignados para representar en AnyLogic™ los recorridos de las piezas representativas
- Tabla 12.-** Cantidad de lotes reales producidos y los lotes generados por el modelo de simulación
- Tabla 13.-** Tiempo de producción de lotes de 100 piezas fabricados y lotes de 100 piezas generados por el modelo de simulación
- Tabla 14.-** Factores considerados para el diseño de experimentos del número de lotes producidos
- Tabla 15.-** Resultados del diseño de experimentos para el número de lotes producidos
- Tabla 16.-** Resultados considerados para del diseño de experimentos del número de fusiles producidos
- Tabla 17.-** Resultados de la situación actual del proceso de fabricación de fusiles Cal. 5.56 mm.
- Tabla 18.-** Asignación de las operaciones para el diseño de estaciones de trabajo para la pieza CANO
- Tabla 19.-** Asignación de las operaciones para el diseño de estaciones de trabajo para la pieza BTGA

Tabla 20.- Asignación de las operaciones para el diseño de estaciones de trabajo para la pieza CACI

Tabla 21.- Asignación de las operaciones para el diseño de estaciones de trabajo para la pieza REGU

Tabla 22.- Asignación de las operaciones para la formación de las estaciones de trabajo para la pieza CPAR

Tabla 23.- Carta From-To para cuantificación de traslados entre talleres

Tabla 24.- Cuantificación de traslados entre talleres

Tabla 25.- Establecimiento del grado de cercanía entre talleres

Tabla 26.- Comparación de la distancia recorrida por las piezas más representativas para la distribución física actual, respecto a la propuesta

Tabla 27.- Tiempo de producción de lotes de 100 piezas lotes producidos por los modelos de simulación

Tabla 28.- Tiempo de producción de lotes de 100 piezas generados por los modelos de simulación

Tabla 29.- Resultados del modelo de simulación con las propuestas de mejora del proceso de fabricación de fusiles Cal. 5.56 mm.

Índice de Gráficas

Gráfica 1.- Demanda anual de fusiles Cal. 5.53 mm

Gráfica 2.- Porcentaje destinado a cada una de las áreas

Gráfica 3.- Porcentaje de la cantidad de maquinaria por taller

Gráfica 4.- Refacciones manufacturadas con mayor número de operaciones

Gráfica 5.- Piezas manufacturadas que requieren mayor cantidad de traslados entre talleres

Gráfica 6.- Piezas manufacturadas con mayor tiempo de mecanizado

Gráfica 7.- Comparativa de lotes producidos por el sistema real y lotes producidos por el modelo de simulación en el año 2016

Gráfica 8.- Comparativa de lotes producidos por el sistema real y lotes producidos por el modelo de simulación en el año 2017

Gráfica 9.- Comparativa del tiempo de producción por lote en el sistema real y lotes producidos por el modelo de simulación

Gráfica 10.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza CANO

Gráfica 11.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza BTGA

Gráfica 12.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza CACI

Gráfica 13.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza REGU

Gráfica 14.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza CPAR

Gráfica 15.- Comparativa de lotes producidos por los modelos de simulación durante el periodo de un año

Gráfica 16.- Comparativa del tiempo de producción por los modelos de simulación por lote de 100 piezas

Índice de Figuras

- Fig. 1.-** Diagrama de espagueti para la pieza CANO
- Fig. 2.-** Diagrama de espagueti para la pieza BTGA
- Fig. 3.-** Diagrama de espagueti para la pieza REGU
- Fig. 4.-** Diagrama de espagueti para la pieza CACI
- Fig. 5.-** Diagrama de espagueti para la pieza CPAR
- Fig. 6.-** Actividades para la metodología propuesta
- Fig. 7.-** Fases de la distribución de planta
- Fig. 8.-** Distribución de planta por proceso (job-shop layout)
- Fig. 9.-** Distribución de planta por producto o en línea (flow-shop layout)
- Fig. 10.-** Distribución de planta por posición fija
- Fig. 11.-** Distribución de planta combinada
- Fig. 12.-** Relación de producción cantidad-variedad
- Fig. 13.-** Metodología de simulación
- Fig. 14.-** Diagrama de flujo para la pieza BTGA
- Fig. 15.-** Diagrama de flujo para la pieza CANO
- Fig. 16.-** Diagrama de flujo para la pieza REGU
- Fig. 17.-** Diagrama de flujo para la pieza CACI
- Fig. 18.-** Diagrama de flujo para la pieza CPAR
- Fig. 19.-** Representación de la distribución actual y requerimientos de flujo de las piezas más representativas
- Fig. 20.-** Representación en tercera dimensión del proceso de fabricación de fusiles
- Fig. 21.-** Interfaz gráfica de los procesos de fabricación de piezas representativas
- Fig. 22.-** Gráfica normal de los efectos
- Fig. 23.-** Gráfica de efectos principales para fusiles
- Fig. 24.-** Gráfica de interacción para la producción de fusiles

- Fig. 25.-** Gráfica de cubos para la producción de fusiles
- Fig. 26.-** Gráficos generados del proceso de producción para la pieza CANO
- Fig. 27.-** Gráficos generados del proceso de producción para la pieza REGU
- Fig. 28.-** Gráficos generados del proceso de producción para la pieza CACI
- Fig. 29.-** Gráficos generados del proceso de producción para la pieza CPAR
- Fig. 30.-** Gráficos generados del proceso de producción para la pieza BTGA
- Fig. 31.-** Visualización del grado de importancia de la cercanía entre talleres
- Fig. 32.-** Diagrama de espaguete para la distribución física propuesta para la pieza CANO
- Fig. 33.-** Diagrama de espaguete para la distribución física propuesta para la pieza BTGA
- Fig. 34.-** Diagrama de espaguete para la distribución física propuesta para la pieza REGU
- Fig. 35.-** Diagrama de espaguete para la distribución física propuesta para la pieza CACI
- Fig. 36.-** Diagrama de espaguete para la distribución física propuesta para la pieza CPAR
- Fig. 37.-** Representación de la distribución propuesta de la fábrica de armamento y requerimientos de flujo de las piezas más representativas
- Fig. 38.-** Representación en tercera dimensión para la propuesta del proceso de fabricación de fusiles
- Fig. 39.-** Interfaz gráfica para la propuesta de los procesos de fabricación de piezas representativas
- Fig. 40.-** Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza CANO
- Fig. 41.-** Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza REGU
- Fig. 42.-** Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza CACI
- Fig. 43.-** Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza CPAR
- Fig. 44.-** Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza BTGA

INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera es considerada una de las actividades fundamentales para el crecimiento y desarrollo de los países en el mundo, esto se acentúa aún más en el mundo globalizado en el que actualmente se desempeña dicha industria; para poder lograr una fuente de ingresos sustentable y duradera, además de investigación y desarrollo tecnológico, se requiere cumplir con métodos de fabricación adecuados, materiales que se procesan, herramientas, equipos, normas de seguridad específicas y los procesos de fabricación de diferentes componentes para la obtención de un producto final al mejor costo posible y con el menor número de desperdicios.

Siguiendo esta perspectiva, en la actualidad es difícil encontrar algún tipo de industria que no tenga relación directa o indirecta con alguna otra y desde este punto de vista, la industria armamentista no es la excepción, ya que principalmente para los países desarrollados constituye un medio de financiamiento para obtener mayores recursos, bajo esta premisa también representa una oportunidad para los países en vías de desarrollo como México. Para este tipo de industria, uno de los aspectos primordiales en el mundo es el abastecimiento, ya que debido a los conflictos y tensiones de origen político que pudiesen existir entre países, es importante para estos encontrar una fuente de abastecimiento efectiva, ya sea comprando armamento en el extranjero o produciéndolo ellos mismos y que a su vez, cumpla con la calidad requerida, funcionalidad adecuada y se le pueda proporcionar el mantenimiento necesario con la finalidad de aprovechar al máximo su vida útil para estar en condiciones de afrontar cualquier situación.

Para desarrollar la competitividad y la supervivencia en la industria armamentista, es necesario el conocimiento e investigación continua en diversos aspectos, tales como: la composición, usos y propiedades de diversos materiales susceptibles a emplearse como materias primas, nuevos y diversos procesos de producción, sustitución y mejora de procesos antiguos, diseños nuevos y compactos, precisión en dimensiones y tolerancias, métodos más rápidos de producción, mejores acabados superficiales, empleo de maquinaria y equipo desarrollado con sistemas de control automático y numérico, etc., que son, entre otros, factores indispensables para asegurar su desarrollo continuo.

Así mismo, para el establecimiento y desarrollo en el mercado de una empresa de la industria armamentista, así como de cualquier industria manufacturera, se debe considerar importante conocer, administrar y gestionar de manera adecuada los recursos básicos que se requieren para la realización de las actividades que se llevan a cabo en este tipo de industrias; algunos de estos recursos básicos son los recursos humanos, las máquinas, los materiales, los métodos y otras instalaciones de infraestructura necesarias, así como otros servicios de apoyo que requieran contratarse o ajustarse, los cuales tendrán que estar contemplados dentro de la planificación para su desarrollo y coadyuvar para cumplir con los objetivos de producción que se propongan y le permitan continuar desarrollando su potencial a fin de garantizar su éxito.

En México, la Gerencia de una fábrica de componentes para armamento, ha decidido llevar a cabo una redistribución y la posible reubicación de su fábrica. Sin embargo, para realizar dicha actividad la Gerencia requerirá generar propuestas para mejorar la producción de componentes, fundamentalmente para su producto principal denominado fusil Cal. 5.56 mm, que en particular representa la mayor parte de la demanda de producción en comparación con el resto de los productos de la fábrica.

En la actualidad, se ha detectado que debido al incremento en la demanda de ese producto durante el año, se han tenido algunas dificultades para cumplir con el tiempo en las metas de producción programadas, motivo por el cual se han implementado algunas medidas emergentes, tales como: incremento en las jornadas laborales, incremento de turnos de trabajo y también se ha tenido que emplear maquinaria convencional en la cual sólo es posible la realización de una operación con un solo operador, un dispositivo de montaje, una herramienta y un calibre, dicha maquinaria ya no se tenía contemplada para la producción de ese producto, dando como resultado un proceso lento y con una calidad dependiente de la habilidad del operador, sin embargo, se continúa empleando con la finalidad de cumplir con las metas de trabajo establecidas. Así, la fábrica de componentes para armamento compra y también produce lotes de piezas para el fusil, los cuales son ensamblados al final del proceso para finalmente salir al mercado.

La Gerencia desea aprovechar el posible proceso de reubicación para mejorar la producción de componentes para armamento a través de la redistribución física de su planta (talleres) que permita aumentar la producción de componentes y resolver los problemas de aumento de turnos de trabajo (de 2 a 3 turnos al día), jornadas laborales (de 7 a 9 horas por turno), la disponibilidad de ciertas refacciones para ser ensambladas al final del proceso y desperdicios que se pudiesen presentar (distancias recorridas por las piezas en proceso), a fin de evitar que no sea posible alcanzar las metas de producción anuales de alrededor de 30 000 componentes para ese producto.

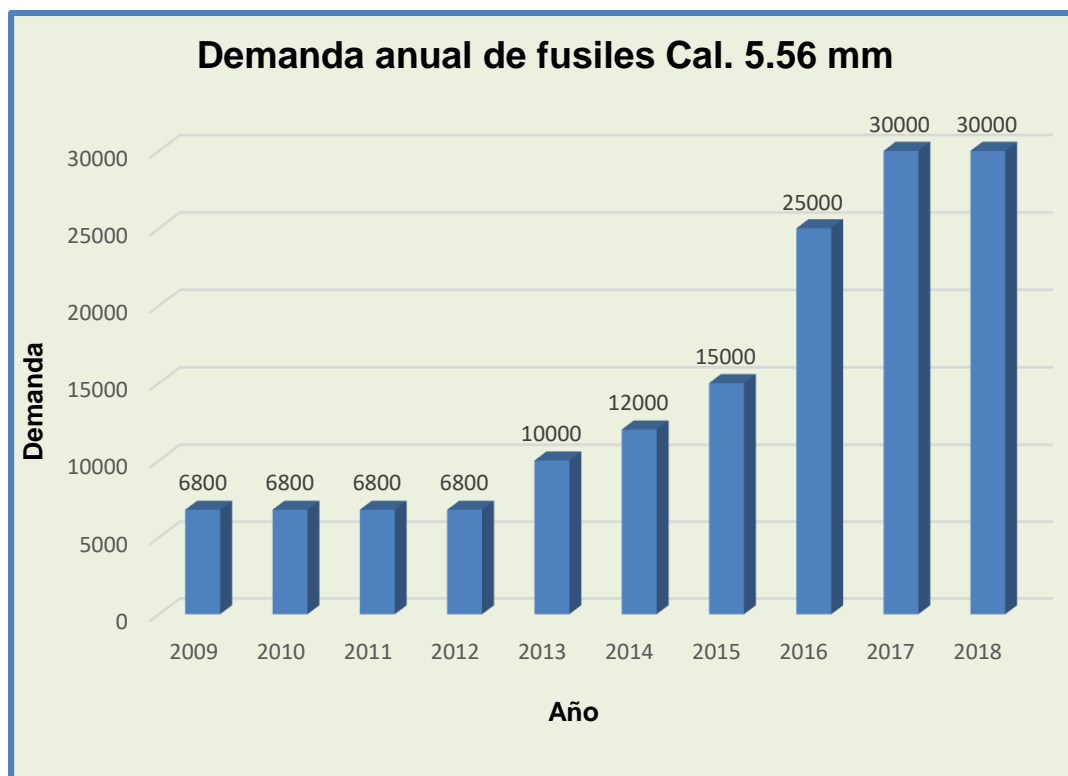
Con base en la problemática presentada, el objetivo de esta tesis es desarrollar e implementar un modelo de simulación del proceso de producción para la fabricación de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm que permita incrementar en 20% la productividad, a través de una redistribución física de la planta, a fin de apoyar la toma de decisiones de la Gerencia respecto al rediseño de la distribución física de los talleres y las acciones a tomar para mejorar dicha productividad.

Esta tesis está conformada por 4 capítulos. En el capítulo 1, se presenta el contexto y la problemática de la producción de piezas para la fabricación de un fusil Cal. 5.56 mm. En el capítulo 2, se presenta el marco teórico, para el cual se realizó una investigación acerca de los tipos de distribución de planta existentes en la industria manufacturera, así como algunos indicadores y técnicas que permiten medir la productividad en la industria. En el capítulo 3, se desarrolla e implementa un modelo de simulación del proceso de producción de piezas para el fusil Cal. 5.56 mm para probar escenarios que permitan incrementar en 20% la productividad. Posteriormente, con los resultados obtenidos del desarrollo e implementación del modelo de simulación, en el capítulo 4 se presenta un modelo de simulación con mejoras en la distribución física de la planta y las alternativas de solución que permitan incrementar en 20% la producción, así como sus principales ventajas y desventajas, que apoyen la toma de decisión de la Gerencia.

CAPÍTULO I. PROBLEMÁTICA DE LA PRODUCCIÓN DE PIEZAS PARA UN FUSIL

1.1. Contexto

La fábrica de armamento bajo estudio, produce diversos componentes para fusiles, en particular para un fusil Cal. 5.56 mm, de acuerdo con la información proporcionada por la Gerencia de la fábrica, actualmente la demanda en particular de este fusil, ha ido considerablemente en aumento en los últimos años, este incremento en la demanda se muestra en la Gráfica 1.



Gráfica 1.- Demanda anual de fusiles Cal. 5.53 mm.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Como se puede observar en la Gráfica 1, la demanda del fusil Cal. 5.56 mm aumentó en 5 000 fusiles en el año 2017 respecto al año 2016, lo que representa un incremento en la demanda de alrededor del 17%, manteniéndose esta misma demanda para el año 2018. Es así, que debido a este incremento en la demanda, la fábrica de armamento ha tenido dificultades para cumplir con sus metas de producción. Así mismo, de acuerdo con la Gerencia de la fábrica, se estima que la demanda para el año 2019, así como para los próximos 5 años se mantendrá constante con 30 000 fusiles.

El fusil Cal. 5.56 mm consta de 113 piezas ensambladas, mismas que se presentan en el anexo A, estas piezas son ensambladas en la fábrica de armamento para conformar al fusil como un producto final, actualmente en esa fábrica existe un área de ensamble e inspección final. Las piezas que conforman este fusil se dividen en dos grupos principales:

- a. Piezas maquinadas en la fábrica de refacciones para armamento.
- b. Piezas que se compran a proveedores externos conforme a diseño exclusivo de la fábrica, listas para ensamblarse.

La fábrica de armamento, para la producción de las piezas para el fusil, cuenta actualmente con una organización que está en función del tipo de máquinas (por proceso), es decir, se tienen talleres específicos para las distintas operaciones de manufactura, en el anexo B se muestra la distribución de planta actual. Para ensamblar un fusil se fabrican lotes de 100 piezas en cada taller, los cuales son transportados a los talleres subsecuentes para continuar con sus respectivos procesos de manufactura, una vez que cada lote completa su proceso de manufactura, se transporta a un almacén de piezas terminadas para su posterior ensamblaje con las piezas que se adquieren a proveedores externos. En esta distribución por proceso se tienen 6 áreas con diferentes departamentos, las cuales se enlistan en la Tabla 1.

Área	Departamento
Almacenamiento	Almacén de producto terminado
	Control de Calidad
Producción	Forjado
	Torneado
	Fresado
	Prensado
	Torneado C.N.C.
	Rectificado
	Tratamientos térmicos
	Soldadura
	Fresado C.N.C.
	Taladrado
	Resortes
	Limado
	Fosfatado y pintura
	Arenado
	Trowalizado
	Pulido
	Afilado
	Lavado y pavonado
	Plásticos

Área	Departamento
Servicios producción	Subestación eléctrica 1
	Subestación eléctrica 2
	Subestación eléctrica 3
	Sala de metrología 1
	Sala de metrología 2
	Compresoras
Servicios Personales	Vestidores
Administrativo	Oficinas (2do. Piso)
Mantenimiento	Taller de mantenimiento mecánico

Tabla 1.- Áreas y departamentos de la fábrica de componentes para armamento.

Fuente: Elaboración propia (2017).

Cabe mencionar que actualmente se tienen 19 Departamentos (procesos diferentes) para el área de producción y las máquinas han sido ubicadas de acuerdo al espacio existente y de acuerdo a la necesidad, no se siguió ningún parámetro de flujo, requerimientos de espacio o relación de actividades entre talleres.

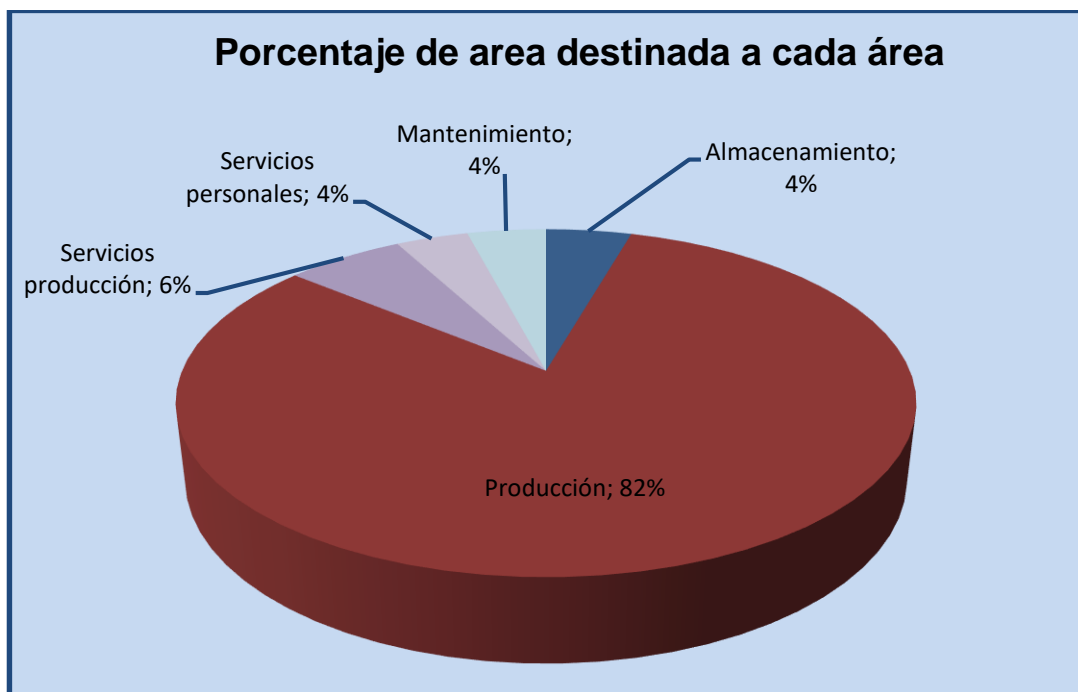
De acuerdo con la información obtenida de la distribución de planta actual, en la Tabla 2 se muestra el espacio físico designado para cada departamento de las áreas de producción, servicios a la producción, almacenamiento y pasillos destinados al tránsito de material en proceso.

Departamentos	Área (m ²)
Almacén de producto terminado	312.48
Control de Calidad	283.92
Forjado	719.34
Torneado	494.88
Fresado	433.52
Prensado	327.98
Torneado C.N.C.	628.23
Rectificado	561.28
Tratamientos térmicos	474.26
Soldadura	166.51
Fresado C.N.C.	401.92
Taladrado	302.25
Resortes	63.58
Limado	105.17
Fosfatado y pintura	171.70
Arenado	94.88
Trowalizado	59.28
Pulido	88.92
Afilado	141.67
Lavado y pavonado	118.56

Departamentos	Área (m ²)
Plásticos	75.21
Subestación eléctrica 1	40.25
Subestación eléctrica 2	89.13
Subestación eléctrica 3	46.00
Sala de metrología 1	105.94
Sala de metrología 2	57.88
Compresoras	91.81
Vestidores	264.80
Mantenimiento mecánico	288.30
Área de Maniobras	
Ensamble	1 601.6
Pasillos	1 985.15
TOTAL	10 596.4 m²

Tabla 2.- Área ocupada por departamento.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Gráfica 2, se muestra el porcentaje de área que se encuentra destinada para cada una de las áreas en la distribución física actual de la planta. En la misma podemos observar que el 82% del área de la distribución total de planta se encuentra destinada al área de producción.



Gráfica 2.- Porcentaje destinado a cada una de las áreas.
Fuente: Elaboración propia (2017).

1.2 Dimensiones de los equipos y maquinaria empleada

De acuerdo con la información proporcionada en la fábrica de armamento, respecto a las necesidades actuales de espacio para la maquinaria y equipo empleada en la producción, se elaboró el listado resumen que se presenta en la Tabla 3, donde se indican por departamentos la cantidad de máquinas y equipos que actualmente se tienen, así como el área y el volumen total por departamento.

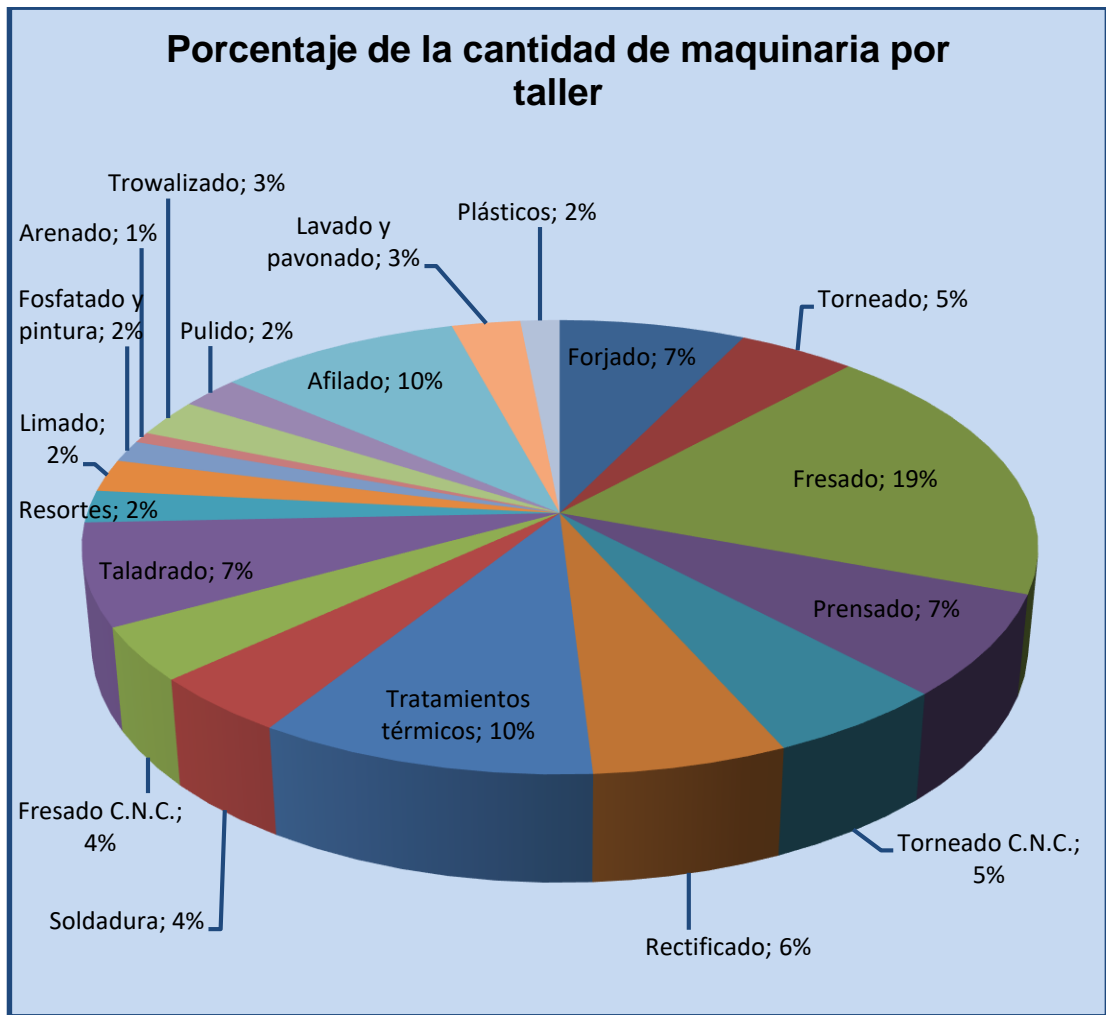
Departamento	Cantidad de Maquinaria	Área (m ²)	Volumen (m ³)
Forjado	19	121.86	287.80
Torneado	12	62.81	112.33
Fresado	49	160.31	288.55
Prensado	19	69.95	192.05
Torneado C.N.C.	14	190.84	414.77
Rectificado	15	117.77	250.09
Tratamientos térmicos	26	74.53	133.39
Soldadura	11	25.72	50.79
Fresado C.N.C.	10	114.37	3212.53
Taladrado	19	25.33	44.73
Resortes	6	4.05	5.07
Limado	6	5.74	7.10
Fosfatado y pintura	4	13.08	28.50
Arenado	2	25.00	75.00
Trowalizado	7	16.63	6.14
Pulido	6	5.12	7.06
Afilado	25	33.29	56.01
Lavado y pavonado	7	7.94	8.26
Plásticos	4	61.55	233.18
TOTAL	261	1135.89	5413.35

Tabla 3.- Maquinaria y equipo disponible por departamento considerando áreas y volúmenes totales.

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Gráfica 3, se muestra el porcentaje de la cantidad de maquinaria disponible en cada una de las áreas de producción respecto del total de maquinaria y equipo de la fábrica de armamento.

Como se puede observar, en la Tabla 3 y en la Gráfica 4, el taller de fresado tiene la mayor cantidad de maquinaria y equipo disponible con 49, lo que representa un 19% del total de la maquinaria y equipo disponible en la fábrica de armamento. Por otro lado, el área de arenado solamente cuenta con 2 equipos, representando apenas el 1% del porcentaje total de la maquinaria y equipo que se emplea en la fábrica.



Gráfica 3.- Porcentaje de la cantidad de maquinaria por taller.

Fuente: Elaboración propia (2017).

1.3 Determinación de requerimientos de flujo (Diagrama de espaguete).

Para la determinación de requerimientos de flujo se trazó un diagrama de espaguete, el cual es una representación gráfica para la visualización de flujos de material en un proceso, además ilustra los desperdicios de transporte y de movimiento que deben ser eliminados en la producción.

Una decisión importante para este tipo de distribución por proceso a tomar en cuenta, en este caso, será la disposición relativa de los diversos talleres, es decir, analizar la conveniencia de tener ciertos talleres más cerca de otros. Para tomar esta decisión se tomarán fundamentalmente la satisfacción del criterio de disminuir las distancias a recorrer, es decir, que el lograr disminuir las distancias ayudará a mejorar el tiempo de producción y como consecuencia aumentar la producción.

Como se mencionó anteriormente, en la Sección 1.1 de este capítulo, el fusil Cal. 5.56 mm consta de 113 piezas ensambladas, divididas en dos grupos: las piezas maquinadas en la fábrica de armamento y las que se adquieren con proveedores externos; para trazar el diagrama de requerimientos de flujo o diagrama de espagueti se deben tomar las piezas que se maquilan en la fábrica, en el Anexo C se muestra a detalle la totalidad de piezas, su origen y el número de procesos que requieren para ser ensambladas.

Debido a la gran cantidad de piezas que se maquilan en la fábrica de armamento (48 piezas), se decidió realizar una selección de las mismas, con la finalidad de determinar las piezas más representativas para el proceso de producción del fusil. Para poder seleccionar las piezas más representativas, que serán sujetas a estudio en esta tesis, se revisaron las hojas de ruta proporcionadas por la fábrica de armamento de la totalidad de las mismas; dicha selección se realizó bajo tres criterios:

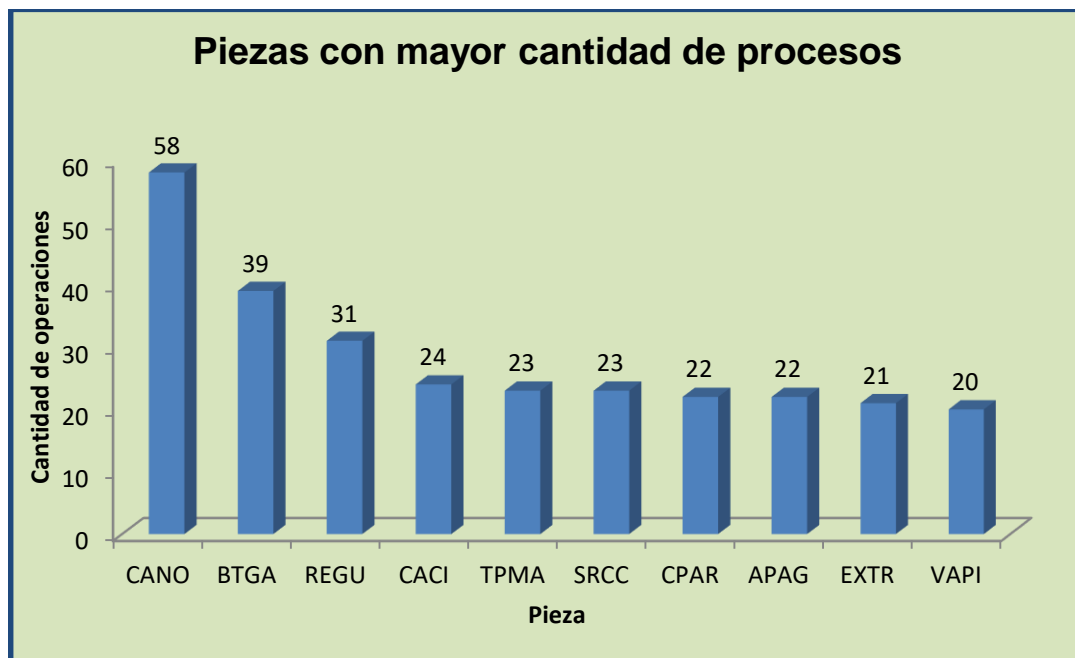
1. Piezas que requieren mayor cantidad de procesos.
2. Piezas que requieren mayor cantidad de traslados (cambios de taller) entre taller y taller, es decir, las piezas que recorren mayor distancia durante sus procesos de maquinado, antes de llegar al almacén de piezas terminadas.
3. Piezas que requieren mayor tiempo de mecanizado en sus procesos de maquinado.

Después de realizar la revisión de las hojas de ruta de la totalidad de las piezas maquinadas en la fábrica de armamento, se elaboró la Tabla 4, la cual muestra, ordenadas de mayor a menor las piezas que requieren mayor cantidad de procesos.

No.	No de pieza	Pieza	Cantidad de procesos
1	140	CANO	58
2	152	BTGA	39
3	35	REGU	31
4	270	CACI	24
5	190	TPMA	23
6	4	SRCC	23
7	195	CPAR	22
8	369	APAG	22
9	275	EXTR	21
10	205	VAPI	20

Tabla 4.- Piezas manufacturadas con mayor número de procesos.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Gráfica 4, se muestra la cantidad de procesos para cada una de las piezas que se indicaron en la tabla anterior, mismas que recorren la mayor cantidad de procesos en la fábrica.



Gráfica 4.- Refacciones manufacturadas con mayor número de operaciones.
Fuente: Elaboración propia (2017).

De acuerdo con la Tabla 4 y la Gráfica 4, se puede observar que de las 10 primeras piezas que requieren mayor cantidad de procesos, la pieza que recorre mayor cantidad de procesos es la pieza CANO con 58, después de esta, le siguen en cantidad de procesos las piezas BTGA y REGU con 39 y 31 procesos, respectivamente.

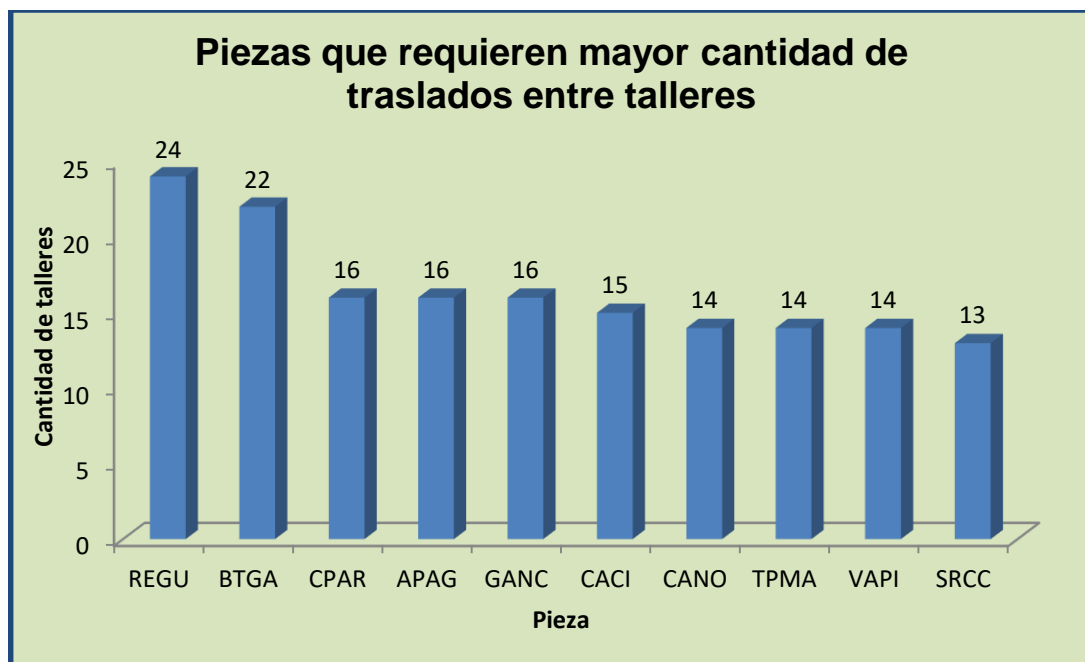
Se puede observar que a excepción de esas tres piezas, las demás piezas maquinadas en la fábrica de armamento requieren menos de 30 procesos, antes de llegar al almacén de piezas terminadas.

Por otro lado, también se identificaron en las hojas de ruta de las piezas maquinadas en la fábrica, aquellas 10 piezas que requieren mayor cantidad de traslados entre taller y taller (cambios de taller), hasta antes de llegar al almacén de piezas terminadas, dichas piezas se muestran en la Tabla 5, ordenadas de mayor a menor.

Con la información que se muestra en la Tabla citada anteriormente (Tabla 5), se elaboró la Gráfica 5, la cual muestra cada una de las 10 piezas que requieren la mayor cantidad de traslados de taller a taller en la fábrica, hasta antes de llegar al almacén de piezas terminadas.

No.	No. de Pieza	Pieza	No. de traslados entre talleres
1	35	REGU	24
2	152	BTGA	22
3	195	CPAR	16
4	369	APAG	16
5	806	GANC	16
6	270	CACI	15
7	140	CANO	14
8	190	TPMA	14
9	205	VAPI	14
10	4	SRCC	13

Tabla 5.- Piezas maquinadas que requieren un mayor número de traslados entre talleres.
Fuente: Elaboración propia (2017).



Gráfica 5.- Piezas manufacturadas que requieren mayor cantidad de traslados entre talleres.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Se observa, de la información proporcionada en la Tabla 5 y la Gráfica 5, que la pieza que requiere mayor cantidad de traslados entre taller y taller en la fábrica es la pieza REGU con 24 traslados, seguida de la pieza BTGA con 22 y las piezas CPAR, APAG y GANC con 16 traslados entre talleres cada una.

Así mismo, la fábrica de armamento proporcionó para su estudio y análisis, el tiempo de mecanizado para cada de las operaciones de la totalidad de las piezas maquinadas en su fábrica; analizada esta información se elaboró la Tabla 6, donde se observan las 10 piezas que requieren mayor tiempo de mecanizado en minutos por lotes de 100 piezas, que es la manera en que se fabrican en cada taller, tal y como se indicó en la Sección 1.1.

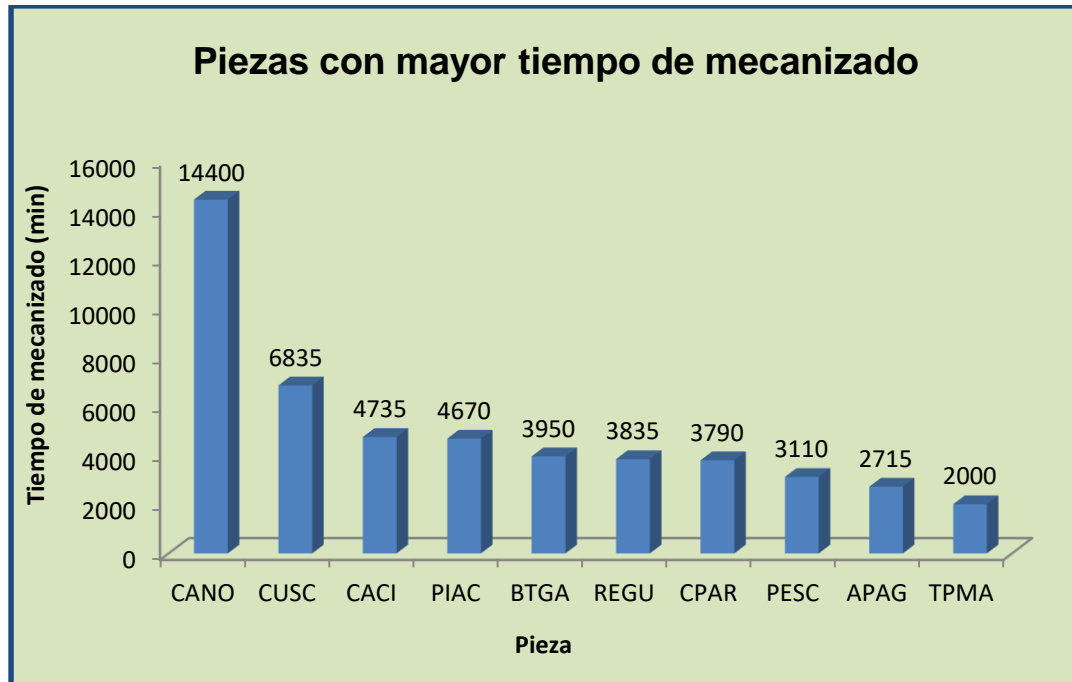
No.	No. de Pieza	Pieza	Tiempo de mecanizado por lotes de 100 piezas (min)
1	140	CANO	14 400
2	180	CUSC	6 835
3	270	CACI	4 735
4	25	PIAC	4 670
5	152	BTGA	3 950
6	35	REGU	3 835
7	195	CPAR	3 790
8	90	PESC	3 110
9	369	APAG	2 715
10	190	TPMA	2 000

Tabla 6.- Piezas maquinadas con mayor tiempo de maquinado.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Gráfica 6, elaborada con base en la información de la tabla anterior, se muestran las 10 piezas que requieren mayor tiempo de mecanizado en sus operaciones.

De la información mostrada en la Tabla 6 y la Gráfica 6, se puede observar que cada lote de 100 piezas para la pieza CANO requiere 14 400 minutos, siendo la pieza que requiere mayor tiempo de mecanizado de la totalidad de las manufacturadas por la fábrica de armamento; esta pieza es determinante para la fabricación de fusiles, ya que al ser la pieza que requiere mayor tiempo de fabricación, supondría que los demás lotes de piezas tendrían que esperar tiempo en el almacén antes de ser ensamblados, ya que mientras no se concluya un lote de esta pieza no es posible empezar a ensamblar los fusiles.

También podemos ver que el tiempo de mecanizado, por lote de 100 piezas, para la pieza CANO es poco más del doble que el de la pieza CUSC, que como se puede observar, es la segunda pieza que requiere mayor tiempo de mecanizado, por lo cual se podría decir en teoría, que mientras se fabrica un lote de la pieza CANO, se podrían fabricar al menos 2 lotes para la pieza CUSC e inclusive hasta más lotes para las demás piezas.



Gráfica 6.- Piezas manufacturadas con mayor tiempo de mecanizado.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Con base en la información de las Tablas y Gráficas 4, 5 y 6, se elaboró una tabla comparativa (Tabla 7) para seleccionar las piezas más representativas para el proceso de fabricación del fusil Cal. 5.56 mm, en la cual se encuentran agrupadas las 8 piezas que tienen mayor número de operaciones, que requieren mayor cantidad de traslados entre taller y taller y que requieren mayor tiempo de mecanizado, mismas que serán sujeto de estudio para esta tesis.

De acuerdo con la información mostrada en la tabla anteriormente citada, se puede observar que las piezas: CANO, BTGA, REGU, CACI y CPAR; las cuales se encuentran señaladas con colores (azul, naranja, verde, morado, y rojo respectivamente) son aquellas que cumplen con los criterios ya señalados, por lo tanto y para efectos de estudio en esta tesis, se tomarán como las piezas representativas del proceso de fabricación del fusil Cal. 5.56 mm (véase Anexo D).

No.	Piezas con mayor cantidad de operaciones	Piezas que requieren mayor cantidad de traslados entre talleres	Piezas que requieren mayor tiempo de mecanizado por lotes de 100 piezas
1	CANO	REGU	CANO
2	BTGA	BTGA	CUSC
3	REGU	CPAR	CACI
4	CACI	APAG	PIAC
5	TPMA	GANC	BTGA
6	SRCC	CACI	REGU
7	CPAR	CANO	CPAR
8	APAG	TPMA	PESC

**Tabla 7.- Tabla comparativa de piezas representativas para un fusil Cal. 5.56 mm.
Fuente: Elaboración propia (2017).**

Se puede observar en la Tabla 7, que la pieza CANO es la pieza que requiere mayor cantidad de operaciones, debido esa gran cantidad (58 operaciones), por lo tanto requiere mayor tiempo de mecanizado para poder ser ensamblada. La pieza CACI se encuentra en una situación similar, pero en menor medida, debido a que es la cuarta que requiere mayor cantidad de operaciones y como consecuencia es la tercera con mayor tiempo de mecanizado.

También se puede ver que la pieza BTGA es la segunda que requiere mayor cantidad de operaciones. A pesar de esto, no requiere tanto tiempo de mecanizado; sin embargo, requiere también trasladarse gran cantidad de veces (22 veces) entre taller y taller; por lo tanto será conveniente la cercanía entre un taller y otro para disminuir el desperdicio por transporte. La pieza REGU, se encuentra en una situación similar que la pieza BTGA, sólo que esta requiere 8 operaciones menos y requiere 2 traslados más entre taller y taller.

Por otro lado, la pieza CPAR es la séptima con mayor cantidad de operaciones y también en tiempo de mecanizado. Sin embargo, es la tercera que requiere mayor número de traslados entre taller y taller, por lo tanto, como ya se mencionó, al igual que para las piezas BTGA y REGU sería conveniente la cercanía entre ciertos talleres.

Un aspecto importante a considerar para estas piezas, son los requerimientos de flujo, ya que como se mencionó anteriormente estas son las que requieren mayor número de traslados entre talleres.

Para conocer dichos requerimientos de flujo para todas estas piezas seleccionadas, se trazaron los diagramas que se presentan en las Figuras de la 1 a la 5, dichos diagramas se conocen también como diagramas de espagueti, como refiere Wilson (2010) es una herramienta poderosa para visualizar movimiento y transporte a través del proceso. Cuando los recorridos son identificados, es fácil identificar oportunidades para reducir estos desperdicios.

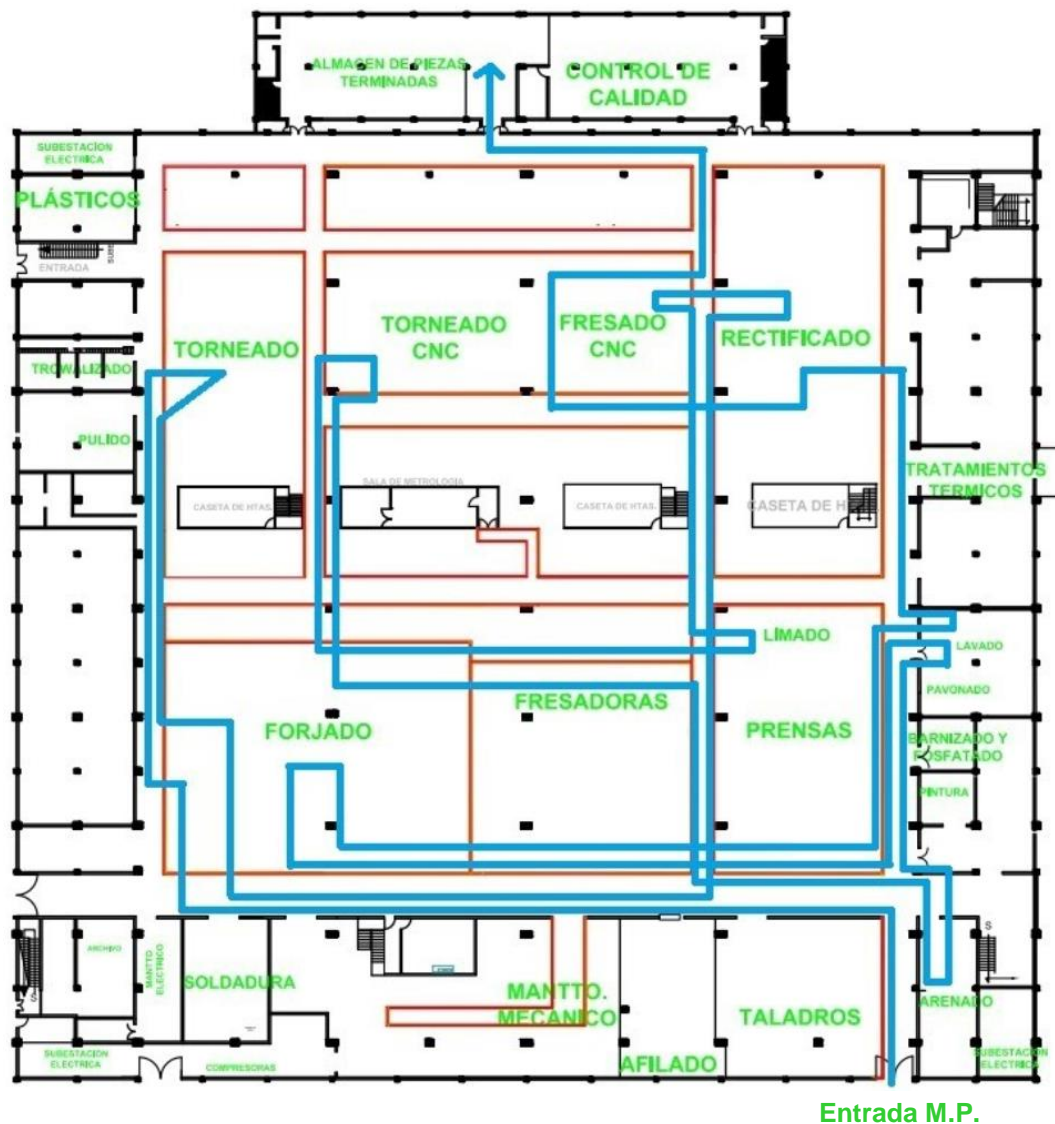


Fig. 1.- Diagrama de espagueti para la pieza CANO.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 1, observamos el recorrido que realiza la pieza CANO a través de los diferentes talleres para que se le realicen los procesos necesarios, es decir, desde su entrada como materia prima hasta convertirse en una pieza terminada lista para ensamblarse, como se observa de tablas anteriores (Tablas 4 y 5) esta pieza requiere trasladarse 14 veces entre talleres para completar 58 operaciones, completando una distancia total recorrida aproximada de 1 014.96 m a través de la planta. Inclusive se observa que después de haberse procesado en algún taller esta pieza, después de completar otros procesos, vuelve a regresar al mismo para realizar otros procesos más, pero en maquinaria y equipo distinto.

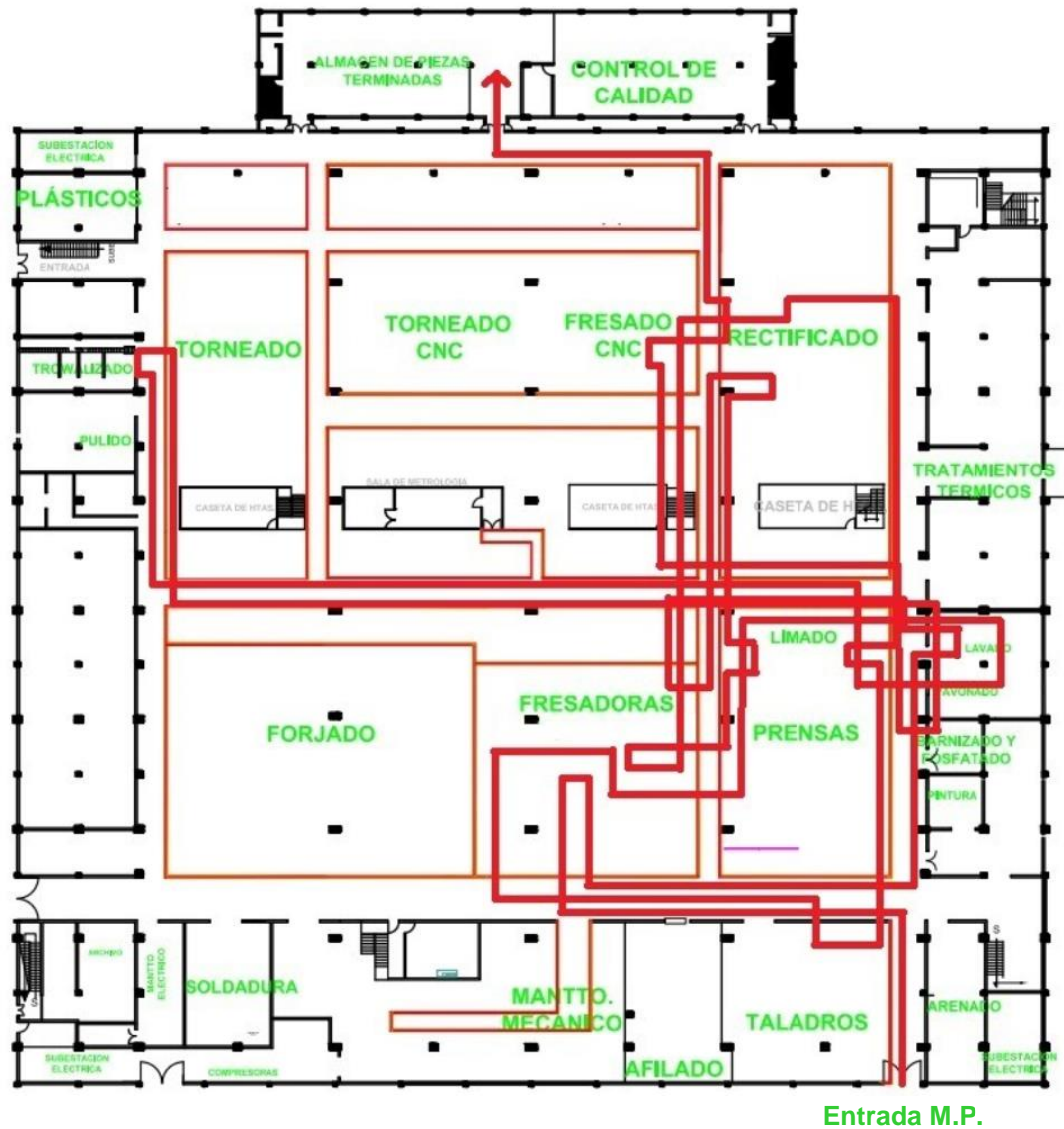


Fig. 2.- Diagrama de espagueti para la pieza BTGA.
 Fuente: Elaboración propia (2017).

De manera similar, en la Figura 2, se observa el flujo del proceso que realiza la pieza BTGA a través de diversos talleres, esta pieza tiene 39 operaciones y requiere trasladarse 22 veces entre taller y taller. La distancia total recorrida aproximada es de 1 046.04 m.

De igual forma se observa que después de haberse procesado en algún taller, esta pieza después de completar otros procesos, vuelve a regresar al mismo para realizar otros procesos más, pero en maquinaria y equipo distinto. Para esta pieza es más notoria dicha situación, ya que de acuerdo con las hojas de ruta del proceso, requiere trasladarse 7 veces del taller de limado al taller de fresado.

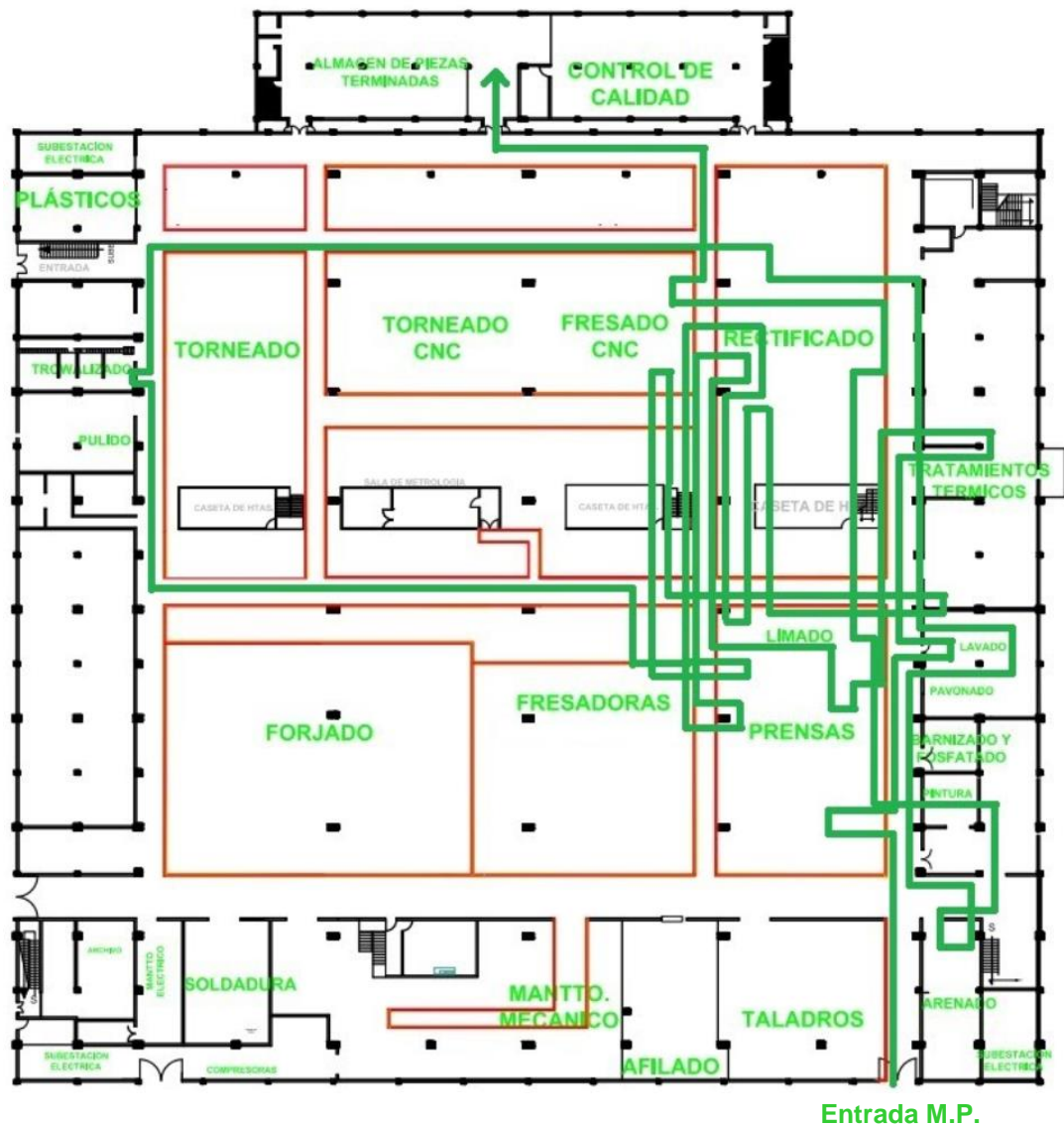


Fig. 3.- Diagrama de espagueti para la pieza REGU.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 3, se observa el flujo del proceso de la pieza REGU a través de diversos talleres, esta pieza consta de 31 operaciones y realiza tránsitos entre taller y taller 24 veces. La distancia total recorrida estimada para esta pieza es de 1 161.23 m.

Así mismo, se observa que después de haberse procesado en algún taller esta pieza, después de completar otros procesos, vuelve a regresar al mismo para realizar otros procesos más, pero en maquinaria y equipo distinto. Para esta pieza es más notoria dicha situación, ya que de acuerdo con las hojas de ruta del proceso, requiere trasladarse 6 veces entre el taller de limado y el taller de rectificado.

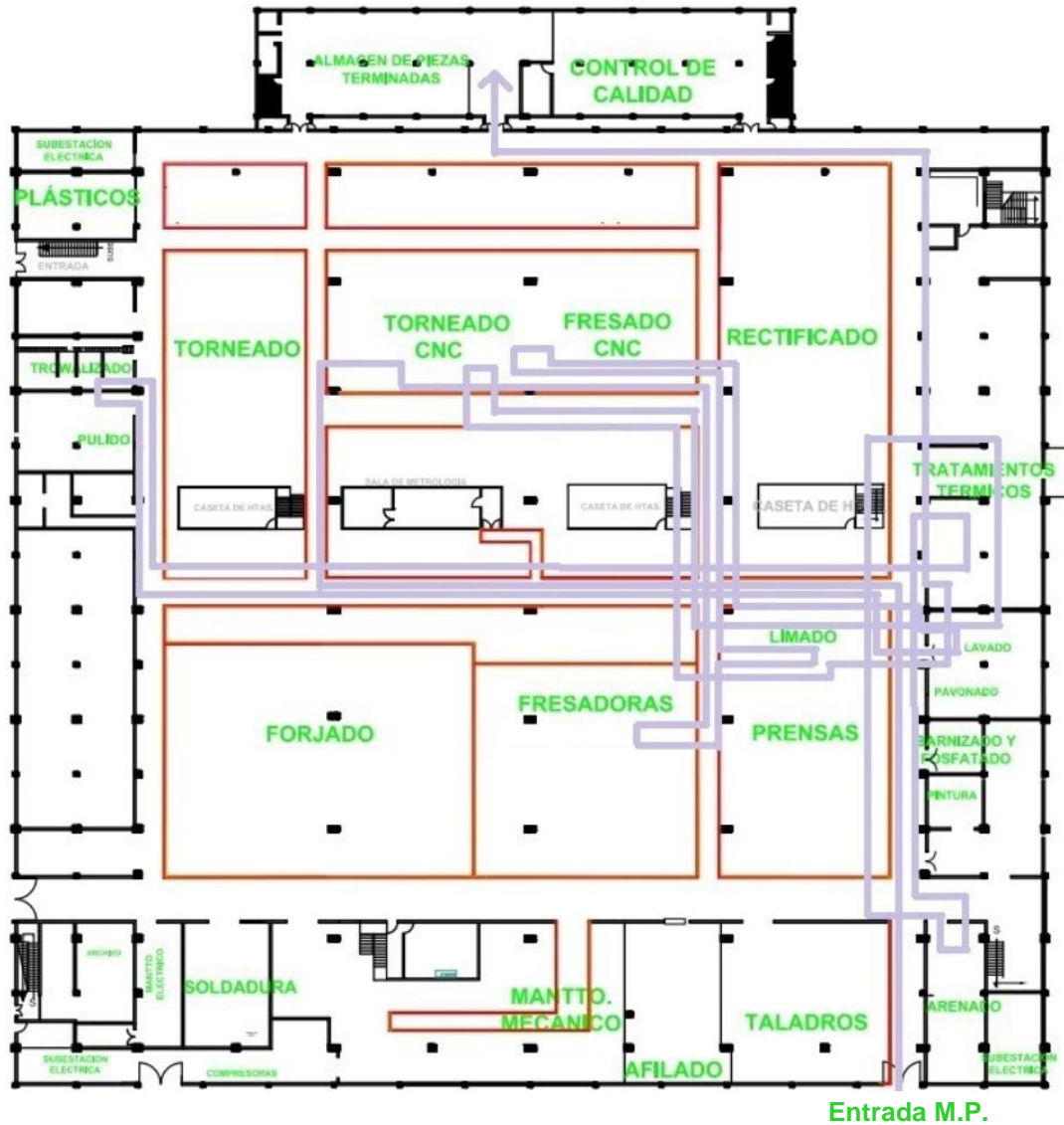


Fig. 4.- Diagrama de espagueti para la pieza CACI.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 4, se observa el flujo del proceso para la pieza CACI a través de diversos talleres, la cual consta de 24 operaciones y realiza recorridos de taller a taller en 15 ocasiones. La distancia total recorrida aproximada para esta pieza es de 893.65 m.

Esta pieza no presenta la misma situación que las anteriores, ya que de acuerdo con las hojas de ruta del proceso, sólo requiere trasladarse 2 veces entre el taller de arenado y el taller de tratamientos térmicos.

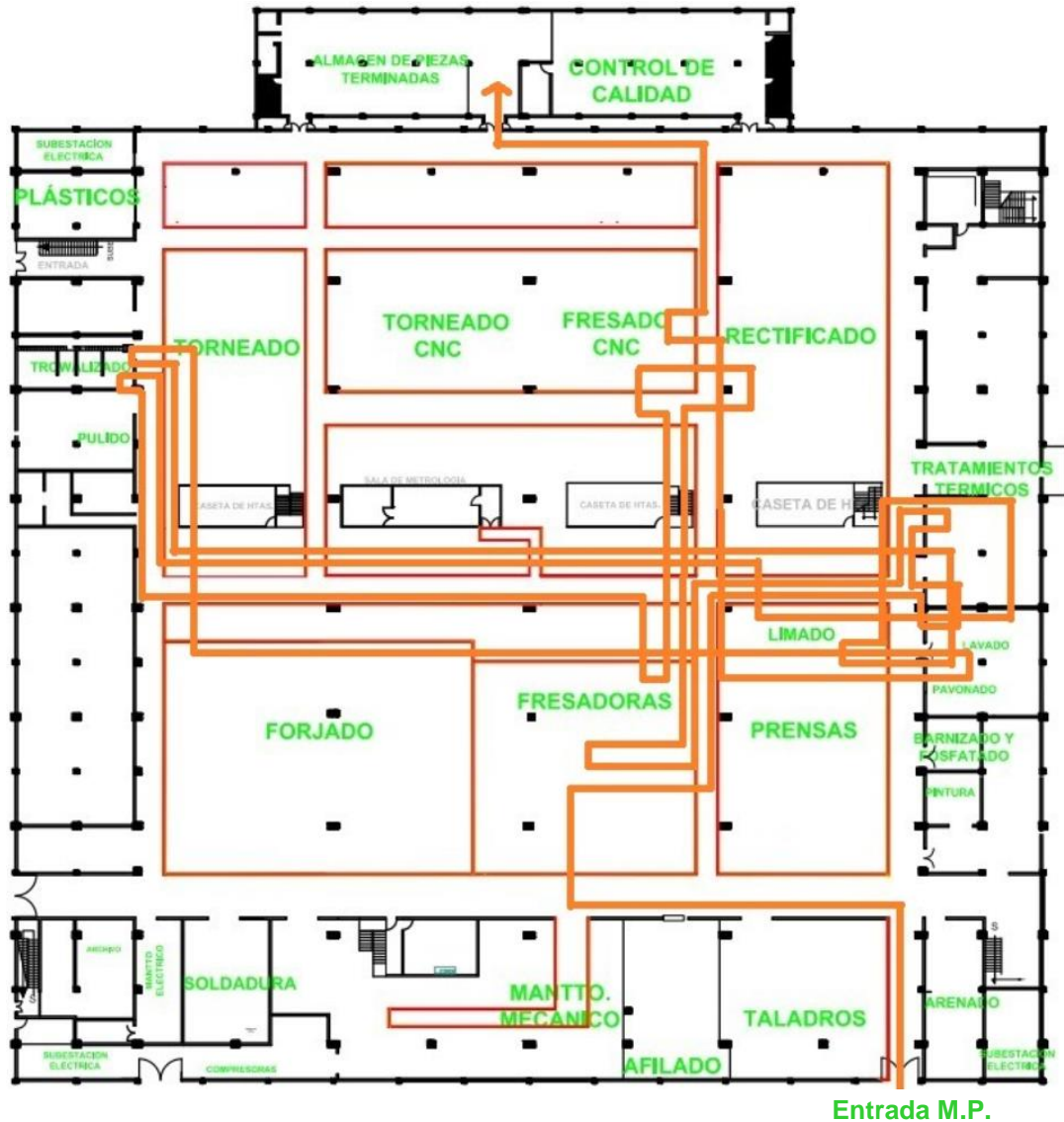


Fig. 5.- Diagrama de espagueti para la pieza CPAR.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 5, se observa el flujo del proceso para la pieza CPAR a través de los diferentes talleres, la cual consta de 22 operaciones y requiere trasladarse de taller a taller 16 veces. La distancia total recorrida aproximada para esta pieza es de 921.48 m.

Esta pieza tampoco presenta la misma situación que la de las piezas CANO, BTGA y REGU, ya que de acuerdo con las hojas de ruta del proceso, sólo requiere trasladarse 2 veces entre el taller de trowalizado y el taller de lavado.

La Tabla 8, muestra la distancia total recorrida aproximada por las piezas elegidas como las más representativas para el proceso de fabricación del fusil Cal. 5.56 mm, ordenadas en distancia, de mayor a menor.

Pieza	Distancia recorrida aproximada (m)
REGU	1 161.23
BTGA	1 046.04
CANO	1 014.96
CPAR	921.48
CACI	893.65
TOTAL	5 037.36 m

Tabla 8.- Distancia recorrida por las piezas elegidas como las más representativas.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Se puede observar en la tabla anterior, que la pieza REGU es la que recorre mayor distancia y en contraparte la pieza CACI es la que recorre la menor distancia en el proceso. Además, las piezas REGU, BTGA y CANO recorren más de un kilómetro de distancia para poder completar sus procesos de manufactura. Mientras que las piezas CPAR y CACI recorren una distancia menor a un kilómetro pero mayor a medio kilómetro.

Como podemos observar en los diagramas dibujados de requerimientos de flujo (diagramas de espaguete) y con la información de la Tabla 8, estas piezas tienen que recorrer una cantidad considerable en distancia dentro de la planta para ser manufacturadas completamente, antes de ser ensambladas, lo cual impacta directamente en el tiempo de fabricación y contribuye al desperdicio del transporte, el cual no es una actividad que genera valor agregado al producto final.

1.4 El problema por resolver.

Debido al incremento en la demanda de fusiles indicada en la Sección 1.1, cada año se tienen dificultades para cumplir en tiempo con los programas de producción del fusil Cal. 5.56 mm debido a que se tiene una capacidad limitada de producción,

existe una gran cantidad de traslados entre talleres y se llevan a cabo largos recorridos entre los diferentes procesos.

Con objeto de cumplir los programas de producción, la Gerencia ha tomado medidas para poder cumplir con esa demanda, tales como: incremento de horas de trabajo en las jornadas laborales (de 7 horas a 9 horas), incremento de turnos de trabajo (de 2 turnos a 3 turnos) y el empleo de máquinas con cierto grado de obsolescencia que ya no se tenían contempladas para los procesos productivos, pero sin tener conocimiento cuál de estas soluciones propuestas estaría resolviendo el problema de la capacidad de producción.

Debido a lo anterior, según se ha observado por parte de la Gerencia de la fábrica, que algunas de las consecuencias de estas medidas tomadas han deteriorado la motivación y estado de ánimo del personal operativo ya que se han presentado algunos casos de cansancio excesivo, lo cual disminuye la productividad al no sentirse perfectamente bien para poder desempeñar sus labores. Por otro lado, el dedicar menor tiempo a las actividades recreativas con la familia, descansar y atender asuntos personales ha generado estrés, incrementando en esa medida los permisos para atender algunos de estos asuntos.

También se ha observado que el emplear equipos y maquinas convencionales hace más lento los procesos y con una calidad dependiente del operador, la cual en ocasiones pudiera ser menor a la especificada para los requerimientos del producto final.

1.5 El objetivo general

Desarrollar e implementar un modelo de simulación del proceso de producción para la fabricación de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm que permita simular escenarios para incrementar en 20 % la productividad, a través de una redistribución física de la planta, a fin de satisfacer la demanda de piezas para el fusil, que apoye la toma de decisiones de la Gerencia respecto al rediseño de la distribución física de los talleres y las acciones a tomar para mejorar dicha productividad.

1.6 Objetivos específicos

- Revisar la literatura sobre las distribuciones de planta para los procesos de manufactura, metodologías de simulación y técnicas para incrementar la producción, a fin de presentar el marco teórico.

- Desarrollar e implementar en el software Anylogic™ un modelo de simulación del proceso de fabricación de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm y analizar la situación actual de la planta.
- Diseñar la distribución de planta para la fábrica de armamento y proponer alternativas de solución para incrementar un 20% la producción de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm.
- Desarrollar e implementar en el software Anylogic™ un modelo de simulación con las mejoras propuestas que permitan validar y evaluar las alternativas de solución para incrementar en 20% la producción.
- Concluir y recomendar a la Gerencia de la fábrica de armamento, respecto a la propuesta para incrementar en 20% la producción de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm, a fin de apoyarla en la toma de decisiones.

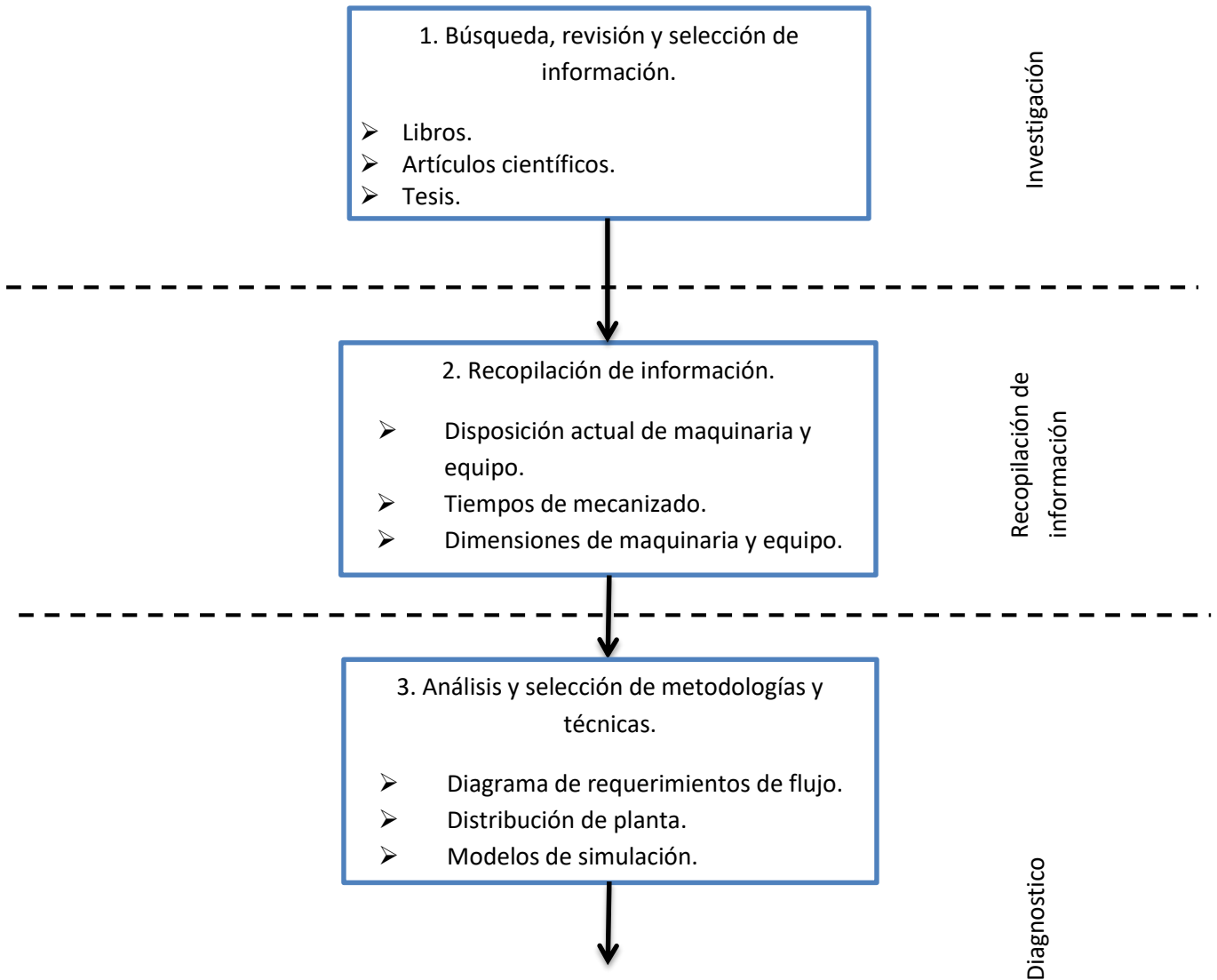
1.7 Metodología de investigación

Para el desarrollo de esta investigación, se presentan a continuación los pasos a seguir:

1. Investigar y revisar la literatura acerca de los tipos de distribución de planta, metodologías de simulación y técnicas para incrementar la producción.
2. Recopilar la información respecto a la maquinaria, equipo, tiempos de mecanizado y distribución actual de la fábrica de armamento para la producción de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm en lo que permita la Gerencia.
3. Analizar y seleccionar la metodología de simulación adecuada para la distribución de planta, modelos de simulación y técnicas para incrementar la producción acordes con la problemática a resolver.
4. Desarrollar el modelo de simulación del proceso de producción actual de piezas para el fusil Cal. 5.56 mm basado en procesos.
5. Realizar el análisis de la situación actual del proceso de fabricación de piezas para un fusil cal. 5.56 mm a partir del modelo de simulación.
6. Proponer y evaluar alternativas de solución para incrementar la producción del proceso de fabricación de un fusil Cal. 5.56 mm.

7. Elaborar la propuesta de diseño para una nueva distribución de planta, que permita reducir distancias de recorrido de las piezas en proceso, así como disminuir su tiempo de producción.
8. Elaborar un modelo de simulación con las mejoras propuestas que permita validar y evaluar las alternativas de solución para incrementar en 20% la producción.
9. Concluir y recomendar con base a los resultados obtenidos en el análisis y evaluación a la Gerencia, a fin de que le permita ayudar a tomar una decisión para aumentar la producción de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm.

En la Figura 6, se muestran las actividades a desarrollar para cada una de las etapas de la metodología propuesta anteriormente.



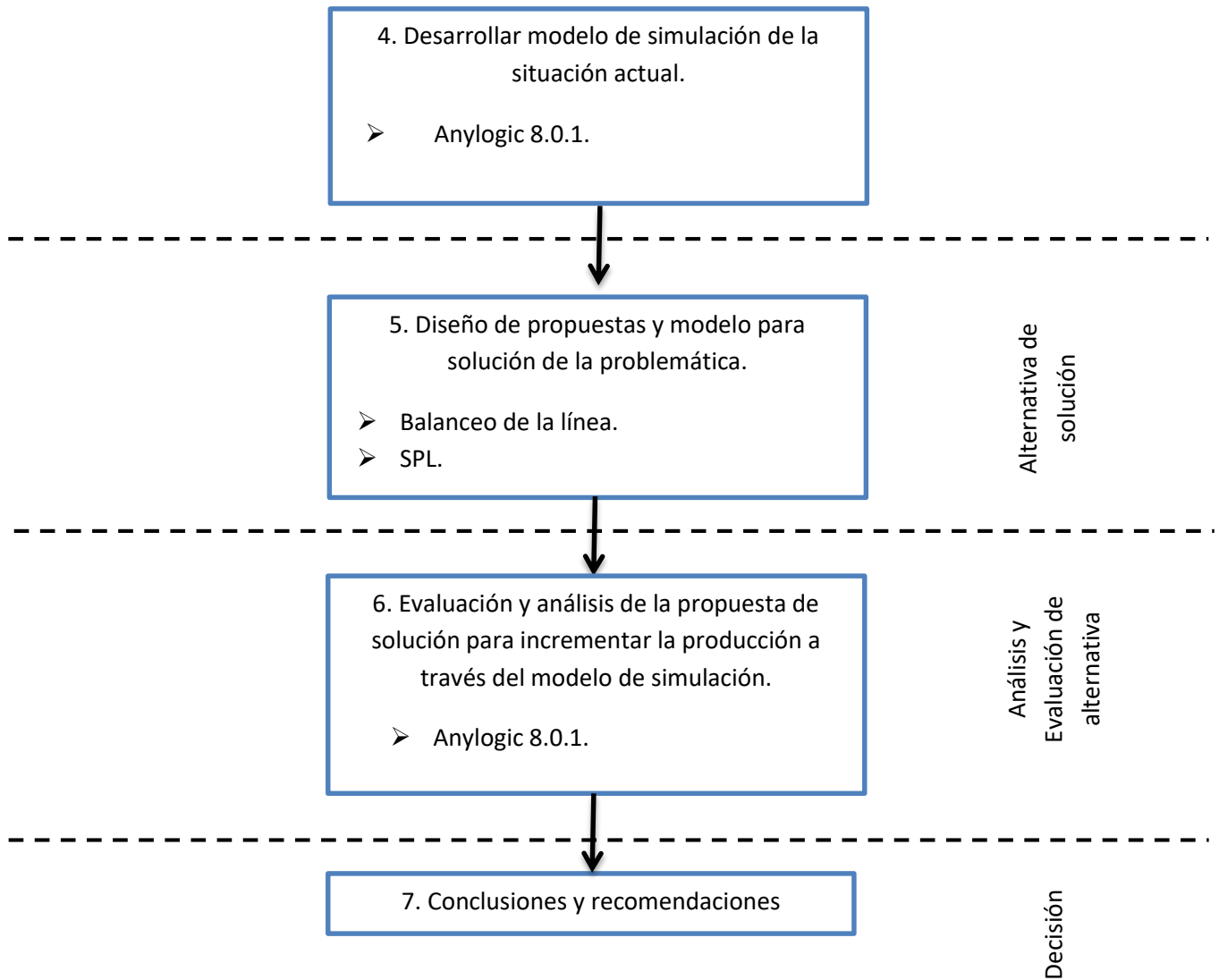


Fig. 6.- Actividades para la metodología propuesta.
Fuente: Elaboración propia (2017).

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LA LITERATURA Y MARCO TEÓRICO

2.1 Distribución de Planta

La distribución en planta, es un tema al que se está dando cada vez más importancia cuando de mejoramiento e incremento de productividad se habla. Es en el advenimiento de la revolución industrial en el que la disposición de la planta toma carácter de importancia como objetivo económico para los dueños de las fábricas y es así que con el paso del tiempo y la especialización del trabajo se empezaron a crear grupos de especialistas para estudiar los problemas de la distribución de planta, con ellos llegaron principios y se documentaron técnicas que hoy en día sirven de base para planear distribuciones eficientes y que han hecho de esta disciplina una de las más importantes en los procesos productivos (adaptado de Chaparro, Santos Kelly, 2014).

Como refiere Rajender (2006), en muchas de las empresas manufactureras la mayor parte del gasto de tiempo en el trabajo lo constituye el tiempo de transporte y de espera, también menciona que para la reducción de estos tiempos de espera de trabajos/partes y de transporte, es necesario tener el diseño adecuado y el procedimiento de programación adecuada en las actividades.

De acuerdo con Rajender (2006), la distribución de la planta comienza con el diseño de la posición del edificio de la fábrica y va hasta la ubicación y el movimiento de una mesa de trabajo de una máquina, véase Figura 8. A cada instalación se les provee un lugar apropiado dentro de la planta a todas las instalaciones empleadas en los procesos de fabricación, tales como equipos, materias primas, maquinaria, herramientas, accesorios, trabajadores, etc.

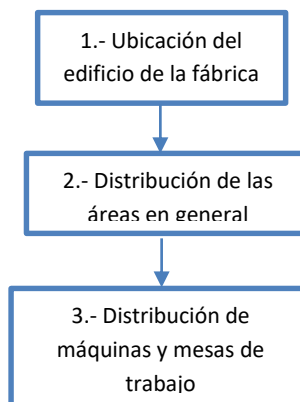


Fig. 7.- Fases de la distribución de planta.
Fuente: Elaboración propia (2017).

De acuerdo con Rajender (2006), el diseño de la planta de una organización industrial juega un papel importante en la administración científica y es definida como:

"Diseño de la planta es una disposición funcional sistemática y eficiente de los diversos departamentos, máquinas, herramientas, equipos y otros servicios de soporte de una organización industrial que facilite el correcto procesamiento del producto propuesto o realizado de la manera más eficaz, más eficiente y de la forma más económica en el menor tiempo posible".

Sin embargo, la distribución de planta también implica mejoras menores, en el diseño actual, la expansión de la planta, re-diseño de la planta existente y el diseño de una nueva planta propuesta. Cuando existe una mejor distribución de la planta, el manejo de materiales y el transporte se reduce al mínimo y a su vez se tendrían estos aspectos eficazmente controlados. Los cuellos de botella y puntos de congestión se eliminan de manera que los productos en proceso, componentes y materias primas se mueven rápidamente de un lugar de trabajo a otro. El objetivo principal de la distribución de la planta es maximizar los beneficios mediante la creación de las mejores disposiciones posibles de todas las instalaciones de la planta para obtener la máxima ventaja de reducir el costo de producción del producto propuesto (adaptado de Rajender, 2006).

2.2 Factores a considerar en la distribución de planta

Rajender (2006), también plantea que un buen diseño de planta debe cumplir los siguientes requisitos básicos:

- Integración de las instalaciones en términos de personas, máquinas y material.
- Mínima circulación de personal de producción y manipulación de materiales.
- Flujo suave y continuo de la producción o fabricación con los menores posibles cuellos de botella y puntos de congestión.
- La utilización del espacio en el piso debe ser óptima tanto como sea posible.
- El lugar de trabajo debe estar libre de contaminación y las condiciones de trabajo seguras deben prevalecer en cada taller de la planta.
- El manejo de la materia prima, producto terminado y semiterminado debe ser abordado de manera óptima y eficaz.

- La disposición de los diseños de plantas deben ser flexibles para facilitar los cambios en los requisitos de producción.
- Debe haber mejor ambiente de trabajo en términos de iluminación y ventilación apropiada y estar provista de otros servicios como el agua potable para el bienestar del personal de la planta.

El primer paso para realizar la disposición de plantas industriales es el establecimiento de los requerimientos que se van a tomar en cuenta para generar alternativas de diseño las cuales serán evaluadas posteriormente (Tompkins 1984).

De acuerdo con Tompkins (1984), para la determinación de los requerimientos se debe considerar:

- **Flujo:** “depende de los tamaños de los lotes, los tamaños de las cargas unitarias, el equipo y las estrategia de manejo de materiales, la disposición y la configuración del edificio”.
- **Espacio:** “es una función de los tamaños de los lotes, el sistema de almacenamiento, el tipo y el tamaño del equipo de producción, la disposición, la configuración del edificio, las políticas de cuidado y organización del edificio, el equipo para manejo de materiales y el diseño de las oficinas, la cafetería y los vestidores”.
- **Relaciones de las actividades:** “se define mediante el flujo del material o del personal, las consideraciones ambientales, la estructura organizacional, la metodología de mejoramiento continuo, los aspectos de control y los requerimientos de procesos”.

Estos autores, también indican que en la determinación de los requerimientos cuantitativos y cualitativos de relaciones de actividades es de bastante ayuda la definición de tablas y matrices como las que se presentan a continuación:

- **Tabla de Flujo Desde-Hacia:** No necesariamente se asumen trayectorias de viaje simétricas.
- **Tabla Flujo Entre:** Asume viajes simétricos por lo cual sólo la porción superior o inferior de la tabla se necesita.
- **Tabla de Relaciones:** identifica la “importancia” de la cercanía entre departamentos y se determina a través de entrevistas o encuestas con personas y administradores de cada departamento.

2.3 Principios de distribución de planta

En la literatura diversos autores han planteado que la distribución de planta está basada en unos principios, los cuales pretenden obtener beneficios plenos para las partes que intervienen en el sistema de producción, y lograr el tratamiento adecuado de los materiales y equipos. Según De la Fuente García (2005), los seis principios en que se basa la distribución de planta son los siguientes:

1. Principio de la satisfacción y de la seguridad: a igualdad de condiciones, será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los trabajadores.
2. Principio de la integración de conjunto: la mejor distribución es la que integra a los hombres, materiales, maquinaria, actividades auxiliares y cualquier otro factor, de modo que resulte el compromiso mejor entre todas estas partes.
3. Principio de la mínima distancia recorrida: a igualdad de condiciones, será siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material sea la menor posible.
4. Principio de la circulación o flujo de materiales: en igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución que ordene las áreas de trabajo de modo que cada operación o proceso esté en el mismo orden o secuencia en que se transformen, tratan o montan los materiales.
5. Principio del espacio cúbico: la economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto en horizontal como en vertical.
6. Principio de la flexibilidad: a igualdad de condiciones será siempre más efectiva la distribución que puede ser ajustada o reordenada con menos costos e inconvenientes.

2.4 Tipos de distribución de planta

Las decisiones de distribución incluyen la mejor colocación de máquinas (en situaciones de producción), oficinas y escritorios (en caso de oficinas), o en centros de servicio (en entornos de hospitales o tiendas departamentales). Una distribución efectiva facilita el flujo de materiales, personas e información entre las áreas (Heizer-Render, 2009).

A continuación se explican los diferentes tipos de distribución de planta, mismos que se clasifican en cuatro categorías principales, así también se señalan las ventajas y desventajas principales.

2.4.1.- Distribución por proceso (job-shop layout)

En este tipo de arreglos de diseño de máquinas similares, las instalaciones de producción y operaciones de fabricación se agrupan de acuerdo con sus funciones. Máquinas y herramientas de un tipo se colocan juntos para que todas las operaciones similares se lleven a cabo siempre en el mismo lugar (Rajender, 2006).

Como indica Rajender (2006), este tipo de diseño se prefiere normalmente para las industrias involucradas en tipos de producción o fabricación en órdenes de trabajo y/o actividades de mantenimiento de tipo no-repetitiva. Este diseño no tiene que ser cambiado cada vez que existan cambios de producto o componente. También la descompostura de cualquier máquina no afecta a la producción. Este tipo de disposición es muy adecuada para la producción por lotes. Generalmente una distribución orientada a productos de bajo volumen de producción y que requieren de alta variedad. En la Figura 10, se muestra una distribución de planta por proceso.

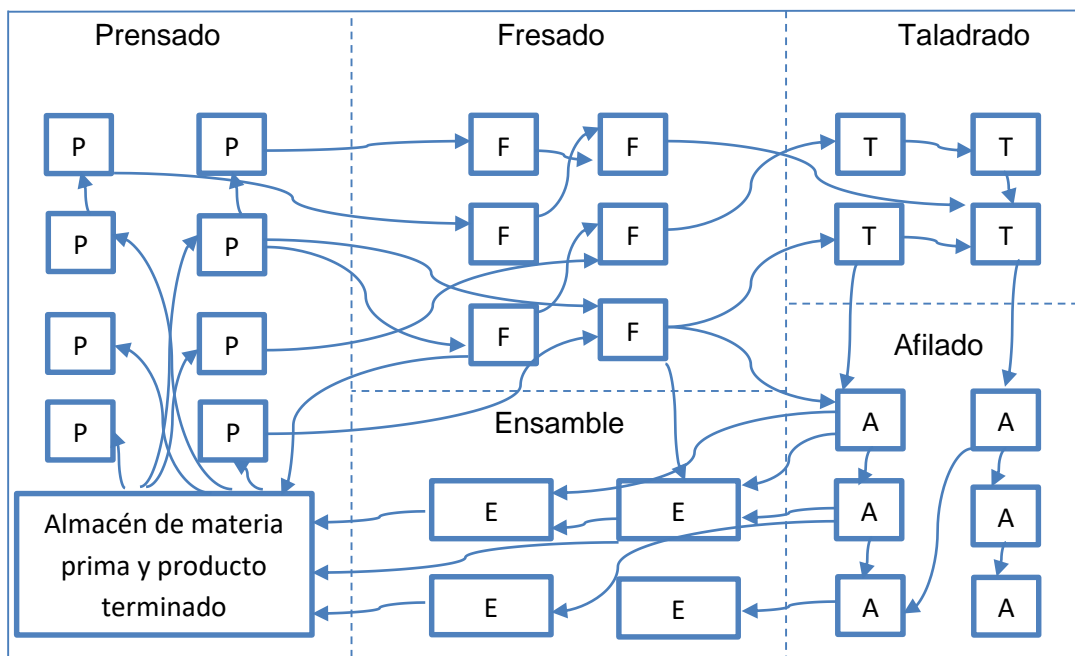


Fig. 8.- Distribución de planta por proceso (job-shop layout).
Fuente: Adaptado de Rajender (2006).

De acuerdo con Rajender (2006), las ventajas de la distribución por proceso son las siguientes:

- Existe una gran flexibilidad en cuanto a la adjudicación de los trabajos de los equipos y los trabajadores.
- Hay una mejor utilización de los equipos disponibles.

- Se necesitan números comparativamente menor de máquinas en esta disposición y, por lo tanto una reducción de la inversión de capital.
- Hay una calidad mejorada del producto, debido a que los supervisores y los trabajadores tienen un alto nivel de conocimiento acerca de un tipo de máquinas y las operaciones.
- Las variedades de trabajos y diversidad de órdenes de trabajo pueden hacer el trabajo más interesante para los trabajadores.
- Los trabajadores de una sección no se ven afectados por la naturaleza de las operaciones llevadas a cabo en otra sección. Por ejemplo: un operador de torno no se ve afectado por los rayos de la soldadura ya que las dos secciones, son totalmente distintas.

Las desventajas de la distribución por proceso, de acuerdo con este autor son las siguientes:

- Esta disposición requiere más espacio en comparación a la distribución por línea o por producto, para la misma cantidad de producción.
- Control de la producción se hace relativamente difícil en este diseño.
- La materia prima tiene que viajar más lo que aumenta el manejo de materiales y los costos asociados a estos.
- Esta disposición requiere coordinación e inspecciones más eficientes.
- Aumento del costo de manipulación de materiales debido a un mayor movimiento de transformación de la materia prima por varios caminos.
- Más material en proceso permanece en cola para otras operaciones.
- Requiere gran inventario en proceso.
- La finalización del mismo producto lleva más tiempo.

2.4.2.- Distribución por producto o en línea (flow-shop layout)

Esta disposición implica que diversas operaciones en la materia prima se realizan en una secuencia y las máquinas se colocan a lo largo de la línea de flujo de producto, es decir, las máquinas están dispuestas en la secuencia en la que será operada la materia prima. En este tipo de diseño todas las máquinas se colocan en una línea de acuerdo con la secuencia de las operaciones, es decir, cada máquina o sección está dispuesta para realizar la siguiente operación a la realizada por la máquina o sección anterior. En este diseño de materia prima comienza a partir de un extremo de las líneas de producción y se mueve de una máquina a otra a lo largo de una trayectoria secuencial (Rajender,2006).

Es adecuado para productos que tienen una demanda constante. Esta disposición puede tener la secuencia operativa es decir, forja, torneado, taladrado, fresado, rectificado y la inspección antes de enviar el producto al almacén de productos terminados para el embalaje y envío. Esta disposición se utiliza para la producción en masa y asegura un flujo suave de los materiales y la reducción de la manipulación de materiales. La descompostura de cualquier máquina en la línea de esta disposición puede dar lugar inclusive al paro de la producción (Rajender, 2006).

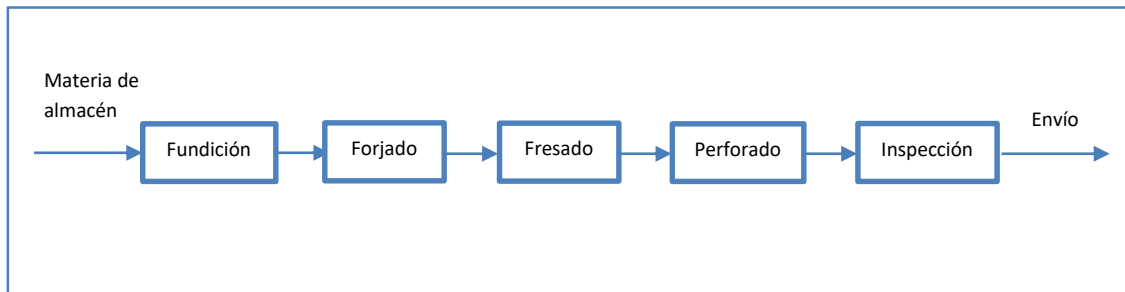


Fig. 9.- Distribución de planta por producto o en línea (flow-shop layout).
Fuente: Adaptado de Rajender (2006).

De acuerdo con este autor, las ventajas de la distribución por producto o en línea son las siguientes:

- Implica un flujo de trabajo suave y continuo.
- Se podrá requerir a trabajadores menos cualificados.
- Ayuda a reducir el inventario.
- Tiempo de producción se reduce en este diseño.
- Una mejor coordinación, planificación y control de la producción son logrados en este diseño.

- Para la misma cantidad de producción menos requisitos de espacio son requeridos en este diseño.
- El tiempo de procesamiento global del producto es inferior.
- Esta disposición implica la manipulación automática de materiales, menores movimientos de material y por lo tanto conducir a un costo mínimo posible de fabricación.

Por otro lado, este mismo autor, indica que las desventajas de la distribución por producto o en línea son las siguientes:

- Es muy difícil aumentar la producción más allá de las capacidades de las líneas de producción.
- Cuando un supervisor tiene que vigilar muchas maquinas la inspección se hace complicada.
- Esta disposición es mucho menos flexible para el cambio de producto.
- La tasa de velocidad o ritmo de trabajo depende de la velocidad de salida de la maquina más lenta y por lo tanto conduce a tiempo de inactividad excesivo para otras máquinas si la línea de producción no está equilibrada adecuadamente.
- Mas máquinas del mismo tipo del cual son colocadas a lo largo de la línea deben ser instaladas, para mantener pocas de ellas en espera, ya que si alguna de ellas falla se puede producir el cierre de la línea de producción completa. Es por ello que la estructura de líneas de producción de este tipo requieren grandes inversiones de capital.

2.4.3.- Distribución por posición fija

En este tipo de diseño, la parte principal de un ensamble o material permanece en una posición fija. Todos sus accesorios, materiales auxiliares, maquinaria, equipo necesario, las herramientas requeridas y la mano de obra son llevados al sitio fijado para trabajar. Así, el producto en virtud de su volumen o peso se mantiene en un solo lugar. Por lo tanto la ubicación del ensamblaje principal, componente de semi ensamblaje y el material no se alteran hasta que el producto está listo para su envío (Rajender 2006).

Este diseño es muy preferible cuando el costo de mover la pieza mayor de material es alto y se espera que la responsabilidad de la calidad del producto recaiga en un trabajador o grupo de trabajadores calificados expertos. Este tipo de disposición se

adopta principalmente para artículos extremadamente grandes fabricados en muy pequeña cantidad, tales como barcos, aviones y ruedas, calderas, reactores, etc. El mérito principal de este diseño es el movimiento mínimo de hombres, materiales y utillaje durante el proceso de fabricación. Esta disposición es altamente flexible, así como el tipo de producto y los procesos relacionados se pueden cambiar fácilmente sin ningún cambio en el diseño (Rajender 2006).

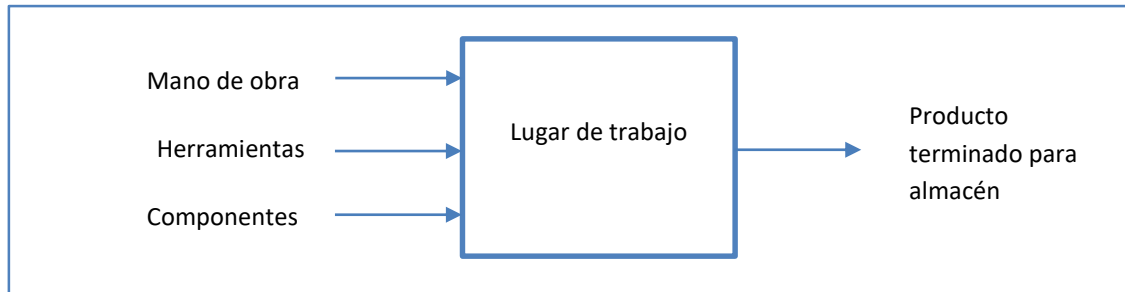


Fig. 10.- Distribución de planta por posición fija.
Fuente: Adaptado de Rajender (2006).

Las ventajas de la distribución por posición fija, de acuerdo con este mismo autor, son las siguientes:

- El diseño es muy flexible para las variedades de productos que tienen demanda intermitente por el tipo de producto y los procesos relacionados se pueden alterar fácilmente sin ningún cambio en el diseño.
- Hay un movimiento mínimo de hombres, material y utillaje durante el proceso de fabricación.
- El material se reduce drásticamente.
- Los operadores altamente cualificados son necesarios para completar el trabajo en un punto y responsabilidad de la calidad se fija en una sola persona o el equipo de montaje.
- Cada personal del equipo de fabricación es responsable de un trabajo de calidad para la fabricación del producto.

Así mismo, este autor, además menciona las desventajas de la distribución por posición fija:

- El costo de manejo de equipos es muy alto.
- Los trabajadores y los equipos son difíciles de utilizar completamente.

- Se limita para aplicaciones de artículos de gran tamaño solamente.

2.4.4.- Células de fabricación flexible o distribución combinada

También se conoce como diseño de grupo. Una combinación de diseños por procesos y productos combina las ventajas de ambos tipos de diseños. La mayor parte de las secciones de fabricación están dispuestas en el diseño de procesos con líneas de fabricación que ocurren en distintos puntos diseminados donde lo permitan las condiciones. La mayoría de las industrias manufactureras han adoptado este tipo de diseño. En este tipo de diseño, se agrupa un conjunto de maquinaria o equipo juntos en una sección, y así sucesivamente, de modo que cada conjunto o grupo de máquinas o equipo se utiliza para realizar operaciones similares para producir una familia de componentes (Rajender, 2006).

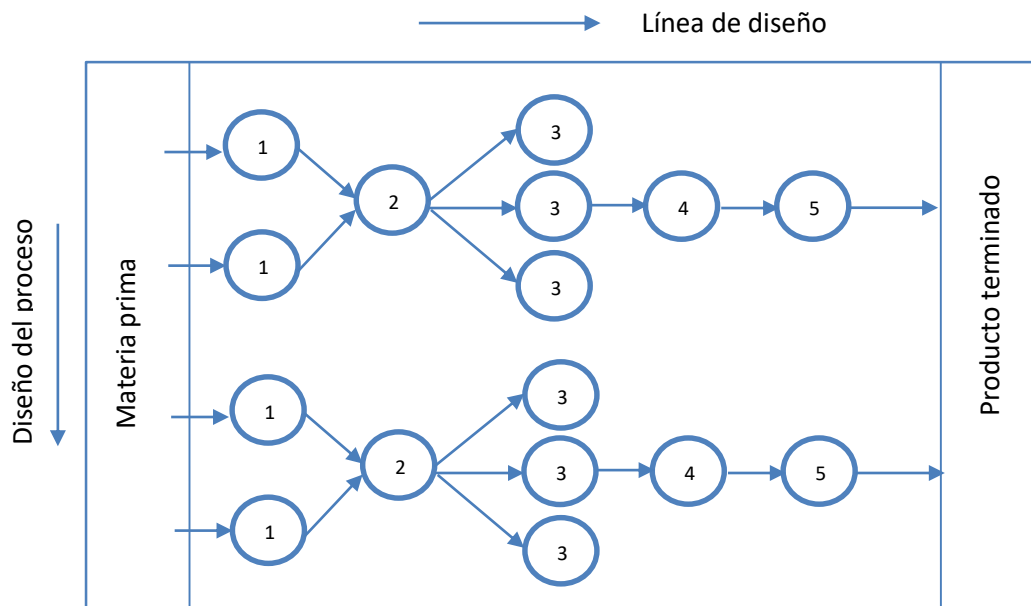


Fig. 11.- Distribución de planta combinada.
Fuente: Adaptado de Rajender (2006).

Las ventajas de la distribución combinada, de acuerdo con este autor son las siguientes:

- Reducción en el costo en el tiempo de preparación de la máquina y manipulación de materiales.
- Eliminación del exceso de inventario de trabajo en proceso que posteriormente permite la reducción en el tamaño del lote.
- Simplificación de funciones de planificación de producción, etc.

Por otro lado, las desventajas de la distribución combinada, según este autor, son las siguientes:

- Cambio de la disposición existente es lento y costoso.
- La inclusión de nuevos componentes en el componente existente requiere un análisis minucioso.
- El cambio de mezcla de componentes de entrada puede probablemente que cambie la estructura del diseño completo.
- El cambio de tamaño del lote puede cambiar el número de máquinas.

En la Figura 14, se muestra la comparativa de los diseños de distribución de planta en cuanto a cantidad y variedad en la producción.

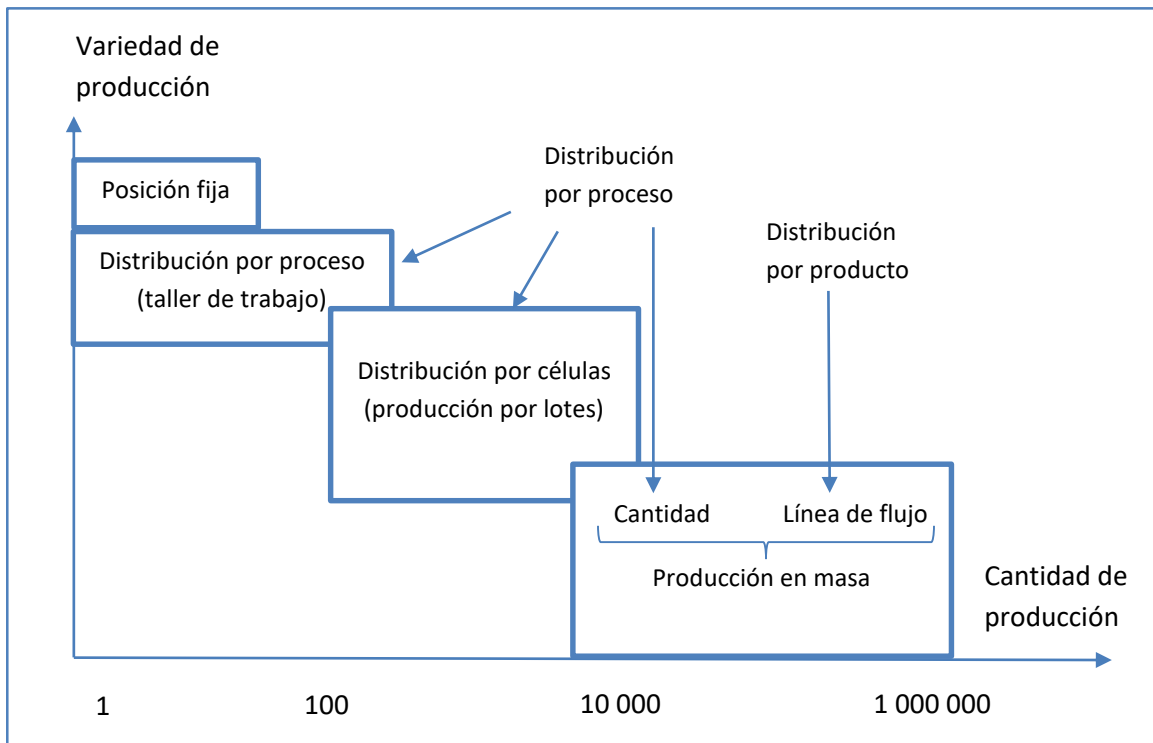


Fig. 12.- Relación de producción cantidad-variedad.
Fuente: Adaptado de De Carlo-Arleo-Borgia y Tuccio (2013).

2.5 Modelos de distribución de planta

Existen diversas metodologías que sirven para diseñar y analizar la distribución física de una fábrica. La mayor parte de ellas se basan en procedimientos matemáticos o en software creados bajo estos modelos matemáticos. Entre las metodologías más famosas están el SPL o Systematic Plan Layout, QAP o Quadratic Assigment Problem, Corelap, ASBModel y LIMP (A.M. Galindo-M. Tapia, 2008); las cuales se describen en las siguientes secciones.

2.5.1.- SPL (Systematic Plan Layout)

Es la técnica más utilizada en la actualidad para analizar o diseñar la distribución física de una fábrica. Fue creada por R. Munther en 1973. Es una técnica de análisis básicamente cualitativo. Empieza dividiendo la empresa en zonas o áreas físicas como bodegas, oficinas, área de producción, área de equipos auxiliares, comedor, etc. Luego estudia las relaciones existentes entre estas áreas para establecer grados de cercanía física. Una vez establecidos estos grados de cercanía, se crea un mapa donde se van moviendo los cuadros que representan cada área hasta que aquellos que tiene mayor relación de cercanía estén juntos (Heregu-Sunderesh, 2006).

2.5.2.- QAP (Quadric Assigment Problem)

El QAP fue creado por Koopman y Beckman en 1957. Es mayormente utilizado para localizar instalaciones o centros de distribución. También puede ser utilizado para analizar la distribución de una fábrica pero se considera un caso especial de diseño de Distribuciones Físicas, ya que asume que todos los departamentos tienen áreas iguales y que las locaciones se conocen desde antes de resolver el modelo.

Este modelo asigna un departamento a cada locación disponible. La asignación se basa en la relación que tienen los departamentos. Este modelo deber tener un número igual de departamentos y locaciones para asignación. Esta clase de modelo es muy difícil de resolver cuando se tienen más de 18 departamentos.

Este modelo puede ser usado en el diseño de la distribución física de fábricas con departamentos de diferentes áreas al dividir esas áreas en departamentos de áreas iguales, sin embargo esta división incrementa el número de departamentos del problema (Heregu-Sunderesh, 2006).

2.5.3.- Corelap

Corelap Manual es un algoritmo que se basa en convertir la calificación cualitativa determinada en el Diagrama de relaciones que utiliza SPL en cuantitativa, a través de asignación de valores fijos a los grados de relación. Luego se calcula el TCR (Total Closeness Rating) que es la suma de todos los valores de los grados de relación asignados a ese departamento. El que tenga un valor TCR más alto es el

que ingresa primero a la distribución física, luego se introducen el resto de departamentos dependiendo de la relación que tienen con los que ya han sido introducidos (Konz, 1991).

2.5.4.- ASBMODEL

El ASBMODEL tiene aplicaciones para posicionar departamentos o máquinas en una o dos dimensiones. Tiene las siguientes condiciones:

- Departamentos son cuadrangulares o rectangulares y si tienen alguna otra forma especial deben ser encerrados dentro de un cuadrado o rectángulo.
- Su orientación es predeterminada o conocida (Esto significa que se conoce el Largo x Ancho que requiere cada departamento).
- No hay restricciones en el edificio donde van a ser colocados los departamentos.

La matemática de este modelo se basa en una función objetivo que busca minimizar el costo basado en el flujo por la distancia recorrida entre departamentos. Utiliza restricciones para evitar que los departamentos o máquinas se traslapen (Heregu, Sunderesh. Facilities Design 2006).

2.5.5.- LIMP

LIMP es un caso especial de diseño de distribución física que se utiliza cuando el flujo de proceso es en forma de anillo o loop, flujos en U o en L. El modelo asume que el flujo en anillo, U o L es un flujo directo y basa su análisis en minimizar distancias recorridas por los materiales. Existen otras herramientas que contribuyen a realizar un análisis más detallado de la distribución de una fábrica, estas herramientas son: Diagrama String, Diagrama Multicolumna, la Carta From-To y el análisis de distancias recorridas que utiliza la técnica Eucliden, la técnica Rectilínea, la técnica Chevychev y la medición entre pasillos para cuantificar distancias recorridas. Estas herramientas son complementarias para técnicas como SPL o Corelap Manual (Heregu, Sunderesh. Facilities Design 2006).

2.6 Balanceo de línea

Uno de los problemas más importantes que se tiene dentro de la manufactura, es el asegurar un flujo continuo y uniforme de los productos, a través de los diferentes procesos dentro de la planta. Esto es, debido a que los tiempos de operación por parte de las personas es variable, hallar la manera de minimizar este problema es lo que se conoce como balanceo de línea (Niebel y Freivalds, 2009).

Uno de los primeros pasos en la implementación de prácticas modernas de manufactura tal como justo a tiempo, consiste en modificar la distribución de las instalaciones de manufactura para reducir movimientos y transportes innecesarios, niveles de inventario en proceso y tiempos de espera, ya que estos factores impactan de manera directa y significativa en el nivel del servicio al cliente y en la productividad (Pérez Olguín 2014).

Los autores Suñé, Arcusa y Gil (2004), señalan que el aspecto más interesante en el diseño de una línea de producción o montaje consiste en repartir las tareas de modo que los recursos productivos estén utilizados de la forma más ajustada posible, a lo largo de todo el proceso. El problema del equilibrado de líneas de producción consiste en subdividir todo el proceso en estaciones de producción o puestos de trabajo donde se realizaran un conjunto de tareas, de modo que la carga de trabajo de cada puesto se encuentre lo más ajustada y equilibrada posible a un tiempo de ciclo. Se dirá que una cadena está bien equilibrada cuando no hay tiempos de espera entre una estación y otra.

De acuerdo con Pérez (2014), los pasos para llevar a cabo un balanceo de líneas son:

1. Identificar las tareas que componen el proceso productivo.
2. Definir el tiempo necesario para cada tarea.
3. Conocer cuales recursos son necesarios.
4. Determinar el orden lógico de ejecución.

Entre las posibles causas que originan desequilibrios en un balanceo de líneas, o que hacen necesario que se efectúe un balanceo, se encuentran las averías de máquina, el ausentismo, los productos de mala calidad, la cantidad de piezas defectuosas en proceso, la mala planificación de las operaciones y la entrada a la línea de nuevos modelos sin las suficientes especificaciones de fabricación (Meyers y Stephens, 2006).

Meyers (2000) señala que los propósitos de la técnica de balanceo de líneas de ensamble son los siguientes:

- Igualar la carga de trabajo entre los operadores.
- Identificar la operación cuello de botella.
- Determinar el número de estaciones de trabajo.
- Reducir el costo de producción.
- Establecer el tiempo estándar.

Para implementar adecuadamente esta técnica es necesario realizar un análisis de las estaciones de trabajo, este análisis basado en un estudio de las actividades realizadas y en los tiempos requeridos.

2.7 Tiempo estándar

Es el tiempo (incluyendo suplementos de descanso) para realizar una tarea desempeñada a actividad normal. Después de que se ha obtenido el tiempo normal de la operación y se tienen considerados los suplementos correspondientes puede determinarse el tiempo estándar de la operación con la siguiente expresión:

$$\textit{Tiempo estándar} = \textit{Tiempo normal} * (1 + \textit{Suplemento descanso}) \quad \textit{Ec. (1)}$$

2.8 Tiempo takt

El tiempo takt es calculado dividiendo el tiempo total disponible para realizar un trabajo entre la demanda del cliente. Se define como el tiempo máximo permitido para producir un producto con el fin de satisfacer la demanda requerida. Otra definición del tiempo takt proporcionada por Hay (2003) nos dice que el tiempo takt es el tiempo requerido para producir un componente o conjunto de componentes al ritmo necesario para satisfacer la demanda real del cliente, es decir es la velocidad a la que un proceso debe producir.

$$\textit{Tiempo takt} = \frac{\textit{Tiempo total disponible}}{\textit{Demanda}} \quad \textit{Ec. (2)}$$

2.9 Eficiencia

La eficiencia es la óptima utilización de los recursos disponibles para la obtención de resultados deseados. Sirve para reducir los costos en la fabricación de un producto, en una empresa determinada, obteniendo la capacidad o habilidad para lograr un determinado resultado en el menor tiempo posible. El cálculo de la eficiencia se usa para ayudar a hacer visible los problemas en la línea de producción de manera que puedan resolverse de forma oportuna (Niebel y Freivalds, 2009).

$$\textit{Tiempo takt} = \frac{\textit{Tiempo disponible}}{\textit{Unidades requeridas}} \quad \textit{Ec. (3)}$$

$$\textit{Número mínimo de estaciones} = \frac{\sum \textit{Tiempo de operaciones}}{(\textit{Número de estaciones})(\textit{Tiempo de ciclo})} * 100 \quad \textit{Ec. (4)}$$

2.10 Cuadro resumen

A continuación, se muestra un cuadro resumen del Capítulo II de esta tesis, donde se observa en orden cronológico las aportaciones realizadas por distintos autores.

Año	Autor	Propuesta
1957	Koopman y Beckman	Metodología QAP (Quadric Assigment Problem) para localizar instalaciones o centros de distribución
1973	R. Munther	Metodología de distribución SPL (Systematic Plan Layout) para analizar y diseñar la distribución física de la planta
1984	Tompkins, J	Requerimientos a considerar para una distribución de planta.
1991	Konz	Algoritmo Corelap para convertir la calificación cualitativa en cuantitativa del diagrama de relaciones que emplea SPL
2000	Meyers, Fred E.,	Propósitos de la técnica del balanceo de líneas.
2004	Suñe Torrents A. y Arcusa Postils I.	Señalan aspectos en el diseño de una línea de producción o montaje.
2005	De la Fuente García D. y Fernández Quesada I.	Principios en que se basa la distribución de planta.
2006	Rajender, S.	Tipos de distribución de planta.
2006	Meyers, Fred E., Stephens, Mattehew	Causas que originan desequilibrios en las líneas de producción
2013	De Carlo-Arleo-Borgia y Tuccio	Comparativa de los diseños de distribución de planta en cuanto a cantidad y variedad en la producción.
2014	Pérez Olgín J.C.	Pasos para realizar el balanceo de líneas

Tabla 9.- Cuadro resumen de la literatura y marco teórico.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Capítulo III. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PIEZAS PARA UN FUSIL

3.1 Modelo de simulación

Como menciona Banks (1998), la simulación es una representación de la operación de un proceso o un sistema a través del tiempo. La simulación es una herramienta que se utiliza con la finalidad de analizar el comportamiento de un sistema. En este estudio, se diseña el modelo de simulación de un proceso de manufactura.

De acuerdo con Banks (1998), la simulación representa una herramienta importante en las organizaciones, ya que permite conocer el estado y comportamiento de algún sistema en particular que sea de interés. Se considera una manera rápida para determinar el estado de los sistemas y no se requiere invertir una gran cantidad de recursos para su realización. Además constituye un medio que permite tomar decisiones sobre el sistema y/o proponer mejoras.

De igual forma, Banks (1998) indica que las áreas de aplicación de la simulación son varias, entre las cuales encontramos la manufactura y el manejo de materiales, los sistemas públicos (sistemas de salud, militares, recursos naturales, servicios públicos, etc.) y los servicios (transporte, desempeño de sistemas de cómputo, sistemas de comunicación, etc.).

En este trabajo de investigación, se implementa un modelo de simulación del proceso de manufactura de producción de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm, con base en el cual se busca conocer el estado de ese proceso. Para poder construir el modelo de simulación mencionado, de acuerdo con Banks (1998), se requieren llevar a cabo una serie de pasos, mismos que se indican en la Figura 15.

En las secciones subsecuentes se llevaran a cabo los pasos a seguir de acuerdo con esta metodología enfocada a procesos.

3.2 Formulación del problema.

La Gerencia de la fábrica de piezas para armamento se ha percatado de que existen retrasos para cumplir con la demanda actual en la fabricación de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm, debido a que dicha demanda ha ido en aumento en los últimos años. Para conocer el estado actual del proceso de producción de piezas para este producto, se desarrolla e implementa un modelo de simulación, para identificar el comportamiento del proceso y proponer mejoras para la distribución actual e incrementar en 20% la producción, que permita a la Gerencia tomar una decisión, con la finalidad de mejorar la producción para este producto.

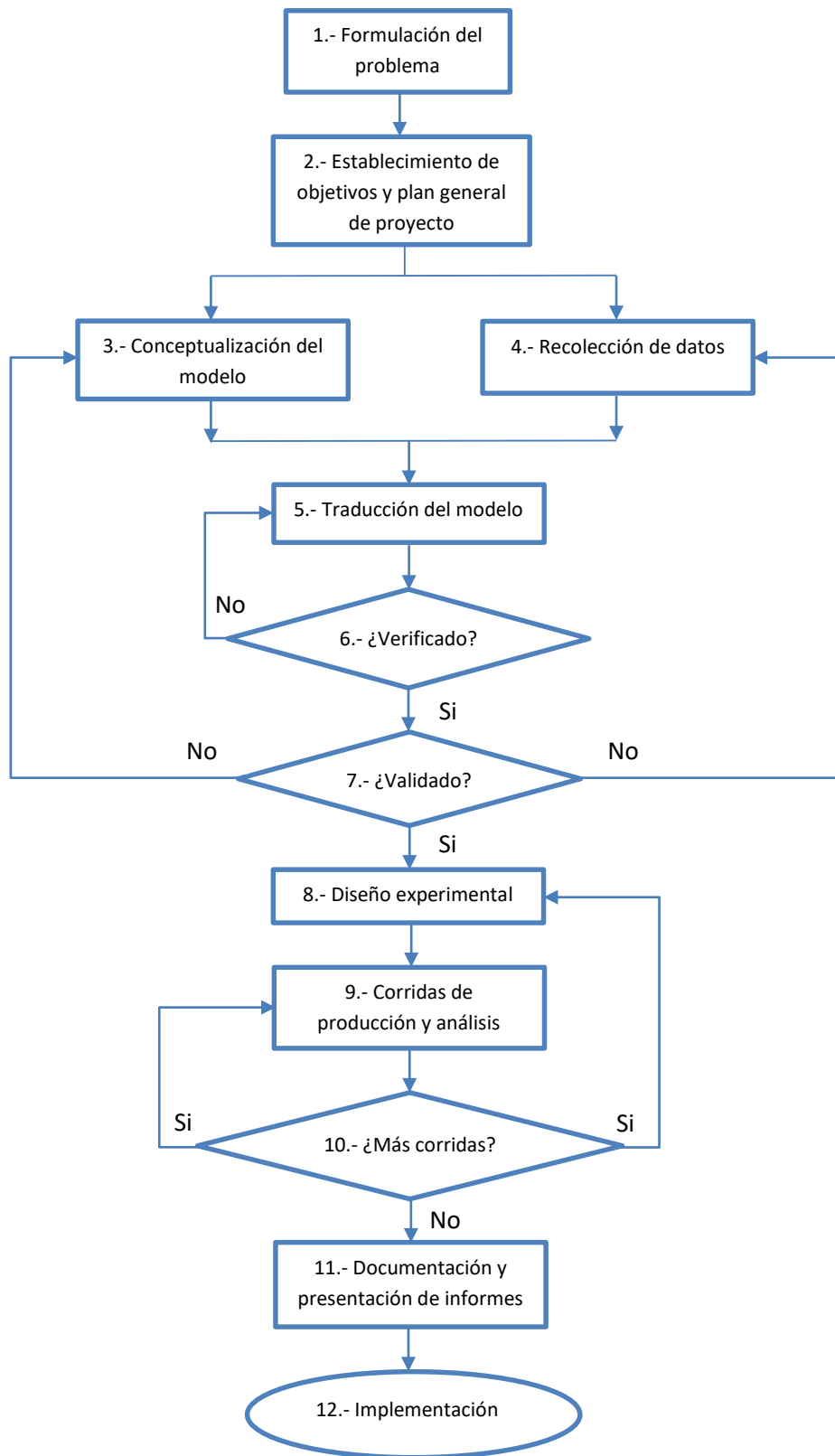


Fig. 13.- Metodología de simulación
Fuente: Adaptado de Banks (1998).

3.3 Establecimiento de objetivos.

- Desarrollar e implementar un modelo de simulación del proceso de fabricación de piezas para el fusil cal. 5.56 mm.
- Realizar un análisis de la situación actual con la información proporcionada a través del modelo de simulación del proceso de fabricación actual de piezas para el fusil cal. 5.56 mm.
- Diseñar un escenario de simulación que permita incrementar en 20% la producción de fusiles Cal. 5.56 mm.

3.4 Conceptualización del modelo.

De acuerdo con la información proporcionada por la Gerencia a través de las hojas de ruta de los procesos de fabricación de las piezas para un fusil Cal. 5.56 mm; se realizaron los diagramas de flujo para las operaciones de los procesos de manufactura de las piezas sujetas a estudio, las cuales fueron elegidas en el Capítulo 1 como las más representativas del proceso de fabricación del fusil, en las Figuras de la 16 a la 21 se muestran dichos diagramas, elaborados con la finalidad de realizar la conceptualización de un modelo de simulación para los distintos procesos de esas piezas.

Con la finalidad de implementar un modelo de simulación que resulte práctico para generar escenarios de simulación para el usuario y que tenga el nivel de profundidad adecuado que permita dar solución al problema planteado, algunos de los procesos de maquinado están incluidos junto con algunas otras como parte de una misma operación. Este criterio se tomó a partir de dos aspectos principales:

1. Operaciones subsecuentes que se realizan en la misma máquina.
2. Operaciones subsecuentes que se realizan en un mismo taller y en máquinas contiguas.

En la Tabla 10 se muestran las piezas representativas, consideradas para la realización del modelo de simulación, así como el número de operaciones reales y el número de operaciones consideradas para la elaboración de dicho modelo.

Se puede observar, de la Tabla citada anteriormente, que para todas las piezas, a excepción de la pieza CACI, la cantidad de procesos considerados para el modelo de simulación son menores a la mitad respecto a la cantidad de operaciones reales, debido a los criterios expuestos anteriormente. También esta cantidad de operaciones resulta representativa para observar a través de dicho modelo los problemas derivados de los requerimientos de flujo actuales expuestos en la

Sección 1.1 para esas piezas, y que nos permitirán identificar dichos flujos plenamente en el modelo de simulación.

Pieza	No. de procesos	No. de procesos considerados
CANO	58	20
BTGA	39	13
REGU	31	18
CACI	24	13
CPAR	22	15

Tabla 10.- Comparativa del número de operaciones reales y consideradas para el modelo de simulación.

Fuente: Elaboración propia (2017).

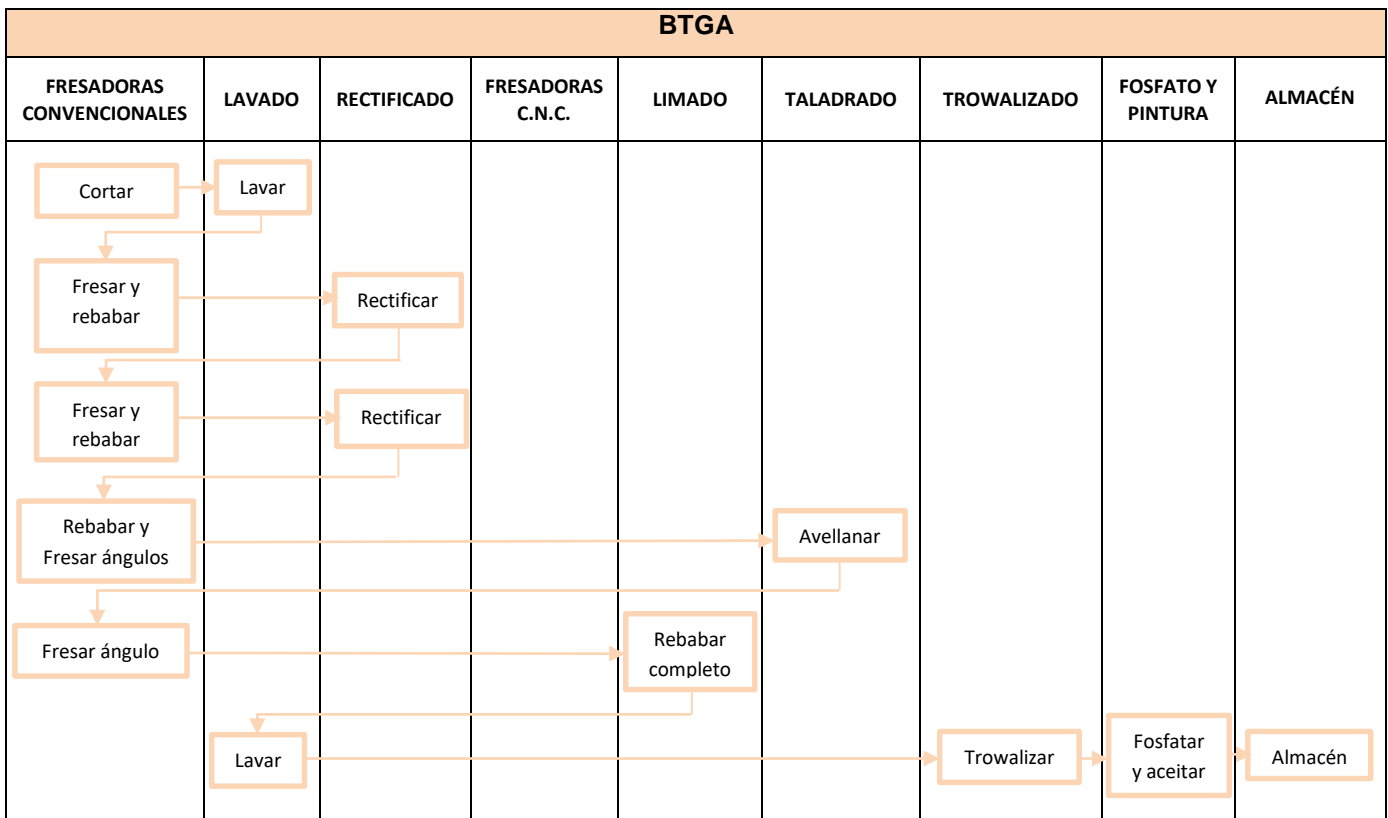


Fig. 14.- Diagrama de flujo para la pieza BTGA.

Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 16, se observa el flujo de las operaciones consideradas para la conceptualización del modelo de simulación para la pieza BTGA, así como los talleres en los cuales se realizan dichas operaciones; de igual forma se observa que conforme a la Tabla 10, se consideran 13 operaciones hasta antes de llegar al almacén de piezas terminadas.

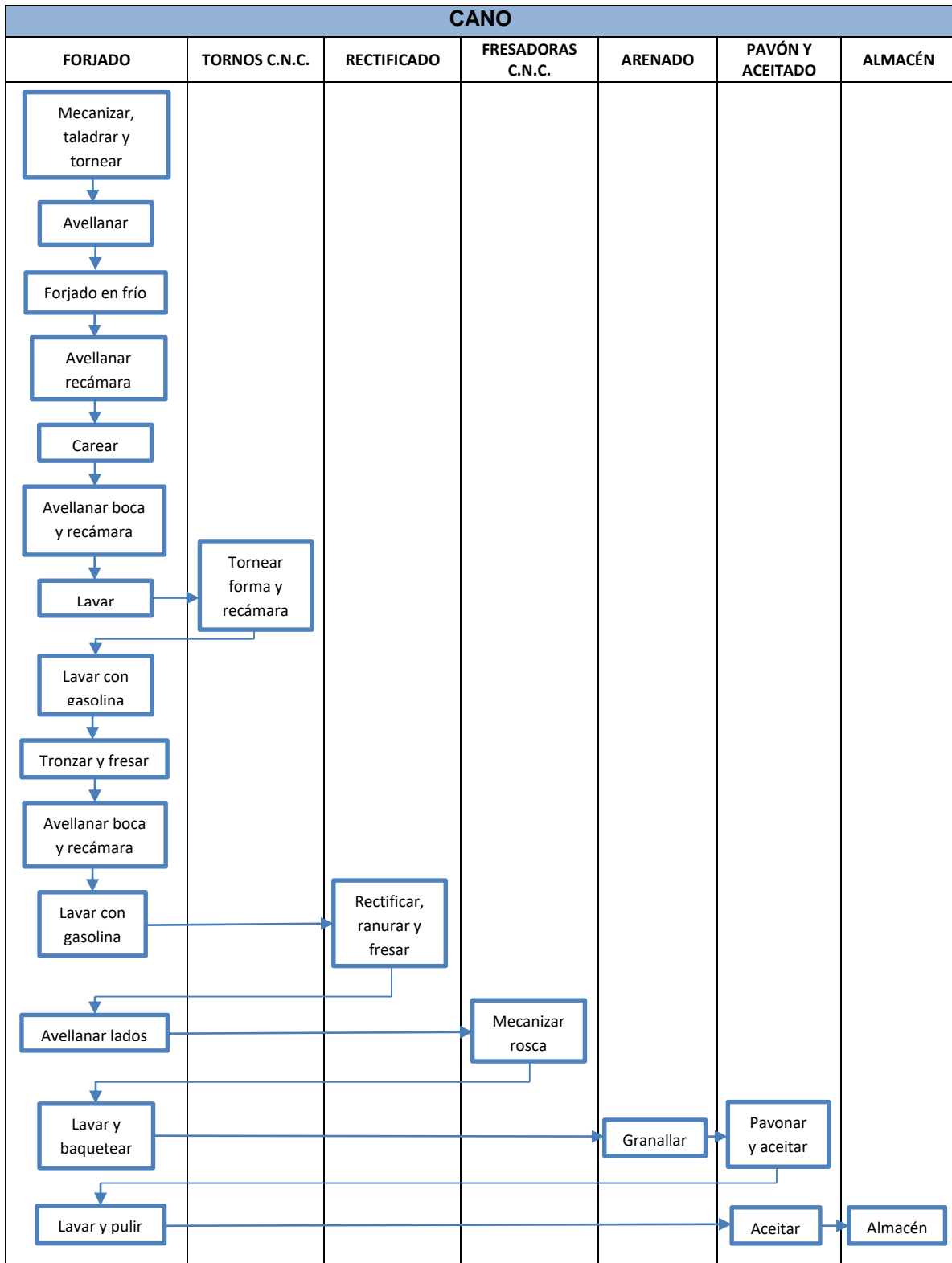


Fig. 15.- Diagrama de flujo para la pieza CANO.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 17, se observa el flujo de las operaciones consideradas para la conceptualización del modelo de simulación para la pieza CANO, así como los talleres en los cuales se realizan dichas operaciones; de igual forma se observa que conforme a la Tabla 10, se consideran 20 operaciones hasta antes de llegar al almacén de piezas terminadas.

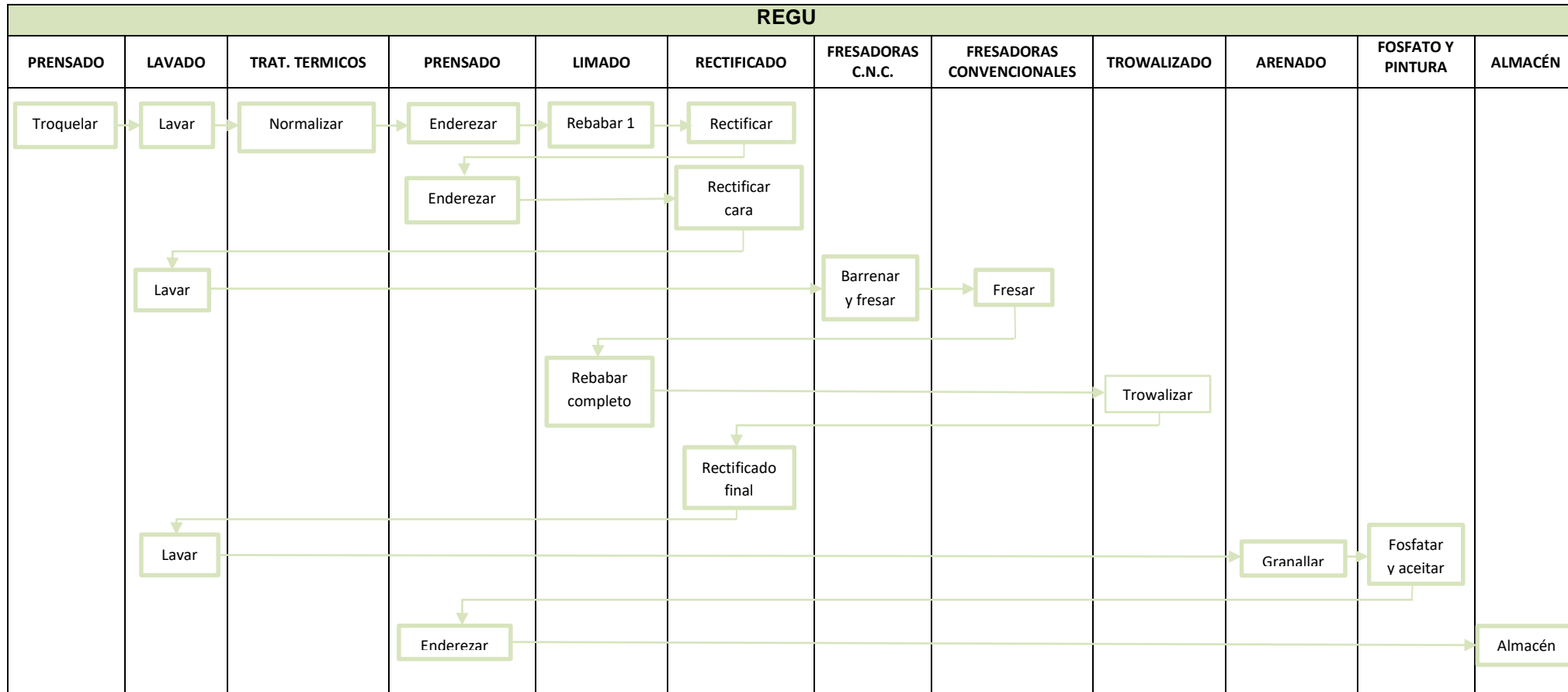


Fig. 16.- Diagrama de flujo para la pieza REGU.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 18, se observa el flujo de las operaciones consideradas para la conceptualización del modelo de simulación para la pieza REGU, así como los talleres en los cuales se realizan dichas operaciones; de igual forma se observa que conforme a la Tabla 10, se consideran 18 operaciones hasta antes de llegar al almacén de piezas terminadas.

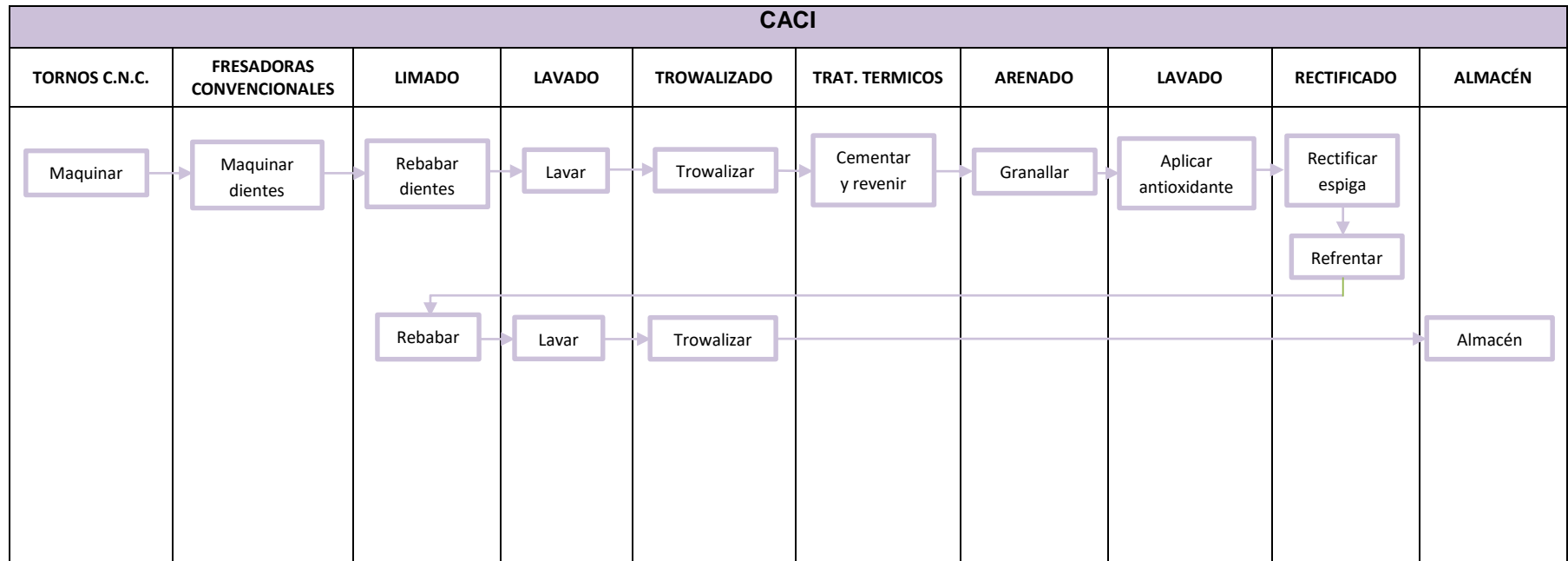


Fig. 17.- Diagrama de flujo para la pieza CACI.
Fuente: Elaboración propia (2017).

De igual forma en la Figura 19, se observa el flujo de las operaciones consideradas para la conceptualización del modelo de simulación para la pieza CACI, así como los talleres en los cuales se realizan dichas operaciones; de igual forma se observa que conforme a la Tabla 10, se consideran 13 operaciones de las 24 que son en realidad, hasta antes de llegar al almacén de piezas terminadas.

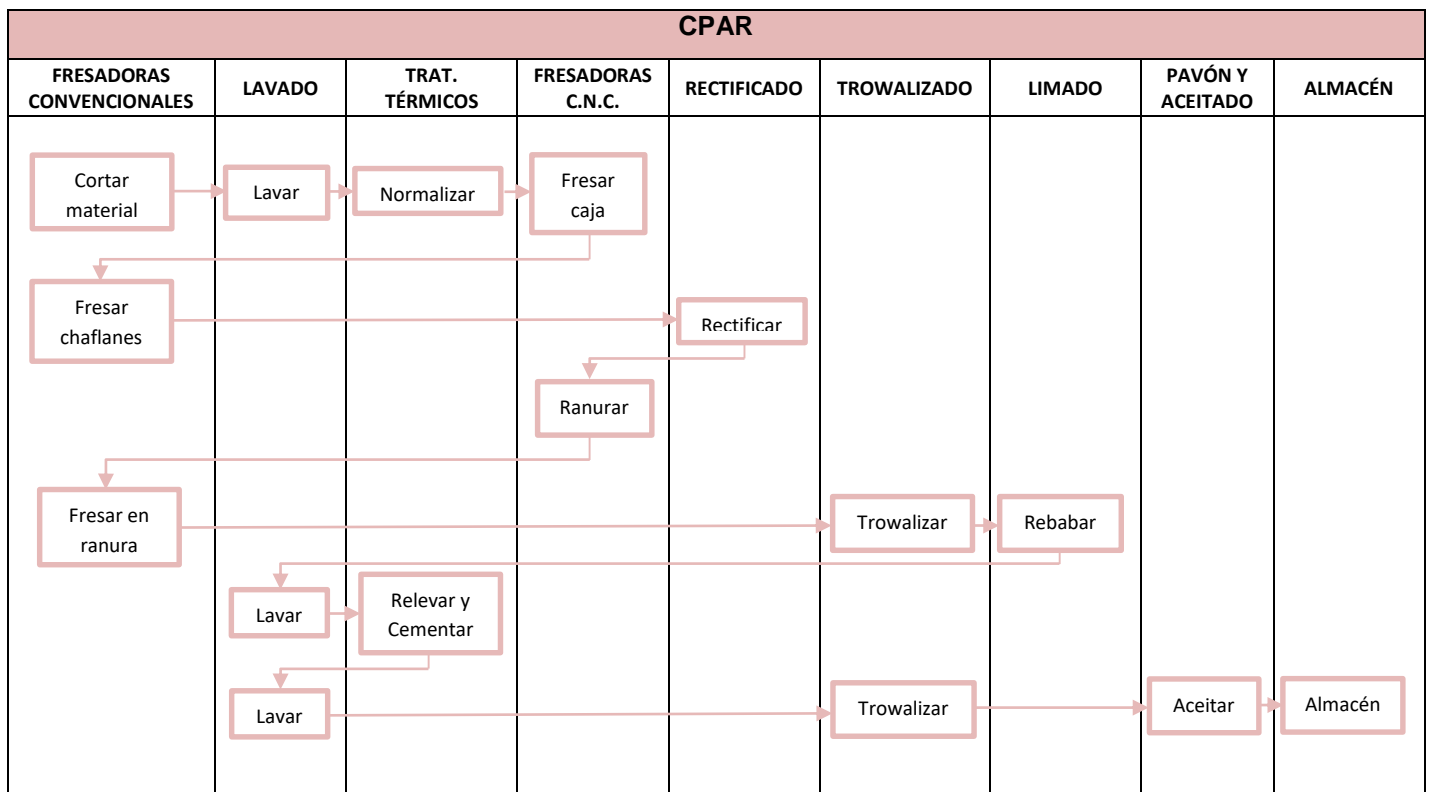


Fig. 18.- Diagrama de flujo para la pieza CPAR.
Fuente: Elaboración propia (2017).

En la Figura 20, se observa el flujo de las operaciones consideradas para la conceptualización del modelo de simulación para la pieza CPAR, así como los talleres en los cuales se realizan dichas operaciones; de igual forma se observa que conforme a la Tabla 10, se consideran 15 operaciones hasta antes de llegar al almacén de piezas terminadas.

Cabe destacar, que para la conceptualización del modelo de simulación, además de los procesos de maquinado, es necesario tomar en cuenta aspectos importantes para realizar dicho modelo de la distribución de planta actual, tales como:

- Número de operadores por máquina.
- Número de máquinas que existen en los talleres.
- La distribución y localización de las áreas de trabajo.
- Los recorridos que se realizan para llevar a a cabo cada uno de los procesos.
- Los tiempos de maquinado en cada proceso.

Estos aspectos, estarán reflejados y serán realimentados a la hora de realizar el modelo de simulación, es decir, en la Sección 3.6, referente a la traducción del modelo, con la finalidad de poder elaborar un modelo de simulación que sea adecuado para la problemática a resolver por parte del usuario.

3.5 Recolección de datos.

La recolección de la información para la elaboración del modelo de simulación se realizó a partir de una serie de visitas a la fábrica, hasta donde la Gerencia lo permitió, debido a las dificultades presentadas por la confidencialidad de la información para realizar la toma de tiempos para las operaciones de los procesos de maquinado, los Jefes de Ingeniería y Producción proporcionaron la información referente a los tiempos estándar de las operaciones de maquinado para cada una de las piezas seleccionadas como las más representativas para el proceso de fabricación del fusil Cal. 5.56 mm sujetas a estudio en esta tesis, mismas que se indican en el Anexo E.

De acuerdo con los Jefes de Ingeniería y de Producción, son los tiempos estándar promedio para cada una de las operaciones por lotes de 100 piezas, que como se mencionó anteriormente en la Sección 1.1, es de la forma en que se producen las piezas para el fusil.

3.6 Traducción del modelo.

Para llevar a cabo esta fase del modelo de simulación se utilizó el software de simulación AnyLogic™ versión 8.0.5. Este software permite realizar simulaciones basadas en procesos a través de su librería Process Modeling Library, además de que es posible visualizar la distribución física de las áreas que componen a la fábrica de armamento, así como trazar y visualizar los recorridos que realizan las piezas a través de los diferentes procesos, dichos recorridos o requerimientos de flujo se observan en la Figura 21.

Debido a la gran cantidad de procesos, maquinaría y la confidencialidad con que se maneja la fábrica de armamento, en la Figura citada, se representan únicamente las máquinas requeridas con los recorridos que realizan únicamente las cinco piezas (CANO, BTGA, CPAR, CACI y REGU) elegidas en la Sección 1.1 como las más representativas para el proceso de fabricación del fusil Cal. 5.56 mm. Para poder diferenciar dichos recorridos para cada pieza, estos se representan con colores diferentes, es decir, cada color representa una pieza diferente, tal y como se indica en la Tabla 11.

En este software se pueden simular al mismo tiempo los procesos para cada pieza, es decir, en este modelo se tienen cinco procesos diferentes, aunque cabe destacar que existen algunos procesos para algunas piezas que se realizan en las mismas máquinas, de ahí la importancia de realizar la simulación de manera conjunta, que es como se realizan los procesos en la realidad.

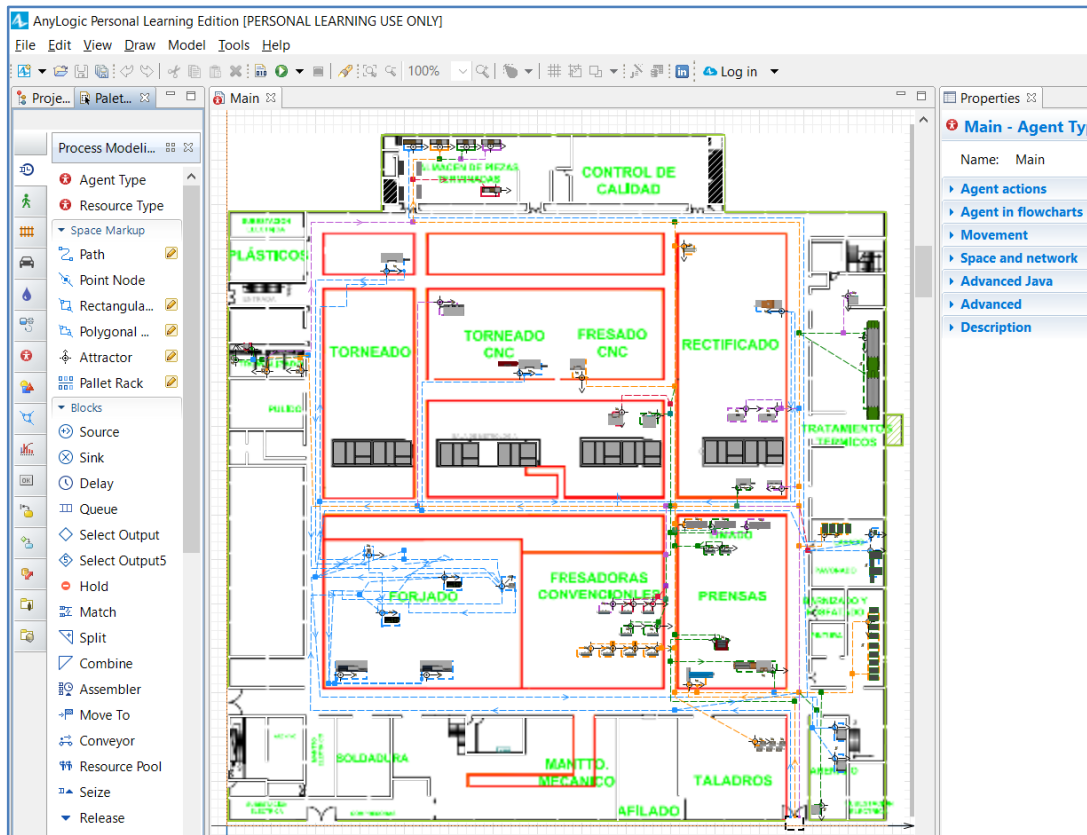


Fig. 19.- Representación de la distribución actual y requerimientos de flujo de las piezas más representativas. Fuente: Elaboración propia (2017).

Pieza	Color
CANO	AZUL
BTGA	NARANJA
REGU	VERDE
CACI	MORADO
CPAR	ROJO

Tabla 11.- Colores asignados para representar en AnyLogic™ los recorridos de las piezas representativas. Fuente: Elaboración propia (2017).

Además de la visualización de recorridos, este software permite realizar la animación en tercera dimensión de cómo se llevan a cabo los procesos, dicha visualización permite observar de manera más realista la representación del proceso de producción, tal y como se observa en la Figura 22. También se generó la interfaz gráfica que se muestra en la Figura 23, con el fin de observar a través de gráficas, el comportamiento del proceso de fabricación para cada una de las piezas, mientras se realiza la simulación.

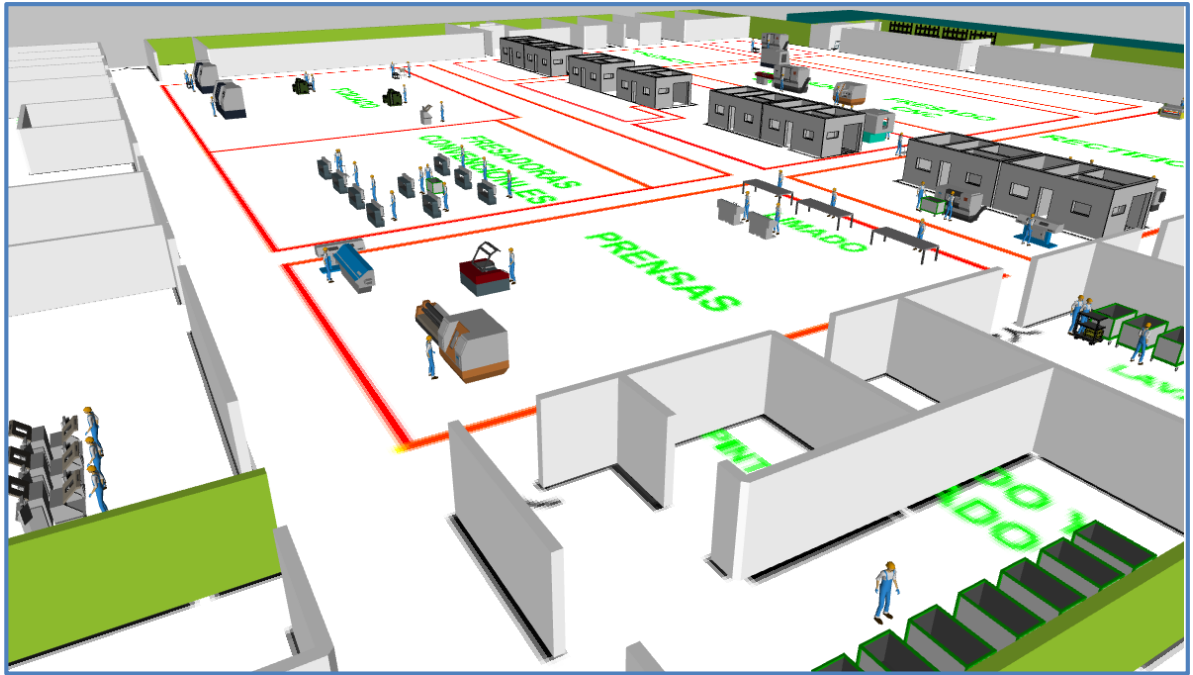


Fig. 20.- Representación en tercera dimensión del proceso de fabricación de fusiles.
Fuente: Elaboración propia (2017).

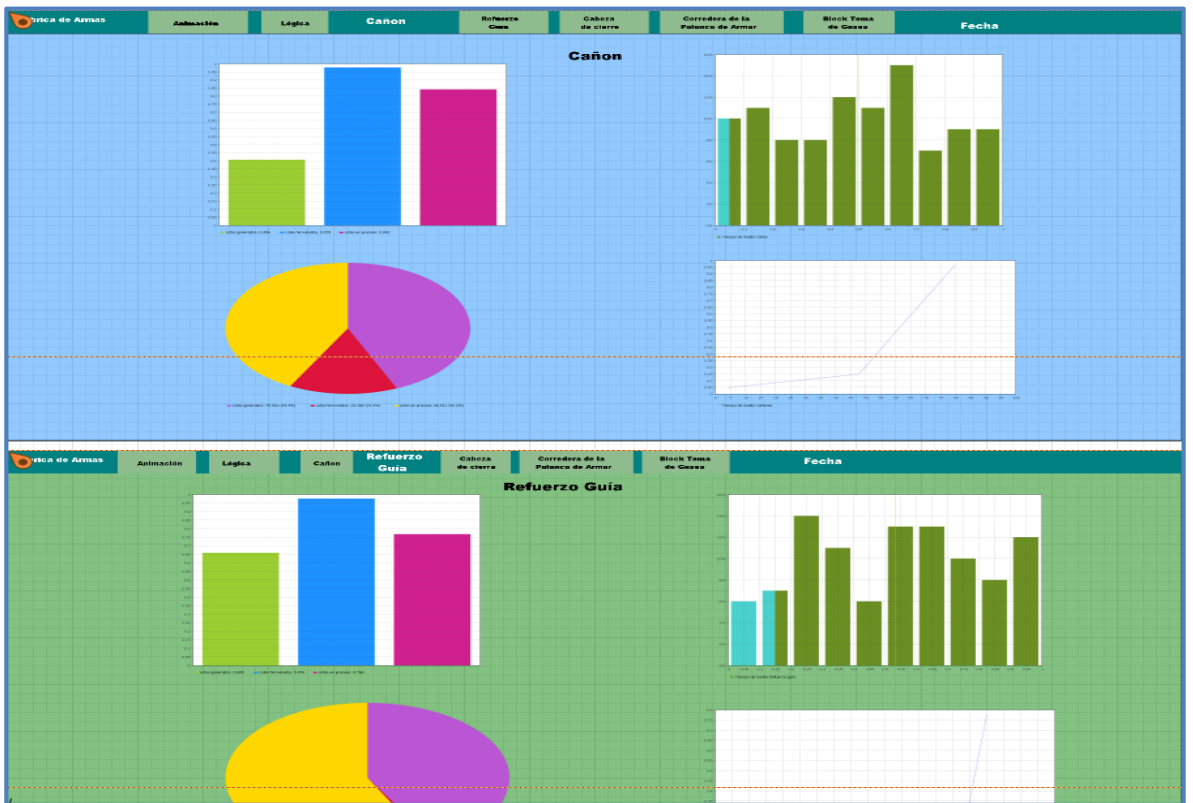


Fig. 21.- Interfaz gráfica de los procesos de fabricación de piezas representativas.
Fuente: Elaboración propia (2017).

3.7 Verificación del modelo

La verificación del modelo de simulación involucra si el desempeño del modelo es adecuado, en este caso, durante cada una de las etapas del desarrollo del mismo se verificó que el modelo realizara las tareas para cada uno de los cinco procesos que se requieren realice, de acuerdo con las operaciones definidas en la conceptualización del mismo.

De acuerdo con Banks (1998), una herramienta muy útil para realizar la verificación del modelo de simulación es a través de la animación, en este caso, como se mencionó en la Sección anterior, el software permite realizar una animación en tercera dimensión, por medio de la cual se pudieron detectar si los agentes realizan algunas acciones ilógicas. Algunas de estas acciones se detectaron y se corrigieron al momento hacer la construcción del modelo de simulación, es decir, al irse introduciendo cada elemento se fue verificando que el modelo se comportará de manera similar a como es el proceso de producción, verificando que los operadores con las piezas en proceso respetaran el flujo del proceso sin alteraciones.

Por otra parte, al realizar el ejercicio de simulación, el software no arrojó error alguno de compilación en el modelo. También se pudo observar que se encuentra libre de errores de sintaxis en la programación de funciones.

3.8 Validación del modelo

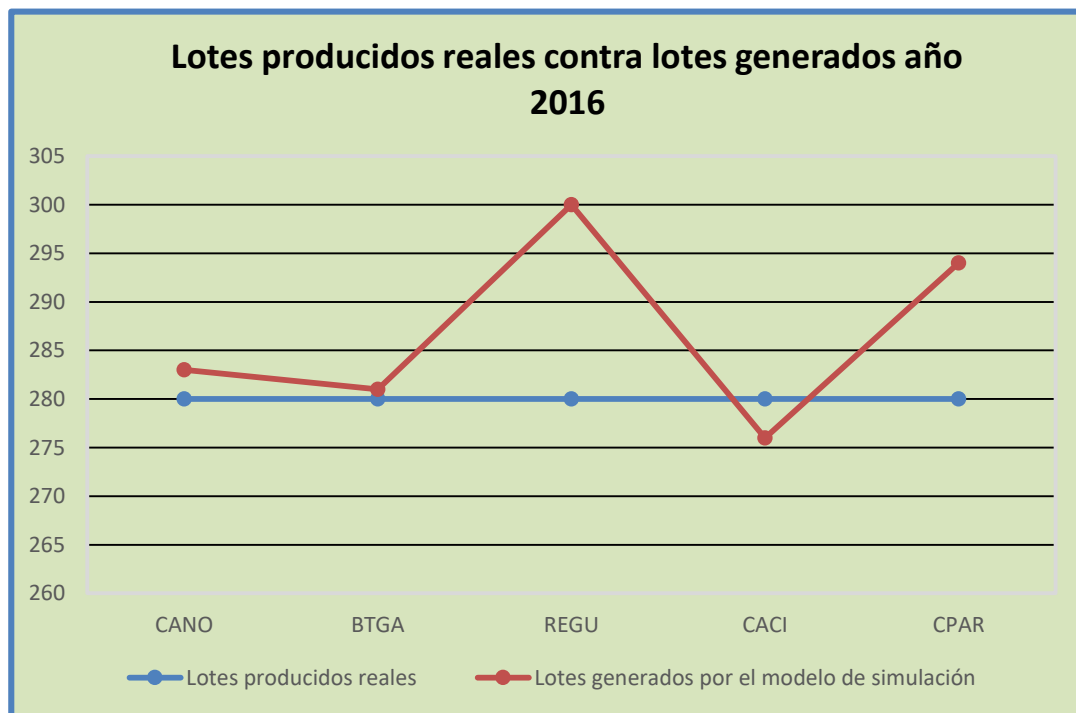
Para la validación del modelo fueron de vital importancia las reuniones de trabajo con los Jefes de Ingeniería y Producción (Área usuaria) ya que su experiencia fue determinante para conocer si el modelo de simulación es una representación adecuada del sistema de producción actual, para que se pueda emplear este modelo y proponer las mejoras necesarias para aumentar un 20% la producción de fusiles Cal. 5.56 mm; el software permitió visualizar por medio de gráficas el comportamiento de algunas métricas de producción y verificar que el modelo se comporte de manera similar al sistema real; estas gráficas permitieron confrontar los resultados obtenidos en el modelo de simulación con la información proporcionada por el usuario.

En primer lugar, se verificó que el modelo de simulación arrojara una cantidad de lotes similar a la que se producen realmente en la actualidad, en una determinada unidad de tiempo. En la Tabla 12, se muestran la cantidad de lotes que arroja el modelo de simulación y los lotes producidos en los dos últimos años (2016 y 2017) en los cuales la producción no presentó variación considerable. Mientras que en las Gráficas 7 y 8, se muestra la comparativa entre la cantidad de lotes producidos realmente para esos años y la cantidad de lotes producidos en el mismo periodo de tiempo por el modelo de simulación.

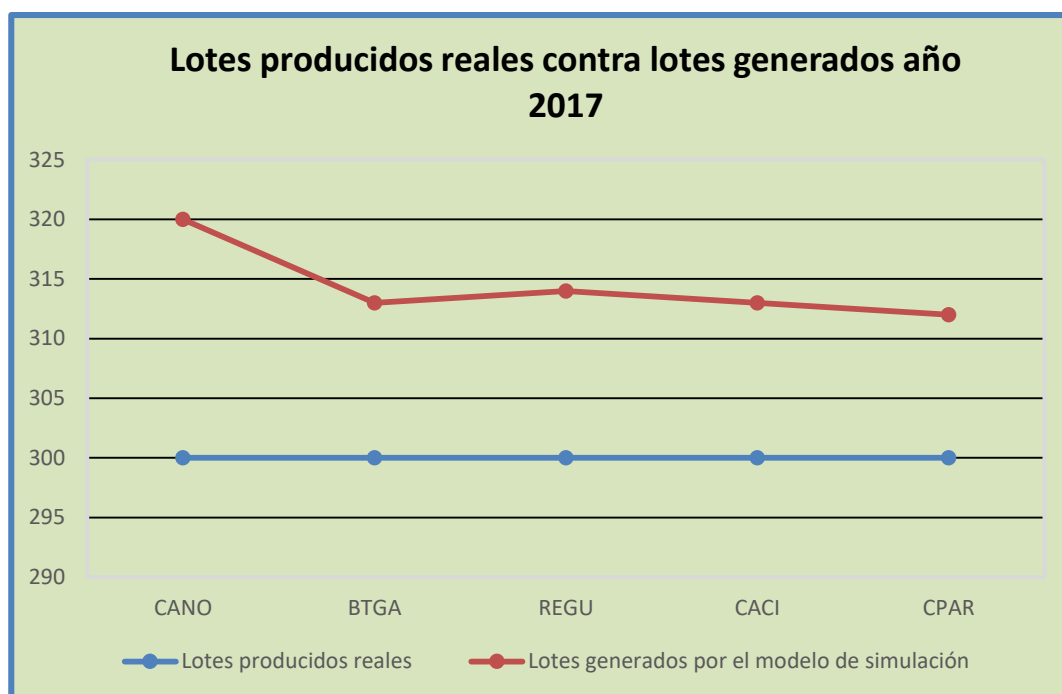
Pieza	Número de lotes reales producidos		Número de lotes producidos en el modelo de simulación	
	2016	2017	2016	2017
CANO	280	300	283	320
BTGA	280	300	281	313
REGU	280	300	300	314
CACI	280	300	276	313
CPAR	280	300	294	312

Tabla 12.- Cantidad de lotes reales producidos y los lotes generados por el modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia (2017).

Cabe mencionar, que se realizó un primer ejercicio de simulación para tres años, observando que a partir de 11 meses, el modelo no presenta variaciones significativas respecto a la cantidad de lotes producidos ni a los tiempos promedios de producción por lote. Por otro lado, se realizaron cinco corridas, las cuales arrojaron resultados similares, ya que sólo existió variación de una cantidad de ± 2 lotes para el primer año y de ± 20 lotes para el segundo año con una variación de tiempo de producción de ± 18 horas en ambos casos.



Gráfica 7.- Comparativa de lotes producidos por el sistema real y lotes producidos por el modelo de simulación en el año 2016. Fuente: Elaboración propia (2017).

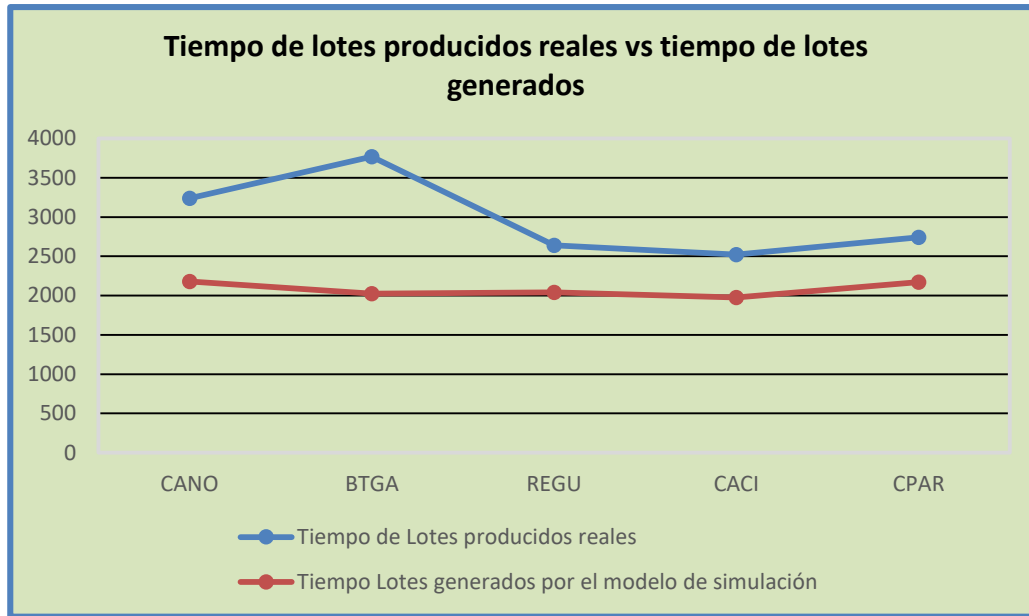


Gráfica 8.- Comparativa de lotes producidos por el sistema real y lotes producidos por el modelo de simulación en el año 2017. Fuente: Elaboración propia (2017).

Así mismo, para poder comprobar la fiabilidad de la información mostrada por el software de simulación, en la Tabla 13, se muestran los tiempos de producción promedio por lote arrojados por el modelo, así como el tiempo de producción promedio de fabricación de un lote real, información tomada de las hojas de ruta que fueron llenadas durante los años 2016 y 2017 por los Jefes y Operadores de los talleres involucrados para cada una de las piezas, donde se registran las entradas de los lotes a través de todos los talleres hasta que es puesto a disposición en almacén de producto terminado, esta comparativa se realizó a través del tiempo de producción que en promedio se emplea para la fabricación de un lote de 100 piezas, dicha comparativa se muestra en la Gráfica 9.

Pieza	Tiempo promedio de producción por lote real [horas]	Tiempo promedio de producción por lote en el modelo de simulación [horas]
CANO	3 240	2 178.75
BTGA	3 768	2 026.10
REGU	2 640	2 039.60
CACI	2 520	1 975.39
CPAR	2 742	2 171.80

Tabla 13.- Tiempo de producción de lotes de 100 piezas fabricados y lotes de 100 piezas generados por el modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia (2017).



Gráfica 9.- Comparativa del tiempo de producción por lote en el sistema real y lotes producidos por el modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia (2017).

Como se observó en las Gráficas 7, 8 y 9 el modelo programado se comporta de manera similar a los datos arrojados por el sistema de producción actual, ya que tiene una tendencia similar. Por lo tanto, se puede decir que el modelo está validado.

3.9 Diseño experimental.

De acuerdo con la problemática planteada y el objetivo del modelo de simulación, se llevaron a cabo experimentos de simulación considerando cambios al escenario de la situación actual. En este caso la respuesta o indicador clave es el número de piezas para fusil fabricadas, considerando dos factores principales que afectan la producción, en este caso, el número de máquinas disponibles en cada uno de los talleres, es decir, en cada operación y el número de turnos que se trabaja, con dos valores extremos cada uno, tal y como se indican en la Tabla 14.

Para el caso del número de máquinas disponibles en cada operación, se consideró como el mínimo una máquina en cada proceso y como los valores máximos el número de máquinas máximo disponibles en las operaciones donde exista más de una máquina del mismo tipo; para el número de turnos, se tomaron como valores máximos los turnos que se laboran actualmente, ya que de acuerdo con el usuario se está aprovechando al máximo el número de turnos laborables conforme al número de operadores que tienen cada taller y como mínimos que todos los talleres trabajen únicamente un turno.

Pieza	Número de máquinas disponibles		Número de turnos trabajados	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
CANO	53	75	1	Turnos considerados en el modelo de la situación actual
BTGA	34	49		
REGU	22	29		
CACI	22	26		
CPAR	23	31		
Total	154	210		

Tabla 14.- Factores considerados para el diseño de experimentos del número de lotes producidos. Fuente: Elaboración propia (2017).

3.10 Corridas de producción

Cabe mencionar que, se ejecutó la simulación considerando el rango de tiempo de un año, debido a que como se mencionó en la Sección 3.8, es el tiempo a partir del cual el modelo no presenta variaciones en su comportamiento, es decir, el tiempo de fabricación de las piezas, el número de lotes fabricados y la media del tiempo de fabricación para cada lote no presentan variaciones significativas.

En la Tabla 15, se muestran los resultados obtenidos del número de lotes producidos para cada uno de los escenarios propuestos, en este caso se realizaron cuatro experimentos, ya que tenemos dos niveles con dos factores.

Para poder analizar los resultados obtenidos por el modelo de simulación para cada uno de los escenarios, con el número de máquinas y turnos, tanto máximos como mínimos, se toman en cuenta los valores mínimos arrojados para cada escenario tal y como se muestra en la Tabla 16, esto sin importar de que pieza se trate, ya que de acuerdo con la problemática planteada, de manera general, lo importante es conocer la cantidad de fusiles Cal. 5.56 mm que se pueden producir y no los lotes de las piezas que se pudieran producir, ya que aunque se produzcan una mayor cantidad de lotes para ciertas piezas, no es posible ensamblar una cantidad de fusiles mayor al de la pieza que menos se produce, es decir, que la pieza que arroje el menor número de lotes producidos limita la cantidad de fusiles a ensamblar.

Experimento (escenario)	Pieza	Número máquinas disponible	Número de turnos trabajados	Número de lotes producidos
1	CANO	53	1	7
	BTGA	34	1	30
	REGU	22	1	37
	CACI	22	1	30
	CPAR	23	1	165
2	CANO	53	Turnos considerados en el modelo de la situación actual	221
	BTGA	34		173
	REGU	22		191
	CACI	22		240
	CPAR	23		140
3	CANO	75	1	10
	BTGA	49	1	43
	REGU	29	1	74
	CACI	26	1	91
	CPAR	31	1	313
4	CANO	75	Turnos considerados en el modelo de la situación actual	323
	BTGA	49		327
	REGU	29		325
	CACI	26		325
	CPAR	31		327

Tabla 15.- Resultados del diseño de experimentos para el número de lotes producidos.
Fuente: Elaboración propia (2017).

Experimento	Número máquinas disponibles	Número de turnos trabajados	Número de fusiles
1	154	1	700
2	210	1	1400
3	154	>1	1000
4	210	>1	32 300

Tabla 16.- Resultados considerados para del diseño de experimentos del número de fusiles producidos. Fuente: Elaboración propia (2017).

A partir de los resultados de la tabla anterior, se analizaron los resultados mediante el empleo del software Minitab™ versión 17, en el cual se ingresaron los valores correspondientes a los dos factores y los resultados arrojados por el modelo de simulación para las cuatro corridas realizando un diseño factorial completo, obteniéndose los resultados que se muestran de las Figuras 23 a la 25.

En las Figuras 24 y 25, se observa la incidencia que tiene en el número de fusiles producidos, el número de turnos y el número de máquinas disponibles para el proceso de producción de piezas, en este caso observamos que el número de turnos que se puedan trabajar tiene un efecto más significativo para el proceso de producción, por lo cual es un recurso indispensable a considerar sobre todo en aquellas operaciones donde se encuentre un mayor porcentaje de utilización.

En la Figura 26, se observa que el número de máquinas disponibles se mantiene en la media ajustada del número de fusiles producidos, por lo cual este factor no influye de manera significativa como lo es el número de turnos.

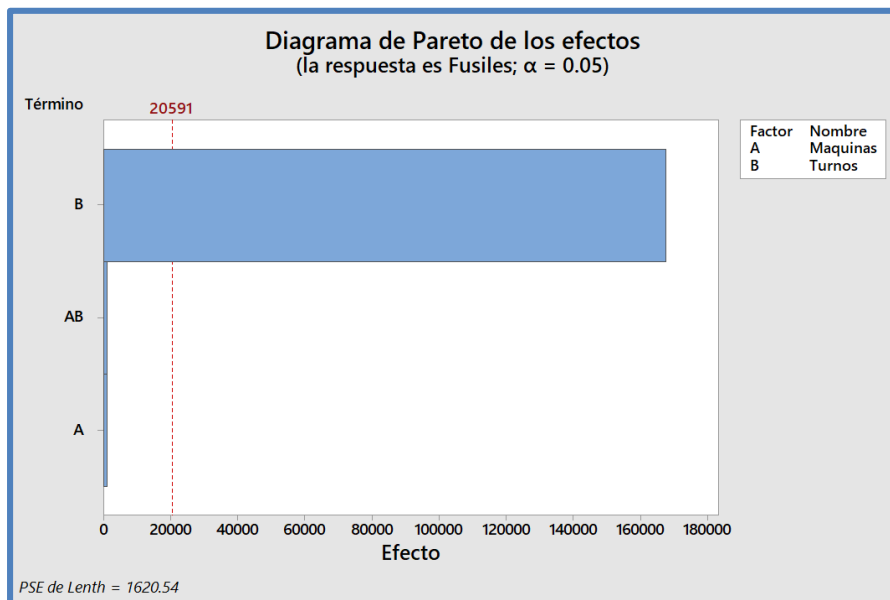


Fig. 24.- Gráfica de Pareto de los efectos. Fuente: Elaboración propia (2017).

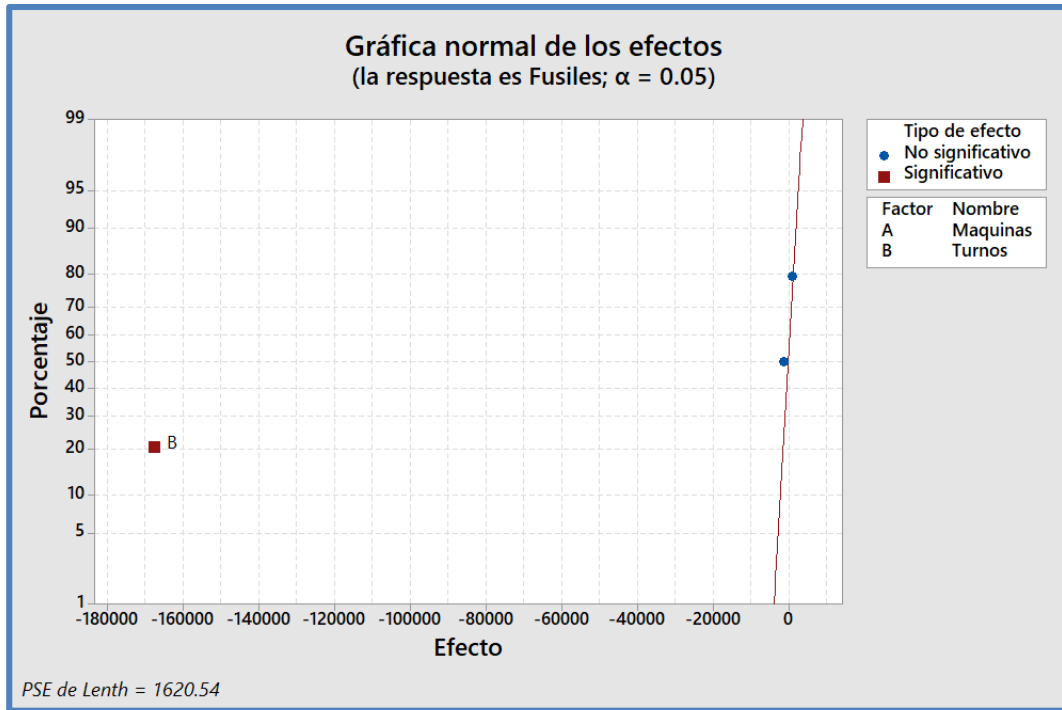


Fig. 22.- Gráfica normal de los efectos.
Fuente: Elaboración propia (2017).

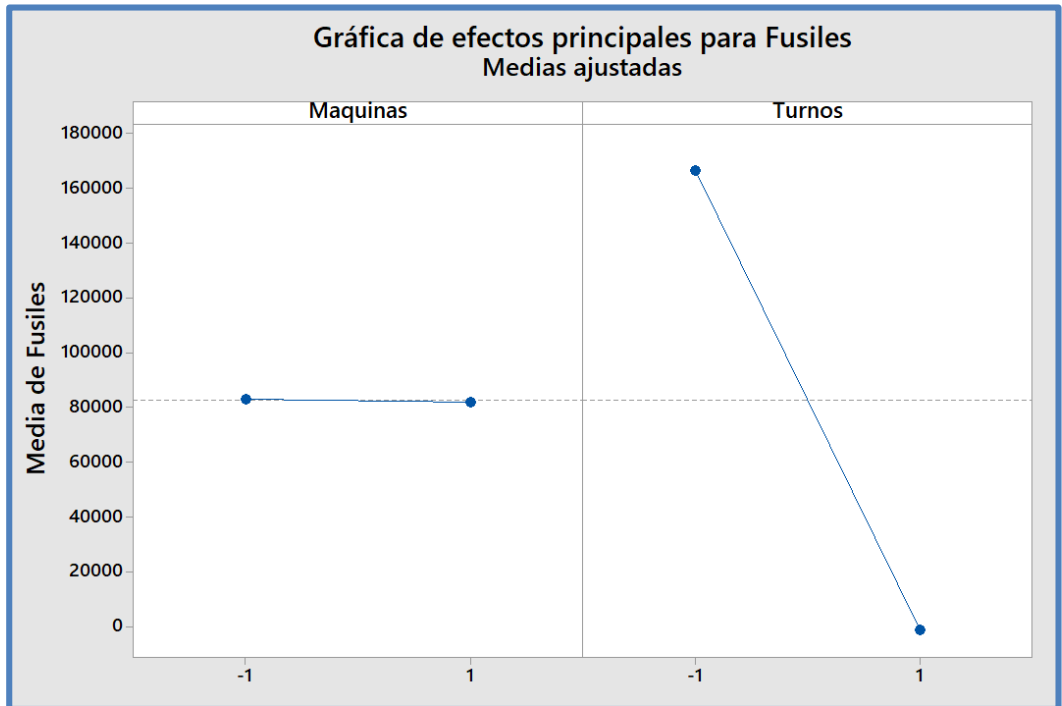


Fig. 23.- Gráfica de efectos principales para fusiles.
Fuente: Elaboración propia (2017).

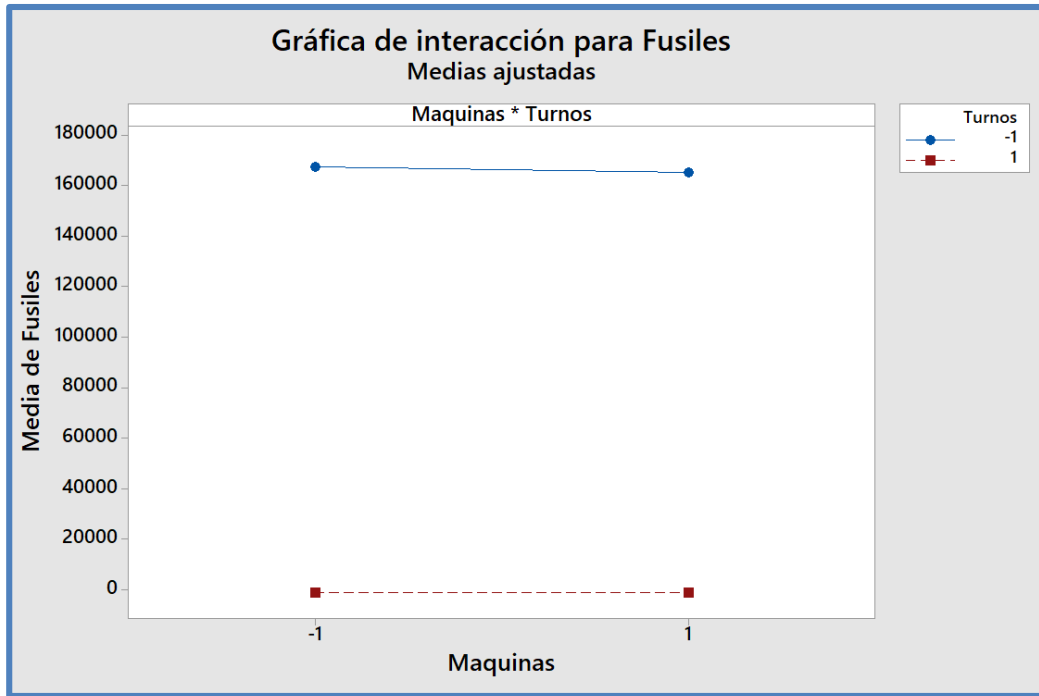


Fig. 24.- Gráfica de interacción para la producción de fusiles.
Fuente: Elaboración propia (2017).

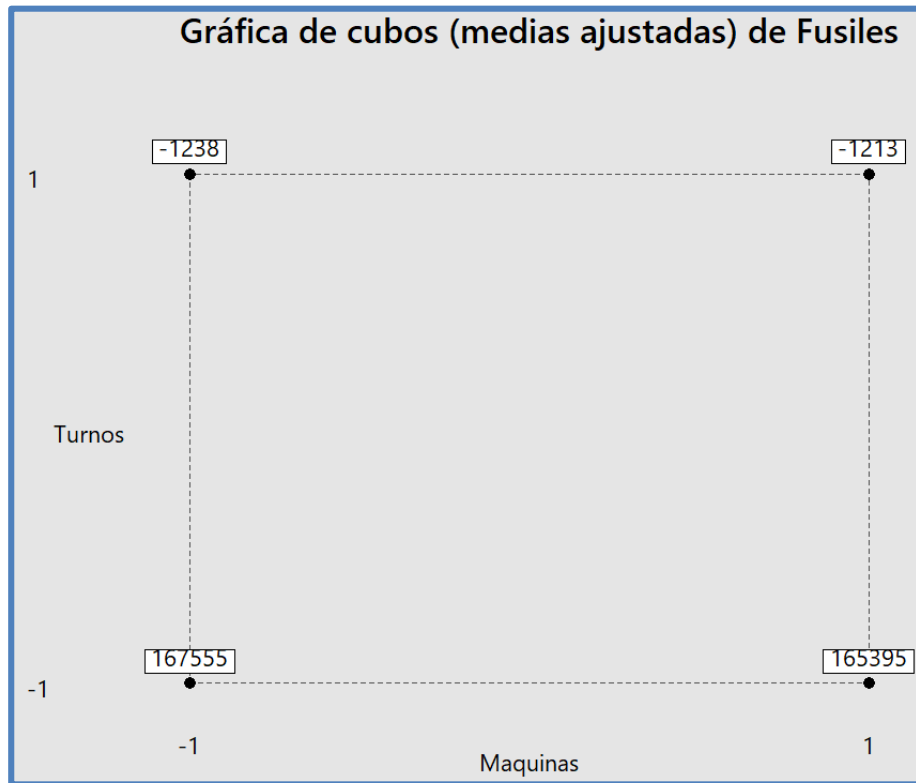


Fig. 25.- Gráfica de cubos para la producción de fusiles.
Fuente: Elaboración propia (2017).

3.11 Más corridas

Las corridas realizadas son suficientes para observar resultados confiables, por otro lado, es posible analizar con las mismas el proceso de fabricación de fusiles, de igual forma se puede decir que no es necesario simular más escenarios.

3.12 Documentación y presentación de informes

De los resultados que arroja el modelo de simulación, se decidió contemplar la cantidad de lotes producidos de piezas y el tiempo de producción de los lotes; como se indicó en la Sección 3.6, a través de la interfaz gráfica en el software de simulación podemos visualizar los resultados obtenidos en las Figuras de la 29 a la 33 para cada una de los procesos de las piezas simuladas.

En la Tabla 17, se pueden observar a manera de resumen, los resultados obtenidos para el modelo de simulación del sistema actual a través de indicadores importantes.

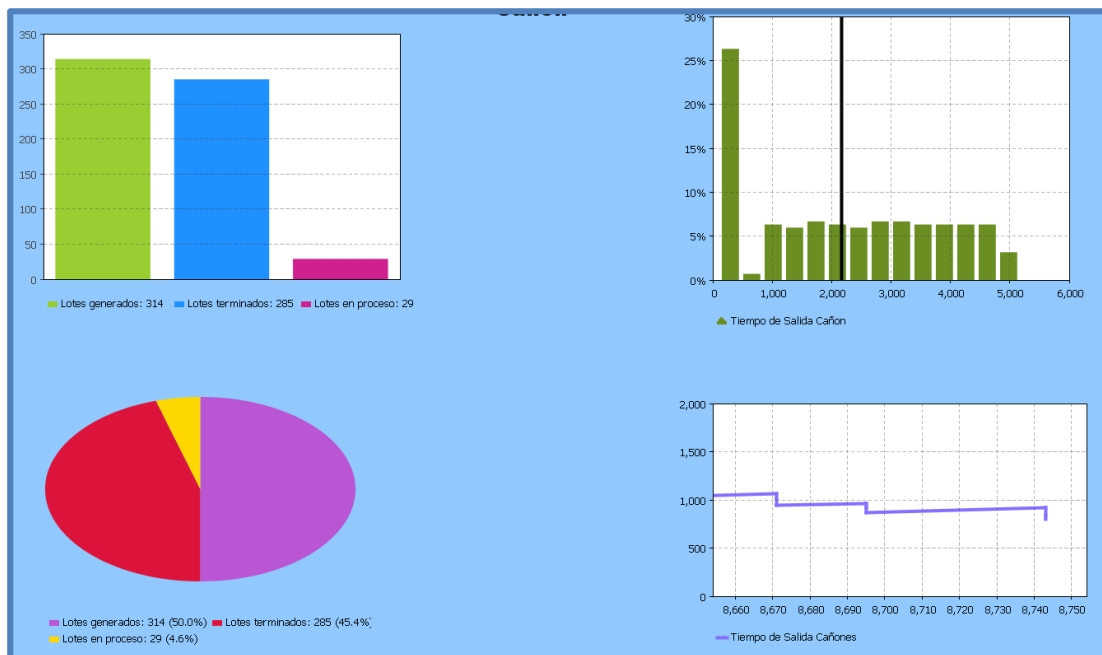


Fig. 26.- Gráficos generados del proceso de producción para la pieza CANO.

Fuente: Elaboración propia (2017).

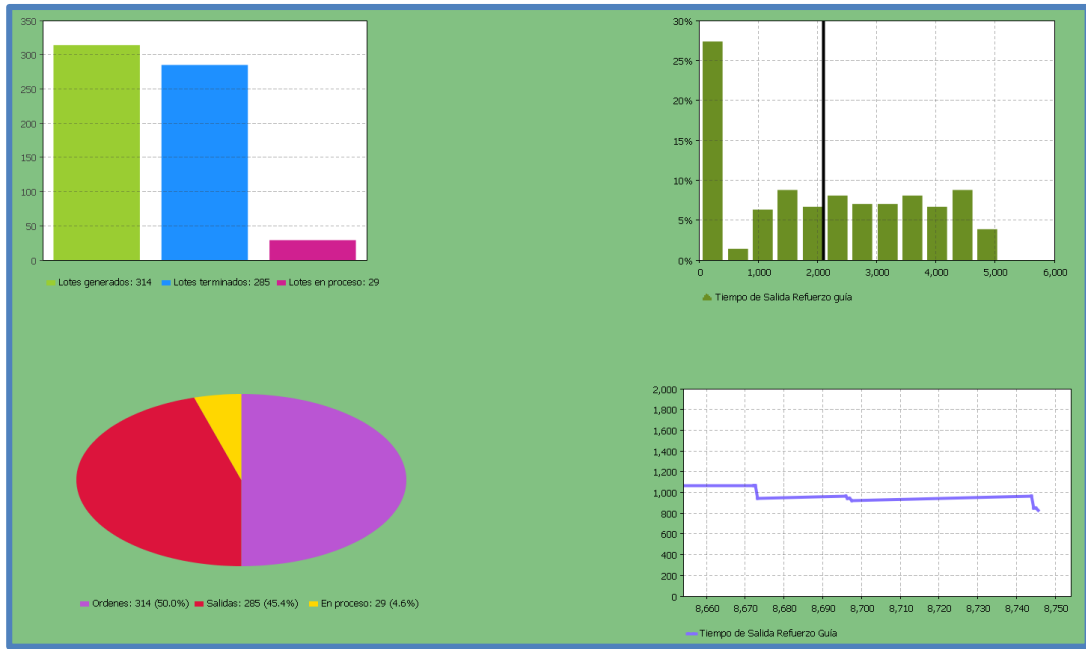


Fig. 27.- Gráficos generados del proceso de producción para la pieza REGU.
Fuente: Elaboración propia (2017).

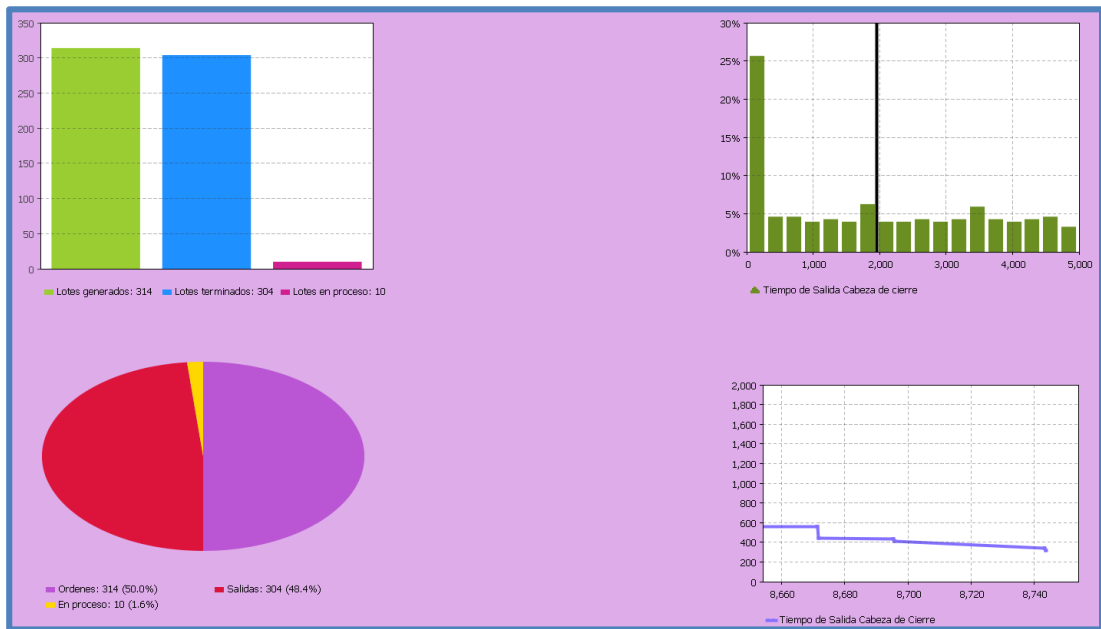


Fig. 28.- Gráficos generados del proceso de producción para la pieza CACI.
Fuente: Elaboración propia (2017).

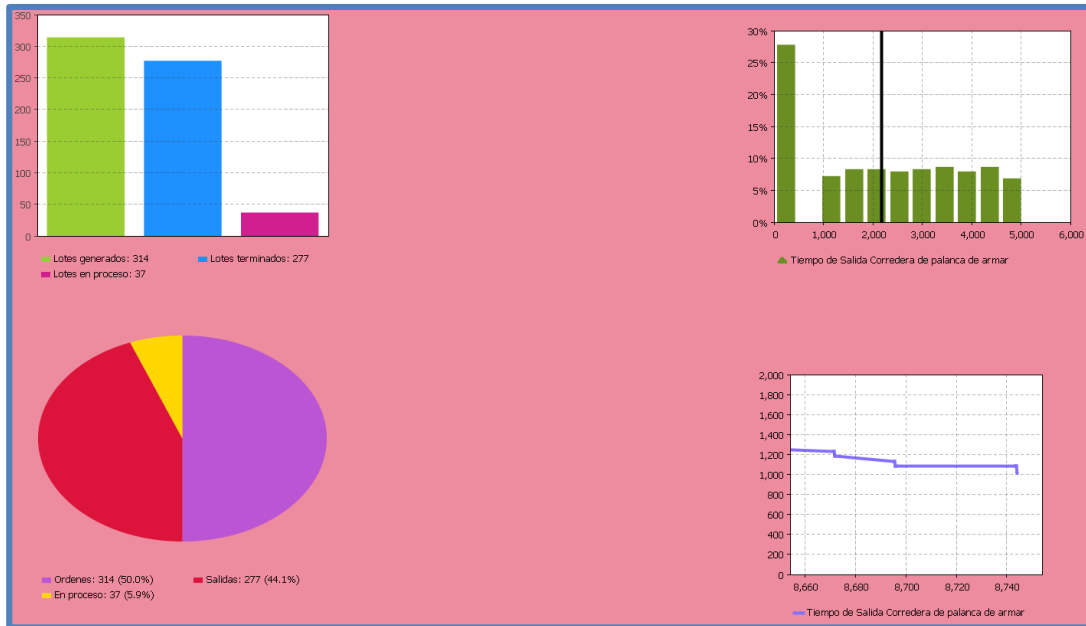


Fig. 29.- Gráficos generados del proceso de producción para la pieza CPAR.
Fuente: Elaboración propia (2017).

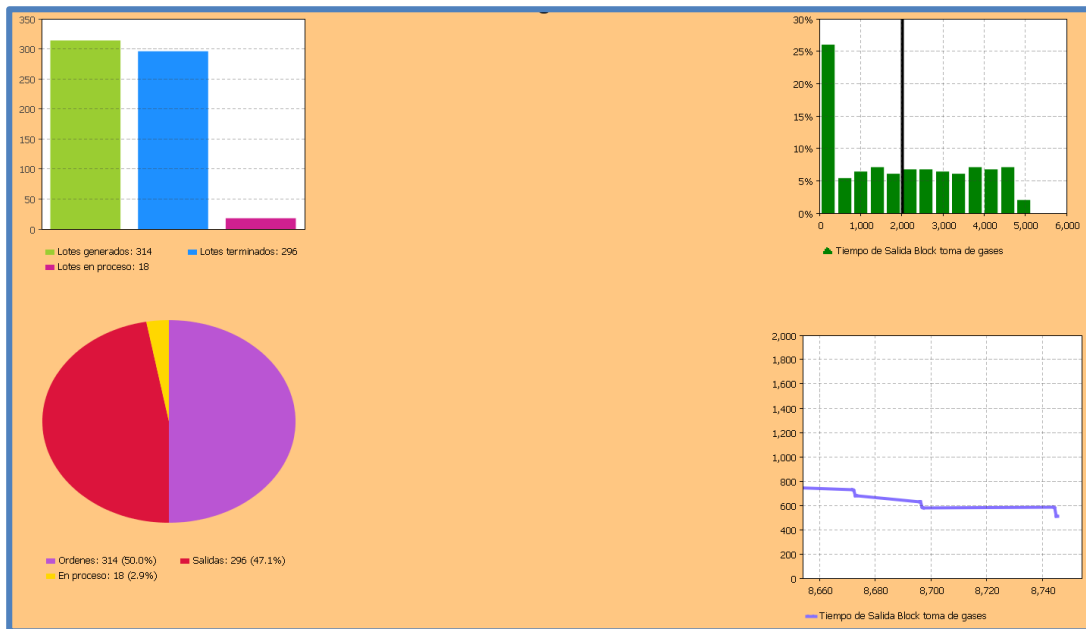


Fig. 30.- Gráficos generados del proceso de producción para la pieza BTGA.
Fuente: Elaboración propia (2017).

PIEZA MÉTRICA	CANO	BTGA	REGU	CACI	CPAR
Número promedio de lotes generados	314	314	312	312	314
Número promedio de lotes en proceso	31	20	31	12	38
Número promedio de lotes producidos	301	297	307	294	303
Tiempo promedio de producción por lote [horas]	2 178.75	2 026.10	2 039.60	1 975.39	2 171.80
Número de fusiles producidos	29 400				

Tabla 17.- Resultados de la situación actual del proceso de fabricación de fusiles Cal. 5.56 mm. Fuente: Elaboración propia (2017).

En el siguiente Capítulo, se lleva a cabo el planteamiento de las propuestas factibles, al problema de los retrasos en la fabricación de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm; con la finalidad de desarrollar escenarios de simulación con su correspondiente análisis para incrementar en un 20% la producción de fusiles Cal. 5.56 mm respecto a la situación actual.

Capítulo IV. ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA PARA INCREMENTAR UN 20% LA PRODUCCIÓN DE UN FUSIL

4.1 Balanceo de líneas

De acuerdo con la problemática y al objetivo planteados en esta tesis, en este Capítulo se analiza y propone un escenario de simulación para lograr incrementar un 20 % la producción de fusiles Cal. 5.56 mm, mediante cambios factibles en la distribución física de la fábrica y el diseño de estaciones de trabajo, para los cuales se implementa un modelo de simulación para recomendar a la Gerencia la adopción del curso de acción que resulte más favorable para la toma de decisiones.

Los autores Suñé, Arcusa y Gil (2004), señalan que el aspecto más interesante en el diseño de una línea de producción o montaje consiste en repartir las tareas de modo que los recursos productivos estén utilizados de la forma más ajustada posible, a lo largo de todo el proceso.

Para poder realizar el balanceo del proceso de producción de piezas para el fusil Cal. 5.56 mm, se requiere subdividir todo el proceso en estaciones de trabajo donde se realicen un conjunto de tareas, de modo que en la medida de lo posible la carga de trabajo de cada estación se encuentre lo más ajustada y equilibrada posible a un tiempo de ciclo.

Se calcula el takt time, el cual nos señalará el tiempo máximo que el operador debe trabajar una pieza antes de pasarla al siguiente operador, en este caso, será el tiempo que el operador en una determinada estación de trabajo u operación debe trabajar un lote de 100 piezas, es decir, el tiempo máximo que el lote debe durar en cada operación o actividad.

A fin de calcular el takt time, se hacen los cálculos correspondientes para un día normal de trabajo. Para ello se divide el total de horas trabajadas en un turno normal por día (7 horas), entre la demanda diaria, en este caso se considerará que se requiere un incremento del 20 % de la producción respecto a la demanda actual, tal y como se indica a continuación:

Demanda anual de fusiles = 30 000, aumentando el 20% de esta demanda, tenemos que:

Producción objetivo= 36 000

36 000 fusiles / 12 meses = 3 000 fusiles / mes

3 000 fusiles / 4 semanas = 750 fusiles / semana

$$750 \text{ fusiles} / 6 \text{ días} = 125 \text{ fusiles} / \text{ día}$$

$$125 \text{ fusiles} / 100 \text{ lote} = 1.25 \text{ lotes} / \text{ día}$$

Por lo tanto:

$$\textit{T tiempo takt} = \frac{\textit{T tiempo total disponible}}{\textit{Demanda}} = \frac{7 \text{ horas}}{1.25 \text{ lotes}} = 5.6 \text{ horas/lote} \quad \textit{Ec. (5)}$$

Del cálculo anterior, podemos decir que cada uno de los lotes de piezas para el fusil Cal. 5.56 mm se deben de producir en un tiempo aproximado de 5.6 horas cada uno. Así mismo, en las Gráficas de los anexos F al J, se observan los tiempos ciclo estimados para cada una de las operaciones, mismos que fueron introducidos en el modelo de simulación para cada una de las operaciones de las piezas elegidas como las más representativas del proceso de fabricación del fusil Cal. 5.56 mm.

Obtenida esta información se puede decir, que los tiempos para todas las operaciones están por debajo del tiempo takt calculado, lo cual indica que si es posible alcanzar la meta de producción de fusiles que se demanda, sin embargo se observa que las operaciones no se encuentran balanceadas del todo, existiendo algunas que tienen tiempo ocioso y otras con algunas colas, tal y como se observó en la animación del modelo de simulación del estado actual, todo esto supone que existen desperdicios de otro tipo, como el mencionado en el transporte, es decir, el traslado de operación en operación.

Como se mencionó anteriormente, se buscará en la medida de lo posible equilibrar las tareas a un tiempo ciclo para evitar desperdicio por tiempo ocioso y las colas que se generan en algunos procesos.

Para realizar el balanceo se combinaron actividades para buscar ajustarlas en base a la operación que tiene mayor tiempo ciclo, es decir el cuello de botella, para que la carga de trabajo se encuentre nivelada en la medida de lo posible entre cada uno de los operadores o estaciones de trabajo buscando eliminar las colas, el tiempo ocioso y aumentar la productividad, lo cual se verificará con el modelo de simulación para la propuesta de mejora.

En las Tablas de la 18 a la 22, se muestra la asignación de las operaciones para el diseño de las posibles estaciones de trabajo para cada uno de los procesos de las piezas. De igual manera, se establecieron los turnos de trabajo con la finalidad de buscar sincronización en el trabajo; en las Gráficas de la 10 a la 14, se pueden observar los resultados después de haber realizado el balanceo de las operaciones, proponiendo la subdivisión pero sobre todo la realización de algunas de estas en una sola estación de trabajo.

Estación	Operación	Tiempo de la operación por lote de 100 piezas (horas)	Tiempo de operación de la estación por lote de 100 piezas (horas)	Número de turnos actuales	Número de turnos propuestos
1	MECANIZAR	0.60	5.70	1	3
	TALADRAR BARRENO	3.08		3	
	TORNEAR ESPIGA	1.26		3	
	AVELLANAR LADOS	0.76		1	
2	TORNEAR FORMA	3.08	3.08	3	2
3	ESCARIAR	6.16	6.16	3	2
4	FORJADO EN FRÍO	2.85	4.27	3	2
	ENDEREZAR Y VERIFICAR RECTITUD	0.38		1	
	CORTAR LONGITUD DE LA RECÁMARA	1.04		2	
5	AVELLANAR RECÁMARA	0.15	2.27	1	2
	CAREAR LONGITUD DE LA RECÁMARA	1.51		1	
	AVELLANAR BOCA Y RECÁMARA	0.46		2	
	LAVAR CON GASOLINA BLANCA	0.15		1	
6	DESBASTE PREVIO DE FORMA	2.33	4.63	1	2
	TORNEAR ACABADO	2.00		3	
	INSPECCIÓN INTERMEDIA	0.30		2	
5	LAVAR CON GASOLINA BLANCA	0.10	4.68	1	2
	ENDEREZAR PIEZA	0.70		1	
	TRONZAR A MEDIDA FINAL Y BISELAR	0.70		3	
	FRESAR MUESCAS	0.25		3	
	AVELLANAR BOCA	0.50		3	
	LAVAR CON GASOLINA BLANCA	0.11		1	
	LIMPIAR (INTERIOR)	0.11		1	
	RECTIFICAR	2.21		2	
6	RANURAR, TALADRAR Y FRESAR	2.80	3.24	3	2
	REBABAR RANURAS	0.44		2	

Estación	Operación	Tiempo de la operación por lote de 100 piezas (horas)	Tiempo de operación de la estación por lote de 100 piezas (horas)	Número de turnos actuales	Número de turnos propuestos
7	AVELLANAR AMBOS LADOS	0.68	3.40	2	2
	MECANIZAR ROSCA	0.60			
	LAVAR Y BAQUETEAR	0.60			
	INSPECCIÓN Y REPASAR SUPERFICIE	1.12			
	MARCADO	0.20			
	INSPECCIÓN INTERMEDIA	0.20			
8	GRANALLAR	0.13	0.13	1	1
9	PAVONAR Y ACEITAR	0.06	0.06	1	1
10	LAVAR CON GASOLINA BLANCA	0.07	2.12	3	3
	PULIR RECÁMARA	0.81			
	CEPILLAR Y BAQUETEAR	0.15			
	ENDEREZAR	1.10			
11	ACEITAR	0.01	0.01	1	1

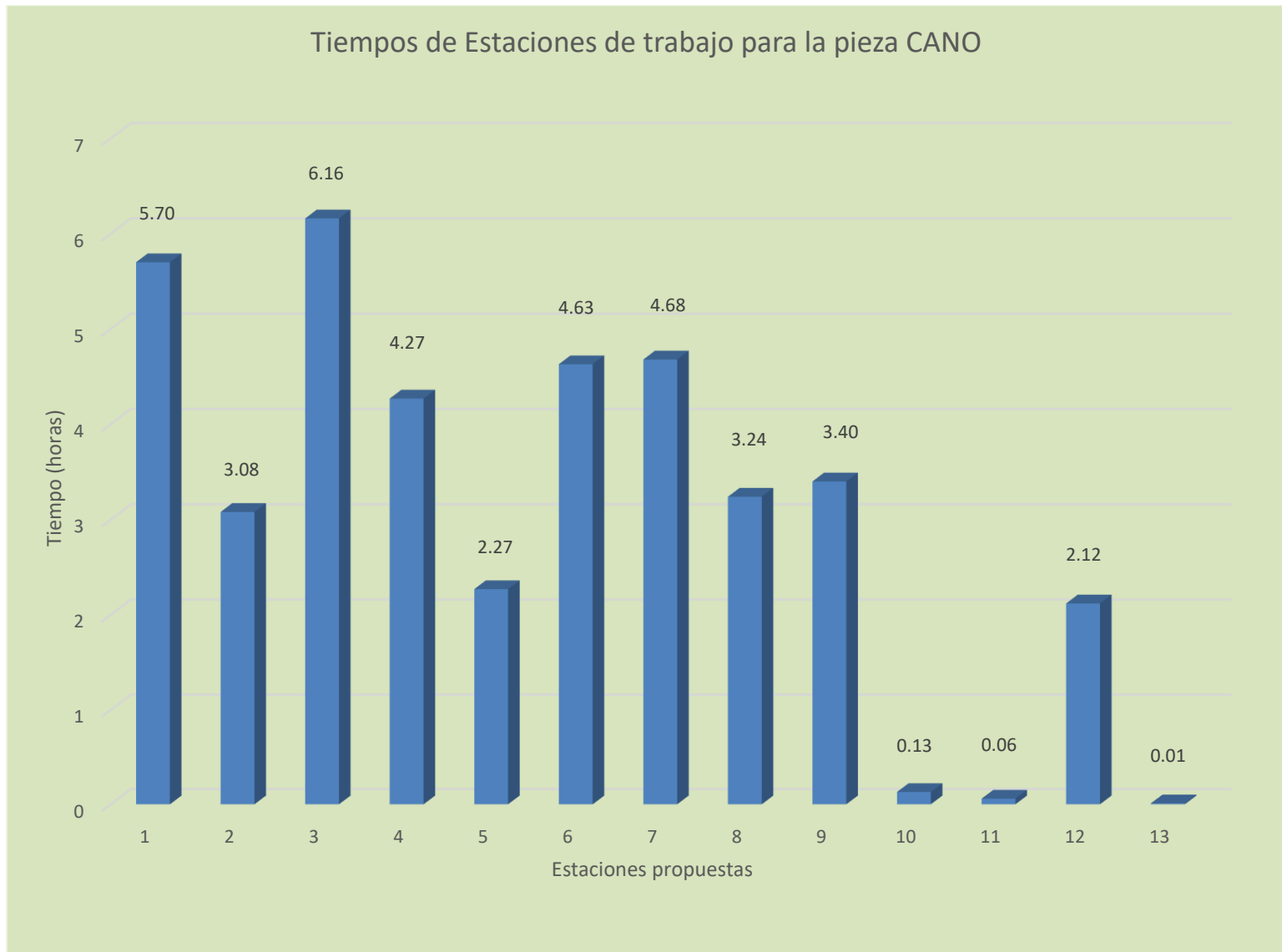
Tabla 18.- Asignación de las operaciones para el diseño de estaciones de trabajo para la pieza CANO.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Se puede observar de la tabla anterior, que de acuerdo con las nuevas estaciones de trabajo diseñadas para la pieza CANO, para 6 operaciones disminuiría el número de turnos trabajados de 3 a 2, respecto a los que actualmente se encuentran trabajando, mientras que los demás permanecerían exactamente igual tomando en consideración que en algunas el número máximo de turnos es igual al número de turnos propuesto para la estación.

De la tabla 19, para la pieza BTGA, se puede observar que en una operación disminuye el turno de trabajo de 3 turnos a 2 turnos y en dos estaciones de trabajo se recomienda aumentar 1 turno más de trabajo, quedando las demás operaciones exactamente igual con un turno de trabajo.

Respecto a la tabla 20, para la pieza CACI, se puede decir que sólo en dos estaciones se requiere aumentar de 1 turno a 2 turnos dos operaciones, quedando las demás exactamente iguales.

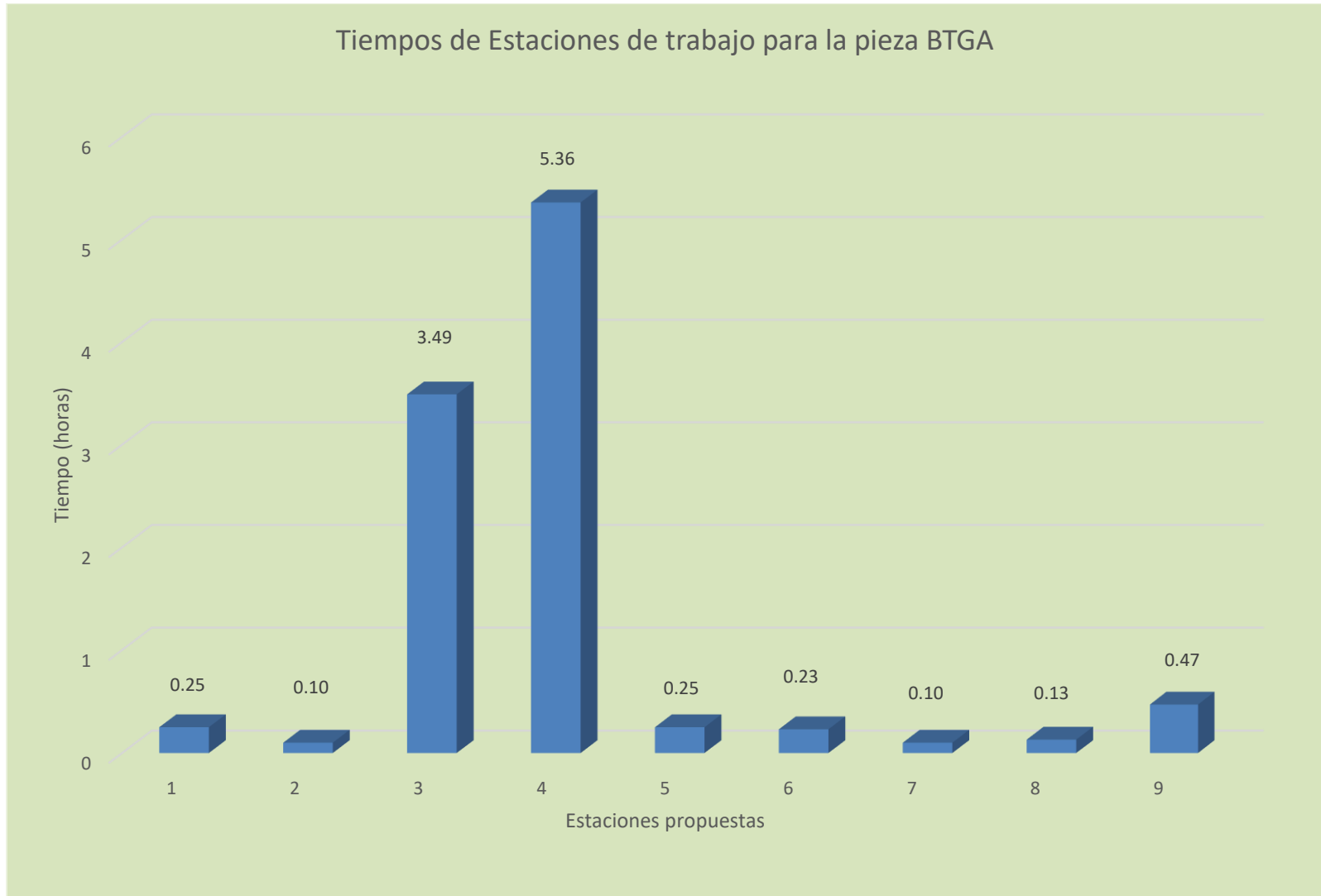


**Gráfica 10.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza CANO.
Fuente: Elaboración propia (2018).**

Estación	Operación	Tiempo de la operación por lote de 100 piezas (horas)	Tiempo de operación de la estación por lote de 100 piezas (horas)	Número de turnos actuales	Número de turnos propuesto
1	CORTAR MATERIAL	0.25	0.25	1	1
2	LAVAR	0.10	0.10	1	1
3	REBABAR PIEZA	0.12	3.49	1	2
	FRESAR 1er. CANTO	0.44		1	
	REBABAR PIEZA	0.30		1	
	FRESAR 2do. CANTO	0.30		1	
	REBABAR PIEZA	0.30		1	
	RECTIFICAR A MEDIDA	0.13		1	
	REBABAR PIEZA	0.30		1	
	FRESAR 2 CARAS	0.44		1	
	REBABAR PIEZA	0.30		1	
	FRESAR 2 CARAS	0.44		1	
	REBABAR PIEZA	0.30		1	
	RECTIFICAR A MEDIDA	0.13		1	
4	REBABAR PIEZA	0.22	5.36	1	2
	INSPECCIÓN INTERMEDIA	0.15		1	
	FRESAR ALTURA PREVIA	0.40		3	
	REBABAR PIEZA	0.22		1	
	FRESAR LONGITUD	2.96		2	
	REBABAR PIEZA	0.22		1	
	BARRENAR Y AVELLANAR	0.75		1	
REBABAR PIEZA COMPLETAMENTE	0.45	1			
5	AVELLANAR BARRENOS	0.02	0.25	1	2
6	FRESAR ANGULO	0.10	0.23	1	1
	REBABAR PIEZA COMPLETAMENTE	0.13		1	
7	LAVAR	0.10	0.10	1	1
8	TROWALIZAR (COLOCANDO TAPÓN)	0.13	0.13	1	1
9	FOSFATAR Y ACEITAR	0.47	0.47	2	2

Tabla 19.- Asignación de las operaciones para el diseño de estaciones de trabajo para la pieza BTGA.

Fuente: Elaboración propia (2018).



Gráfica 11.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza BTGA.
Fuente: Elaboración propia (2018).

Estación	Operación	Tiempo de la operación por lote de 100 piezas (horas)	Tiempo de operación de la estación por lote de 100 piezas (horas)	Número de turnos actuales	Número de turnos propuesto
1	MAQUINAR PIEZA	2.86	2.86	1	1
2	MARCAR	0.04	1.62	1	3
	MAQUINAR DIENTES	1.26		1	
	REBABAR DIENTES Y RANURA	0.30		1	
	FRESAR RADIO PARA EXTRACTOR	0.02		3	
3	LAVAR	0.03	0.03	1	1
4	TROWALIZAR	0.09	0.09	1	1
5	RELEVADO DE ESFUERZOS	0.96	0.96	1	2
6	GRANALLAR	0.03	0.03	1	1
7	COMPROBAR DUREZA	0.14	0.14	1	1
8	APLICAR ANTIOXIDANTE	0.03	0.03	1	1
9	RECTIFICAR ESPIGA	0.12	0.25	1	2
	REFRENTAR LONGITUD	0.12		1	
	REBABAR PIEZA	0.01		1	
10	LAVAR	0.05	0.05	1	1
11	TROWALIZAR	0.08	0.18	1	1
	INSPECCIÓN DE RECEPCIÓN	0.10		1	

Tabla 20.- Asignación de las operaciones para el diseño de estaciones de trabajo para la pieza CACI.

Fuente: Elaboración propia (2018).

En la tabla 21, para la pieza REGU, se puede observar que para una estación se propone disminuir el turno de trabajo de 3 turnos a 2 turnos, quedando las demás estaciones exactamente con los mismos turnos que trabajan actualmente.

Finalmente en la Tabla 22, para la pieza CPAR una operación disminuiría el número de turnos trabajados de 2 turnos a 1 turno y dos operaciones requerirían aumentar de un turno a dos turnos de trabajo.



Gráfica 12.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza CACI.
Fuente: Elaboración propia (2018).

Estación	Operación	Tiempo de la operación (horas)	Tiempo de operación de la estación por lote de 100 piezas (horas)	Número de turnos actuales	Número de turnos propuesto
1	TROQUELAR PIEZA CON BISEL	0.15	0.15	1	1
2	LAVAR	0.04	0.04	1	1
3	NORMALIZAR	1.02	1.20	1	1
4	ENDEREZAR PIEZA TROQUELADA	0.05	0.05	1	1
5	REBABAR PIEZA TROQUELADA	0.17	0.82	1	2
	RECTIFICAR PRIMERA CARA	0.30		3	
6	ENDEREZAR PIEZA RECTIFICADA	0.17	0.17	1	1
7	RECTIFICAR SEGUNDA CARA	0.30	2.02	1	3
	REBABAR PIEZA RECTIFICADA	0.08		1	
	RECTIFICAR 1ER. CANTO	0.75		3	
	REBABAR PIEZA RECTIFICADA	0.33		3	
	RECTIFICAR 2º CANTO	0.50		3	
	REBABAR PIEZA COMPLETAMENTE	0.03		3	
	LAVAR	0.02		3	
8	BARRENAR 10 DIÁMETROS	0.27	2.47	1	3
	FRESAR 4 BISELES	2.24		1	
	REBABAR PIEZA	0.10		1	
9	TROWALIZAR	0.05	0.05	1	1
10	RECTIFICAR MEDIDA FINAL	0.25	0.25	1	2
11	LAVAR	0.02	0.02	1	1
12	GRANALLAR	0.03	0.03	1	1
13	FOSFATAR Y ACEITAR.	0.20	0.20	2	2
	ENDEREZAR PIEZA	0.27		1	
	INSPECCIÓN FINAL	0.05			

Tabla 21.- Asignación de las operaciones para el diseño de estaciones de trabajo para la pieza REGU.

Fuente: Elaboración propia (2018).



**Gráfica 13.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza REGU.
Fuente: Elaboración propia (2018).**

Estación	Operación	Tiempo de la operación (horas)	Tiempo de operación de la estación por lote de 100 piezas (horas)	Número de turnos actuales	Número de turnos propuesto
1	CORTAR MATERIAL	0.27	0.27	2	1
2	LAVAR	0.13	0.13	2	2
3	NORMALIZAR	0.60	0.60	1	1
4	FRESAR LARGO	1.90	3.27	1	2
	FRESAR 4 CHAFLANES	0.22		1	
	RECTIFICAR PRIMER LADO	0.08		1	
	HACER 2 RANURAS	0.15		1	
	FRESAR 4 CHAFLANES	0.92		1	
5	TROWALIZAR	0.02	0.02	1	1
6	REBABAR TODA LA PIEZA	0.23	0.17	1	1
7	LAVAR	0.07	0.07	1	1
8	RELEVADO DE ESFUERZOS	0.25	0.30	1	2
	COMPROBAR DUREZA	0.05		1	
9	LAVAR	0.004	0.004	1	1
10	TROWALIZAR	0.26	0.26	1	1
11	ACEITAR	0.07	0.07	1	1

Tabla 22.- Asignación de las operaciones para la formación de las estaciones de trabajo para la pieza CPAR.
Fuente: Elaboración propia (2018).

Podemos decir de las tablas anteriores, que en general se requeriría disminuir en total para 8 operaciones, o estaciones de trabajo, los turnos de trabajo de 3 turnos a 2 turnos y para 1 operación disminuir de 2 turnos a 1 turno de trabajo, también se observa que es conveniente aumentar para 6 operaciones los turnos de trabajo de 1 turno a 2 turnos.

El aumentar turnos de trabajo para las 6 operaciones mencionadas pudiera parecer no factible para la fábrica, sin embargo se deberá realizar un estudio más detallado al respecto, ya que el tener estaciones de trabajo implica en muchos casos una disminución de operarios, ya que

actualmente se considera un operador por máquina y para las estaciones de trabajo no necesariamente se requeriría un operador por máquina ya que un operador pudiera llevar a cabo más de una operación, redistribuyendo a los demás operadores en los turnos subsecuentes.



Gráfica 14.- Tiempos de las estaciones de trabajo propuestas para la pieza CPAR.
Fuente: Elaboración propia (2018).

Como se puede observar en las Gráficas de la 10 a 14, la distribución de trabajo para las estaciones propuestas es en algunas operaciones mejor, comparada con la distribución de las operaciones del estado actual (ver anexos F al J), aunque no totalmente, debido a ciertas limitaciones, tales como: la conveniencia de la ubicación de ciertos equipos y maquinaria en ciertos talleres debido a que como se mencionó anteriormente no es el único producto fabricado, así como la facilidad de proporcionarles mantenimiento, la falta de operarios y el tipo de distribución de planta, los cuales son algunos factores que inciden en que no se pueda sincronizar el trabajo totalmente, sin embargo, el objetivo principal en este trabajo de investigación, es lograr un incremento de por lo menos un 20% en la producción de piezas para fusil, para poder lograr el objetivo de fabricar cuando menos 36 000 fusiles Cal. 5.56 mm anualmente, llevando a cabo también el diseño de una propuesta a la distribución física que sea factible, como se verá en las secciones subsecuentes, considerando los aspectos mencionados anteriormente.

4.2 Selección del tipo de distribución

Como se indicó en el Capítulo 1, la fábrica de armamento cuenta actualmente con una distribución por proceso y aprovechando la posible redistribución de su fábrica, se considera para la propuesta de redistribución una distribución de este mismo tipo, debido a que como se mencionó en el Capítulo 2, este tipo de disposición es muy adecuada para la producción por lotes que es la forma en que se lleva a cabo la producción de piezas para fusil. A continuación se presentan las principales ventajas por las cuales se considera factible que la fábrica de armamento continúe teniendo este tipo de distribución física:

1. Hay una calidad mejorada del producto, debido a que los supervisores y los trabajadores tienen un alto nivel de conocimiento acerca de un tipo de maquinaria y las operaciones.

A pesar de que existen algunos procesos que se realizan en maquinaria convencional en la cual la calidad depende de la habilidad del operador, en cada uno de los talleres existen operadores, supervisores y Jefes de taller que se consideran especialistas debido a su nivel de conocimiento de algún proceso en específico ya que máquinas y operaciones similares se encuentran agrupadas de acuerdo con sus funciones.

2. Este tipo de distribución no tiene que ser cambiado cada vez que existan cambios de producto o componente

La Gerencia de la fábrica de armamento, en un plazo no mayor a cinco años, tiene contemplada la fabricación de nuevos productos, los cuales actualmente se encuentran en su fase de diseño y desarrollo, por lo tanto, no se requerirán

cambios significativos en la distribución física de la planta, una vez que dichos productos se empiecen a fabricar en serie.

3. Hay una mejor utilización de los equipos disponibles.

Como se mencionó en el punto anterior, debido a los nuevos productos que se pretenden fabricar, la maquinaria y equipo disponible en cada taller puede ser empleado para la fabricación de cualquier pieza independientemente del producto que se tenga contemplado en las órdenes de fabricación, así mismo el mantenimiento o descompostura de una maquina o equipo no afecta considerablemente la producción.

4. Las variedades de trabajos y diversidad de órdenes de trabajo pueden hacer el trabajo menos monótono para los trabajadores.

Debido a que el fusil Cal. 5.56 mm, no es el único producto que se manufactura en la fábrica de armamento existe cierta variedad de piezas a fabricar en cada uno de los talleres, disminuyendo la monotonía del trabajo en los operadores.

5. Los trabajadores de una sección no se ven afectados por la naturaleza de las operaciones llevadas a cabo en otra sección.

Este factor es primordial para la seguridad e higiene industrial, ya que los operadores de un taller no se ven afectados por alguna condición insegura ocurrida en algún otro taller (contaminación, temperatura, ruido, etc.), ya que la mayoría de las áreas de trabajo son independientes.

4.3 Selección del método para la nueva distribución

Como se indicó en la Sección 2.5 del Capítulo 2, existen diversas metodologías que sirven para diseñar y analizar la distribución física de una fábrica. Para el caso de la distribución de planta para la fábrica de armamento se considera conveniente emplear la metodología Systematic Plan Layout (SPL), debido a los siguientes aspectos:

1. De acuerdo con los autores A.M. Galindo-M. Tapia (2008), es la técnica más empleada en la actualidad, además de ser una técnica de análisis cualitativo, permite la participación por parte del personal de la empresa.
2. A través de esta técnica es posible establecer relaciones de cercanía entre talleres, ya que de acuerdo con la distribución física actual es factible dividir la fábrica en zonas, en este caso por talleres, tal y como se requiere para la aplicación de esta técnica.

3. Es una técnica de análisis y aplicación sencilla del problema de distribución física, además de ser de mucha utilidad si no se cuenta con mucha experiencia.

4.4 Análisis y determinación de la nueva distribución física de la fábrica

Como se mencionó en la Sección 1.3 del Capítulo 1, un aspecto importante a considerar para proponer mejoras a la distribución física actual, son los requerimientos de flujo de las piezas elegidas como las más representativas del proceso de fabricación del fusil Cal. 5.56 mm, ya que como se mencionó estas son las que requieren mayor número de traslados entre talleres, a partir de la visualización de movimiento y transporte a través de los procesos, se identificaron dos aspectos importantes a tomar en cuenta para la propuesta de la nueva distribución física con la finalidad de reducir hasta donde sea factible este tipo de desperdicio, tales aspectos son:

1. Existe una gran cantidad de distancia total recorrida entre procesos por todas las piezas elegidas como representativas (aproximadamente desde 893.65 m hasta 1.161 km). Por lo tanto, se deben encontrar propuestas en las cuales se reduzcan estas distancias.
2. Difícilmente se puede observar un flujo continuo de los procesos, ya que existen cruces durante el flujo de las piezas a través de los procesos. Por ello es importante que en la nueva distribución se reduzcan el número de los mismos.

4.5 Carta From-To

Con la finalidad de poder cuantificar los traslados que se realizan entre talleres durante el proceso de fabricación de las piezas más representativas del fusil Cal. 5.56 mm, se elaboró la carta From-To que se muestra en la Tabla 23, a fin de identificar entre cuales talleres existen mayor cantidad de traslados.

En esta Tabla se colocan en las filas y columnas los talleres previamente establecidos, las columnas representan las salidas y las filas representan las llegadas, en este caso, cada recuadro cuantifica los movimientos que existen entre taller y taller. Posteriormente se suman todos los traslados de cada par de recuadros y se obtiene la cantidad total de movimientos entre talleres, mismos que se indican. A mayor cantidad de traslados o movimientos entre talleres, existe mayor necesidad de cercanía entre talleres, lo que nos permitirá generar propuestas para proponer la nueva distribución física de la planta.

HACIA DESDE	Forjado	Torneado	Rectificado	Fresado C.N.C.	Limado	Torneado C.N.C.	Arenado	Pavonado	Fresado	Lavado	Taladrado	Trowalizado	Fosfato y pintura	Prensado	Tratamientos Térmicos
Forjado	X	1	1			1	1	1							
Torneado	1	X							1						
Rectificado			X	4	6					1				1	
Fresado C.N.C.			1	X	1				2						
Limado	1		4		X	1			5	5	1	1			
Torneado C.N.C.	1				1	X				1					
Arenado							X	1					1		1
Pavonado	1		1	1				X							
Fresado			4		6				X	2		1			
Lavado				1		1	1		1	X		3			3
Taladrado									1		X				
Trowalizado			1		1			2				X	1		1
Fosfato y pintura				1	1								X		
Prensado			1		1					1				X	
Tratamientos Térmicos					1		1		1	1				1	X

Tabla 23.- Carta From-To para cuantificación de traslados entre talleres.
Fuente: Elaboración propia (2018).

No.	Relación entre Talleres	Cantidad de Traslados
1	Limado-Fresado	11
2	Rectificado-Limado	10
3	Rectificado-Fresado C.N.C.	5
4	Limado-Lavado	5
5	Fresado-Rectificado	4
6	Lavado-Tratamientos Térmicos	4
7	Fresado-Lavado	3
8	Lavado-Trowalizado	3
9	Forjado-Torneado	2
10	Forjado-Pavonado	2
11	Forjado-Tornos C.N.C.	2
12	Rectificado-Prensado	2
13	Fresado C.N.C.-Fresado	2
14	Limado-Trowalizado	2
15	Torneado C.N.C.-Lavado	2
16	Arenado-Tratamientos Térmicos	2
17	Trowalizado-Pavonado	2
18	Forjado-Rectificado	1
19	Forjado-Arenado	1
20	Torneado-Fresado	1
21	Rectificado-Lavado	1
22	Fresado C.N.C.-Limado	1
23	Limado-Forjado	1
24	Limado-Taladrado	1
25	Arenado-Pavonado	1
26	Arenado-Fosfato y Pintura	1
27	Pavonado-Rectificado	1
28	Pavonado-Fresado C.N.C.	1
29	Lavado-Arenado	1
30	Taladrado-Fresado	1
31	Trowalizado-Rectificado	1
32	Trowalizado-Fosfato y Pintura	1
33	Trowalizado-Tratamientos Térmicos	1
34	Fosfato y Pintura-Limado	1
35	Prensado-Limado	1
36	Prensado-Lavado	1
37	Tratamientos Térmicos-Limado	1
38	Tratamientos Térmicos-Fresado	1
39	Tratamientos Térmicos-Prensado	1

**Tabla 24.- Cuantificación de traslados entre talleres.
Fuente: Elaboración propia (2018).**

A partir de la elaboración de la carta From-To, se elaboró la Tabla 24, donde se cuantifican de mayor a menor la cantidad de traslados entre talleres, en los casos en que existen tales traslados sin importar que se realicen de ida o de vuelta.

Con la elaboración de la carta From-To, de la Tabla 23 y de la cuantificación de movimientos mostrada en la Tabla 24, se estableció el grado de relación de cercanía entre talleres, definida por medio de letras con el significado que se define en la Tabla 25 de relaciones, esto con la participación de la Gerencia, los Jefes de Ingeniería y de Producción, estableciendo valores numéricos para cada letra.

Letra	Cantidad de traslados	Color de línea	Grado de cercanía
A	≥ 10	Rojo	Absolutamente necesario
E	5-10	Amarillo	Especialmente importante
I	3-4	Verde	Importante
O	2	Azul	Poco importante
U	1	Negro	Insignificante

Tabla 25.- Establecimiento del grado de cercanía entre talleres.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Tomando como base el plano de la distribución física actual de la fábrica, se elaboró el diagrama que se muestra en la Figura 34, con el objeto de visualizar la importancia de cercanía que debe existir entre los talleres en relación a su ubicación actual, que de acuerdo al grado de cercanía requerida previamente establecido en la Tabla 25 en base a la cuantificación de movimientos, se emplea para unir los departamentos y generar la propuesta para la nueva distribución física de la fábrica de armamento.

4.6 Propuesta de distribución de planta

A partir de la información obtenida por medio de la visualización de la Figura 34 y de la asignación de las operaciones realizada para el diseño de las estaciones de trabajo para cada uno de los procesos de las piezas elegidas como las más representativas, se elaboró la propuesta de distribución física de la fábrica, en la cual como se explicó anteriormente fue conveniente realizar una redistribución del mismo tipo (por proceso), misma que se muestra en el Anexo K.

Es así, que a partir de la distribución de planta propuesta y con la finalidad de poder observar la mejora en los requerimientos de flujo para todas estas piezas seleccionadas, se trazaron los diagramas que se presentan en las Figuras de la 35 a la 40, dichos diagramas se conocen también como diagramas de espagueti tal y como se indicó en el Capítulo I.

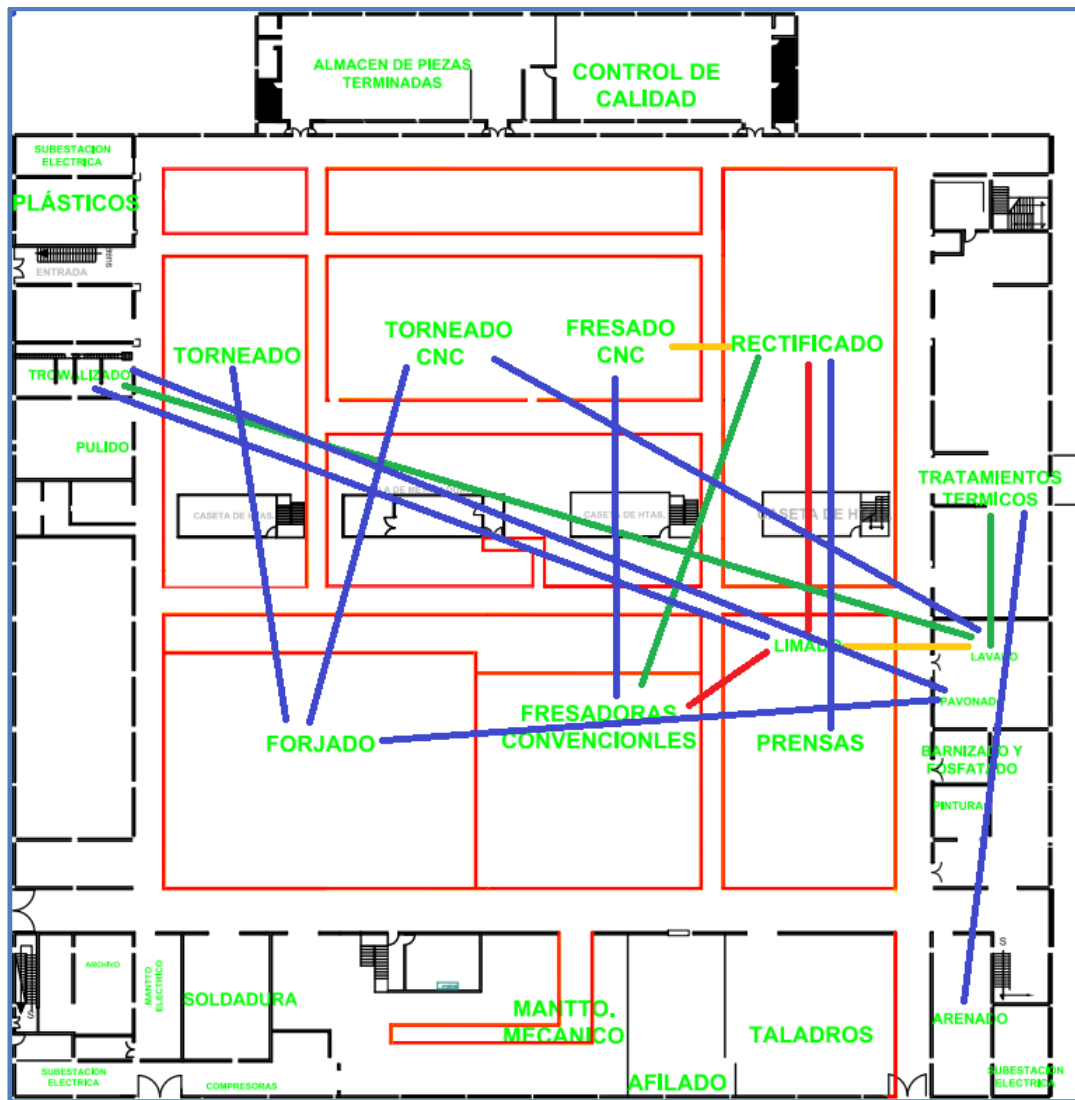


Fig. 31.- Visualización del grado de importancia de la cercanía entre talleres.
Fuente: Elaboración propia (2018).

Pieza	Distancia recorrida aproximada (m)	Distancia recorrida aproximada para la distribución propuesta (m)	Disminución de distancia recorrida (m)	Disminución de distancia recorrida (%)
REGU	1 161.23	1 077.22	84.01	7.23 %
BTGA	1 046.04	856.39	189.65	18.13 %
CANO	1 014.96	769.76	245.2	24.15 %
CPAR	921.48	911.58	9.9	1.07 %
CACI	893.65	748.9	144.75	16.19 %
TOTAL	5 037.36 m	4 363.85 m	673.51 m	

Tabla 26.- Comparación de la distancia recorrida por las piezas más representativas para la distribución física actual, respecto a la propuesta. Fuente: Elaboración propia (2018).

Por otra parte y con la ayuda de los diagramas de espagueti, en la Tabla 26 se muestra la comparativa de la distancia total recorrida aproximada por las piezas elegidas como las más representativas para el proceso de fabricación actual del fusil Cal. 5.56 mm con respecto a las distancias recorridas para la distribución propuesta.

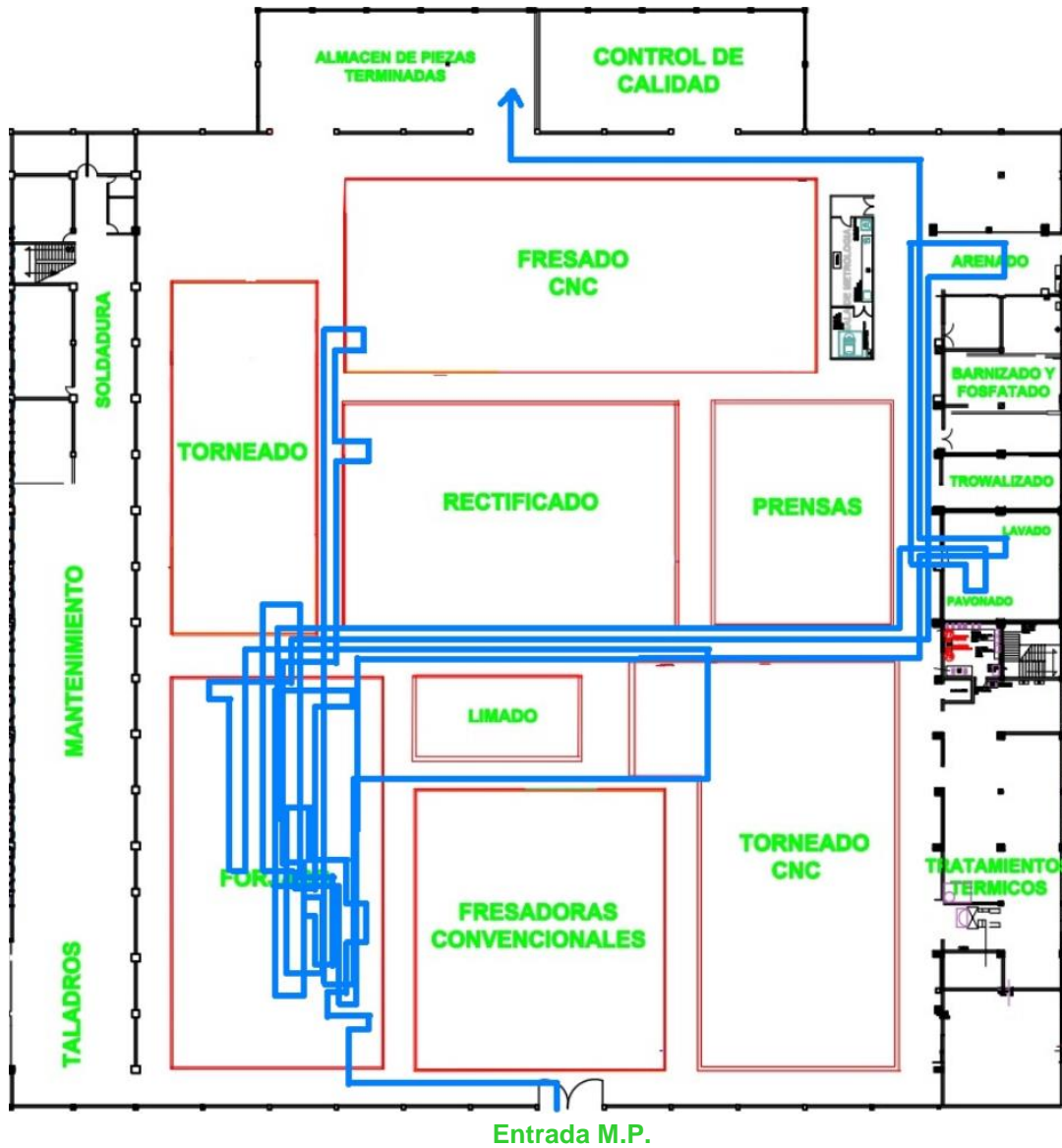


Fig. 32.- Diagrama de espagueti para la distribución física propuesta para la pieza CANO.
Fuente: Elaboración propia (2018).

En la Figura 35, observamos el recorrido que realizaría la pieza CANO para la distribución física propuesta a través de los diferentes talleres para que se le realicen las operaciones de maquinado necesarias, como se observa existe una reducción considerable de cruces y la mayor parte del flujo del proceso se concentraría en áreas más específicas, esto en comparación con la distribución física actual, también de la Tabla anterior (Tabla 26) esta pieza requeriría trasladarse una

distancia total aproximada de 769.76 m a través de la fábrica, una distancia menor de alrededor de 245.2 m respecto a la de la situación actual.

Cabe mencionar que esta pieza es la que presenta mayor reducción en distancia, para su traslado a través de los diversos talleres, en un 24.15%.

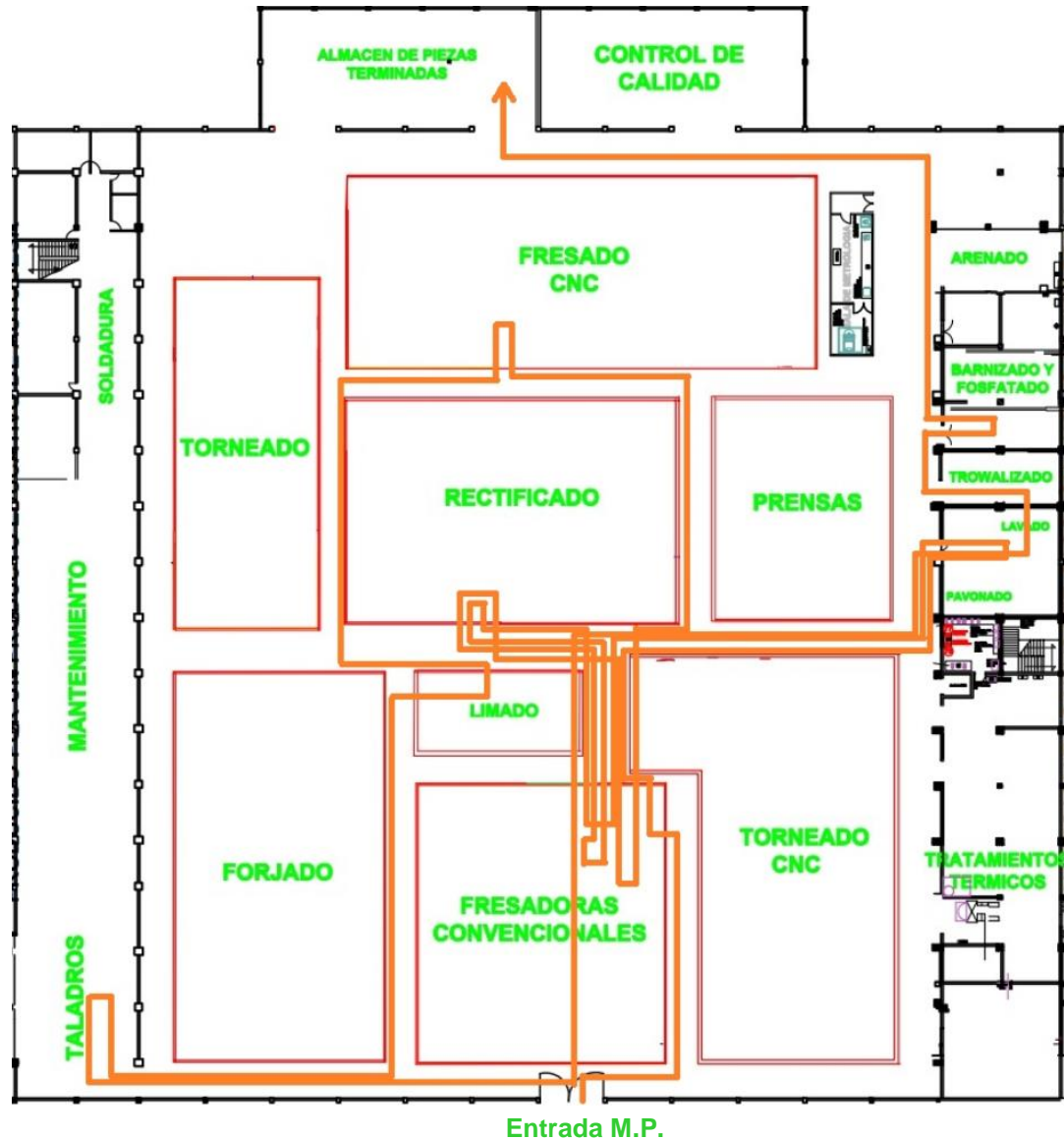


Fig. 33.- Diagrama de espagueti para la distribución física propuesta para la pieza BTGA.
Fuente: Elaboración propia (2018).

De manera similar, en la Figura 36, se observa el flujo del proceso que realizaría la pieza BTGA a través de diversos talleres, además de la Tabla 26 esta pieza requeriría trasladarse una distancia total aproximada de 856.39 m a través de la fábrica, una distancia menor de alrededor de 189.65 m respecto a la situación actual, lo que representa una reducción en el traslado de 18.13%.

De igual forma, se observa que el flujo de las operaciones se concentra en ciertas áreas determinadas y al centro de la fábrica, excepto para la operación que se realiza en el taller de taladrado, sin embargo se podría considerar reubicar este taller en lugar del área de mantenimiento.

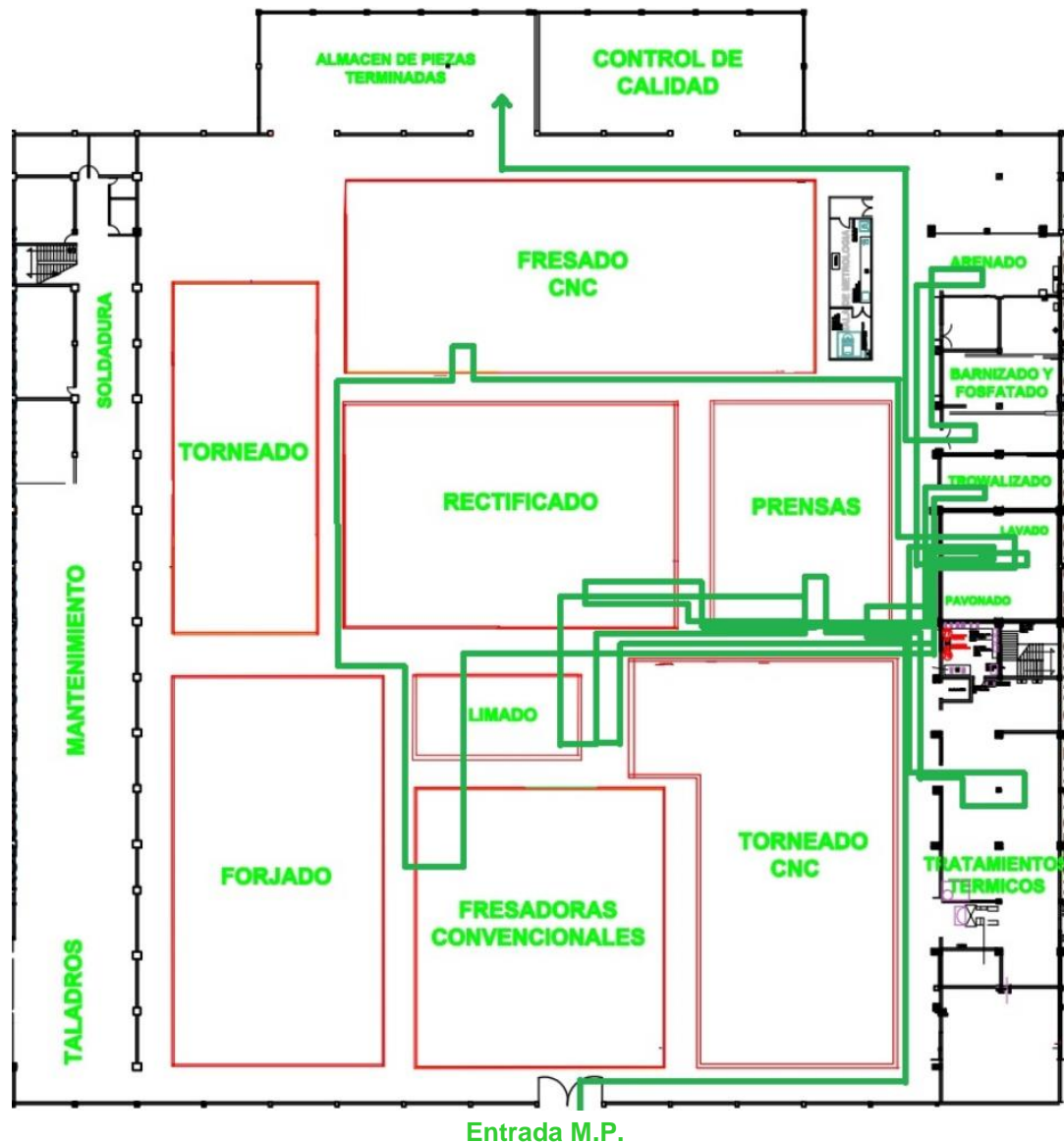


Fig. 34.- Diagrama de espagueti para la distribución física propuesta para la pieza REGU.
Fuente: Elaboración propia (2018).

En la Figura 37, observamos el recorrido que realizaría la pieza REGU para la distribución física propuesta a través de los diferentes talleres para que se le realicen las operaciones de maquinado necesarias, como se observa existe una reducción considerable de cruces y la mayor parte del flujo del proceso se concentraría en áreas más específicas, esto en comparación con la distribución física actual, también de la Tabla 26 esta pieza requeriría trasladarse una distancia total

aproximada de 1 077.22 m a través de la fábrica, una distancia menor de alrededor de 84.01 m respecto a la situación actual.

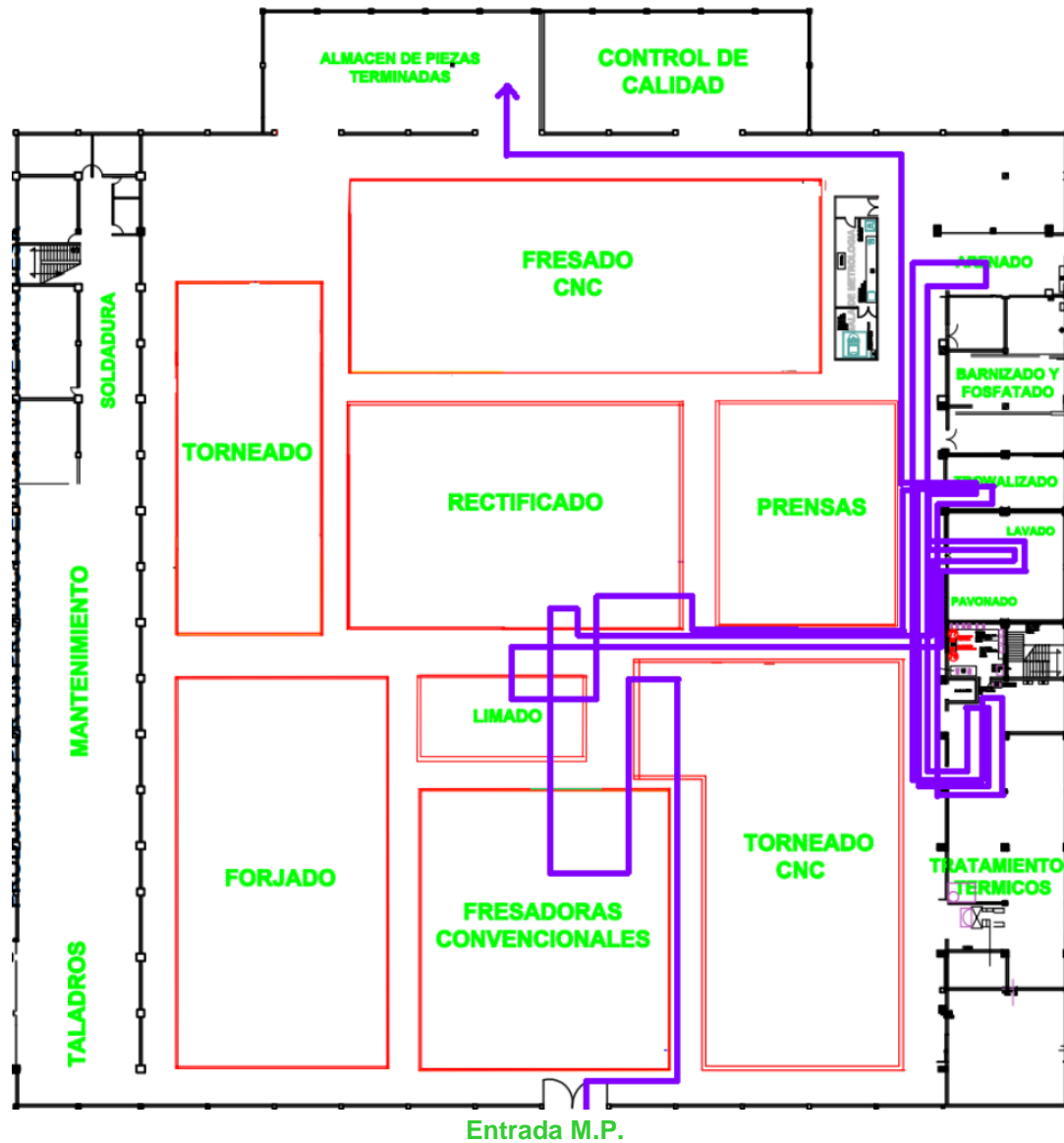


Fig. 35.- Diagrama de espagueti para la distribución física propuesta para la pieza CACI.
Fuente: Elaboración propia (2018).

En la Figura 38, observamos el recorrido que realizaría la pieza CACI para la distribución física propuesta a través de los diferentes talleres para que se le realicen las operaciones de maquinado necesarias, como se observa existe una reducción casi completa de cruces y la mayor parte del flujo del proceso se concentra en áreas muy específicas inclusive mayor en comparación con las propuestas para las demás piezas, esto en comparación con la distribución física actual, también de la Tabla 26 esta pieza requeriría trasladarse una distancia total aproximada de 748.90 m a

través de la fábrica, una distancia menor de alrededor de 144.75 m respecto a la situación actual.

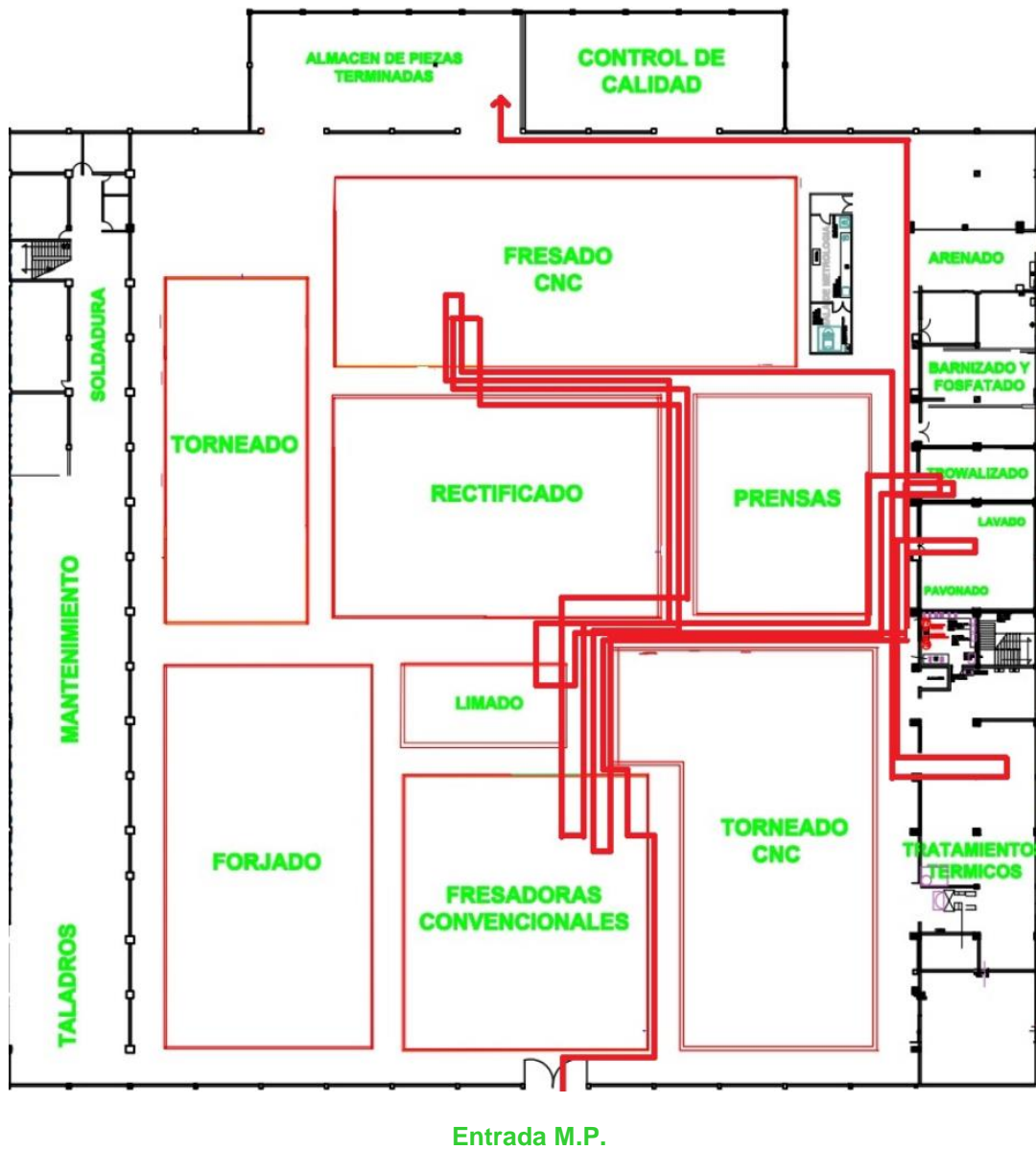


Fig. 36.- Diagrama de espagueti para la distribución física propuesta para la pieza CPAR.
Fuente: Elaboración propia (2018).

En la Figura 39, observamos el recorrido que realizaría la pieza CPAR para la distribución física propuesta a través de los diferentes talleres para que se le realicen las operaciones de maquinado necesarias, como se observa existe una reducción importante de cruces y la mayor parte del flujo del proceso se concentra en áreas muy específicas, esto en comparación con la distribución física actual, también de la Tabla 26 se observa que esta pieza requeriría trasladarse una distancia total aproximada de 911.58 m a través de la fábrica, una distancia menor de alrededor

de 9.9 m respecto a la situación actual. Cabe mencionar para esta pieza, que es la que tiene una disminución menor en distancia comparada con las demás, de alrededor del 1.07%.

4.7 Modelo de simulación para incrementar un 20 % la producción de piezas para un fusil Cal. 5.56 mm

Tomando como base, el análisis teórico llevado a cabo a lo largo del presente Capítulo, se realizaron modificaciones al modelo de simulación para la situación actual elaborado en el Capítulo 3, mismo que ya fue verificado y validado; con la finalidad de verificar que con las modificaciones planteadas teóricamente se cumpliera el objetivo de incrementar la producción de fusiles y de esta forma poder recomendar a la Gerencia la adopción del curso de acción que resulte más favorable para la toma de decisiones.

Primero, se realizó la modificación en el modelo a la distribución física de las áreas que componen a la fábrica de armamento conforme a la propuesta, así también se trazaron los recorridos que realizan las piezas elegidas como las más representativas a través de los diferentes procesos, dichos recorridos o requerimientos de flujo se realizaron conforme a los diagramas de espaguetti dibujados en la sección anterior, dichas modificaciones al modelo de simulación se observan en la Figura 40.

Cabe destacar, que para los procesos el tiempo de las operaciones está considerado exactamente igual que para el estado actual, ya que en este trabajo no se abordó la mejora a los tiempos de las operaciones, materias primas, herramientas, etc., ya que como se mencionó anteriormente sólo se llevó a cabo la reorganización de la mayoría de las operaciones en estaciones de trabajo, es decir la sincronización del trabajo para evitar eliminar hasta donde fuera posible las colas generadas en algunas de estas.

Además de la visualización de recorridos, para el modelo de simulación de la propuesta, se realizó la animación en tercera dimensión para cada uno de los talleres involucrados en esos procesos, con el fin de visualizar cómo se llevan a cabo los procesos y observar de manera más realista la representación del proceso de producción, tal y como se observa en la Figura 41.

Al igual que en el modelo de simulación para la situación actual, también se generó en el modelo de simulación para la propuesta la misma interfaz gráfica que se muestra en la Figura 42, con el fin de observar a través de gráficas, el comportamiento del proceso de fabricación para cada una de las piezas, mientras se realiza la simulación y tener los mismos indicadores que permitan comparar el proceso de fabricación actual respecto a la propuesta aquí planteada.

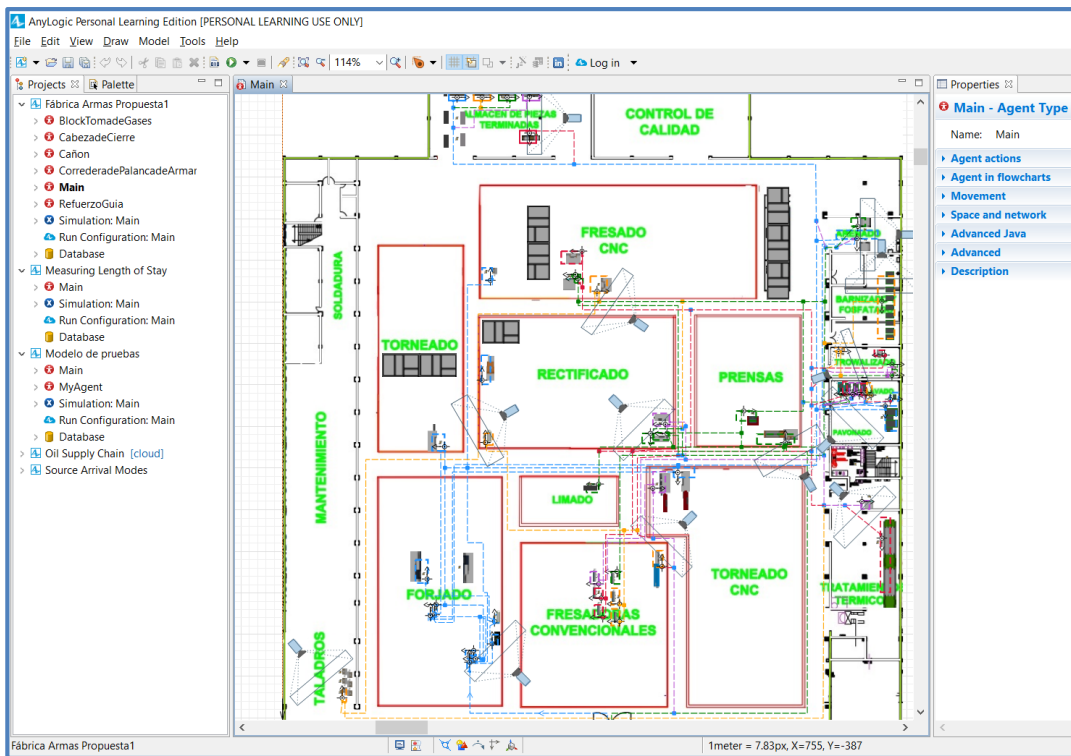


Fig. 37.- Representación de la distribución propuesta de la fábrica de armamento y requerimientos de flujo de las piezas más representativas. Fuente: Elaboración propia (2018).

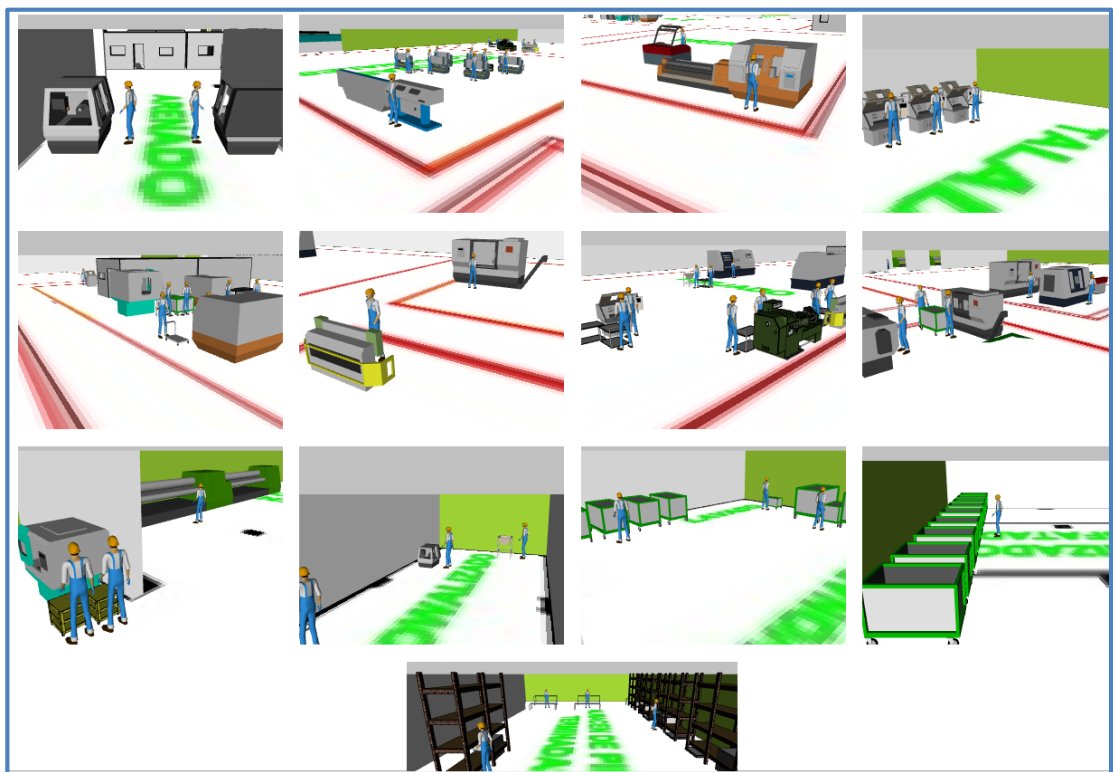


Fig. 38.- Representación en tercera dimensión para la propuesta del proceso de fabricación de fusiles. Fuente: Elaboración propia (2018).

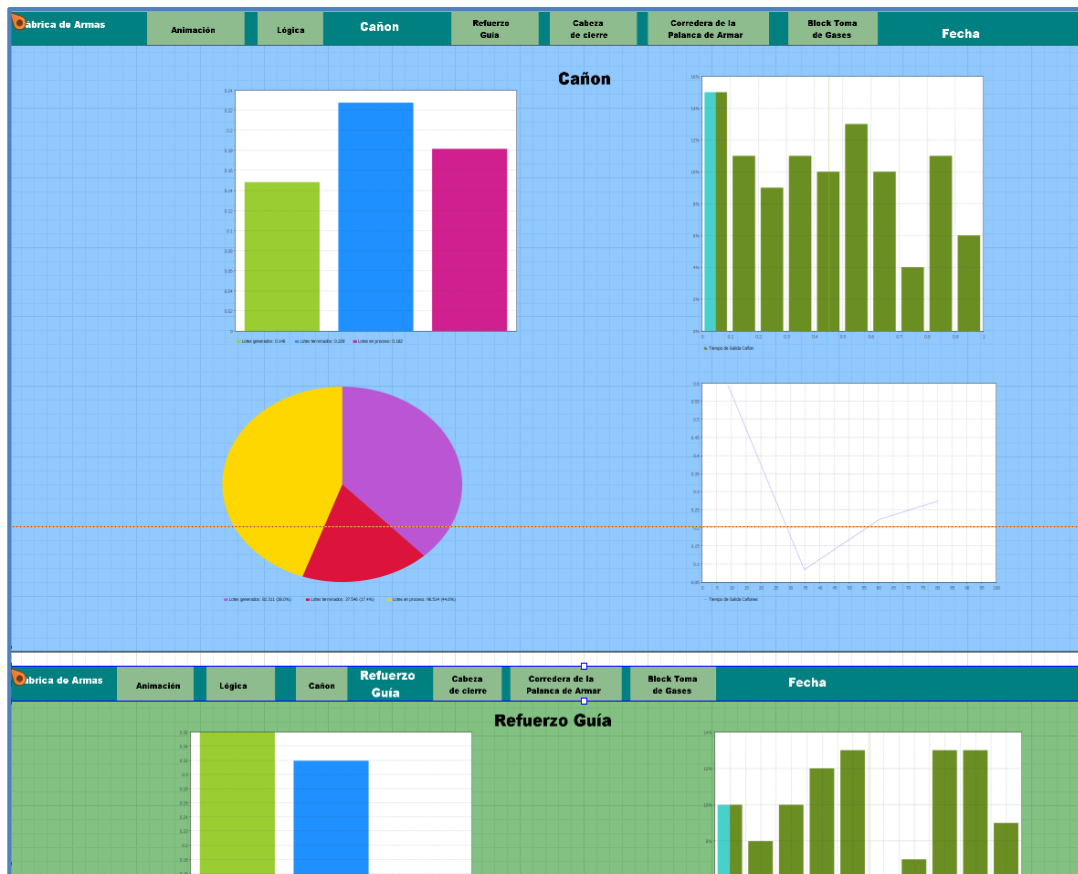


Fig. 39.- Interfaz gráfica para la propuesta de los procesos de fabricación de piezas representativas. Fuente: Elaboración propia (2018).

4.8 Análisis y comparación de resultados de los modelos de simulación

Para poder realizar el análisis y la comparación de los modelos de simulación del estado actual y de la propuesta, se ejecutó la simulación considerando el rango de tiempo de un año, debido a que como se mencionó en la Sección 3.8 del Capítulo 3, es el tiempo a partir del cual el modelo no presenta variaciones en su comportamiento, es decir, el tiempo de fabricación de las piezas, el número de lotes fabricados y la media del tiempo de fabricación para cada lote no presentan variaciones significativas.

De los resultados que arroja el modelo de simulación, se decidió contemplar la cantidad de lotes producidos de piezas y el tiempo de producción de los lotes; a través de la interfaz gráfica en el software de simulación en la cual podemos visualizar los resultados obtenidos en las Figuras de la 43 a la 47 para cada uno de los procesos de las piezas simuladas.

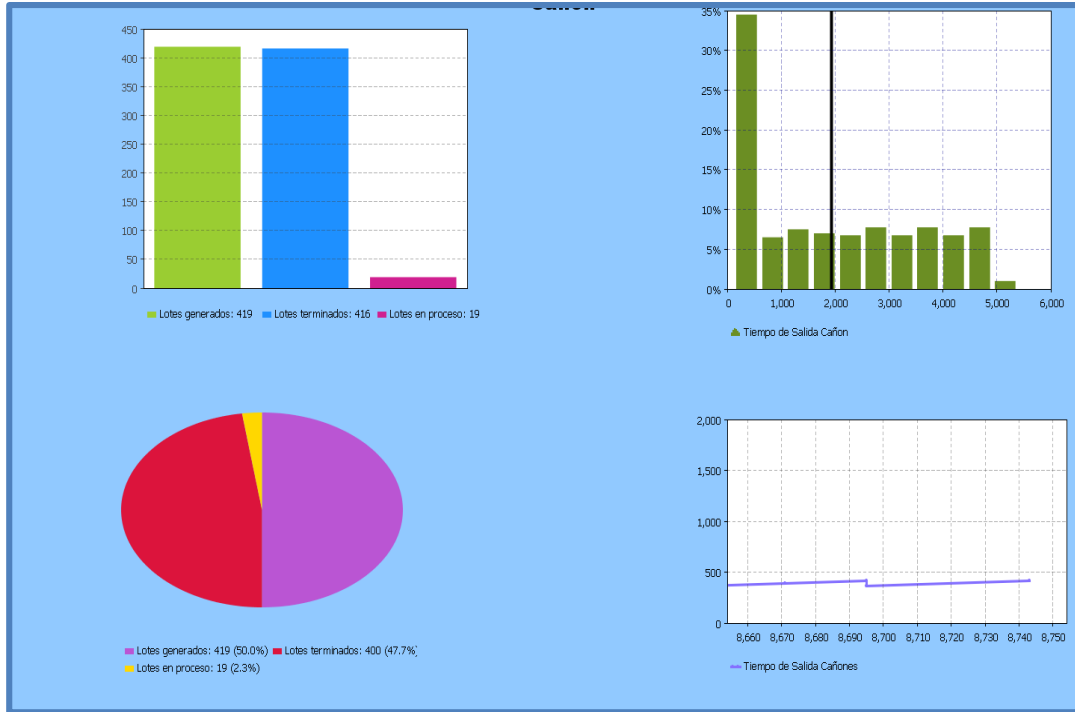


Fig. 40.- Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza CANO. Fuente: Elaboración propia (2018).

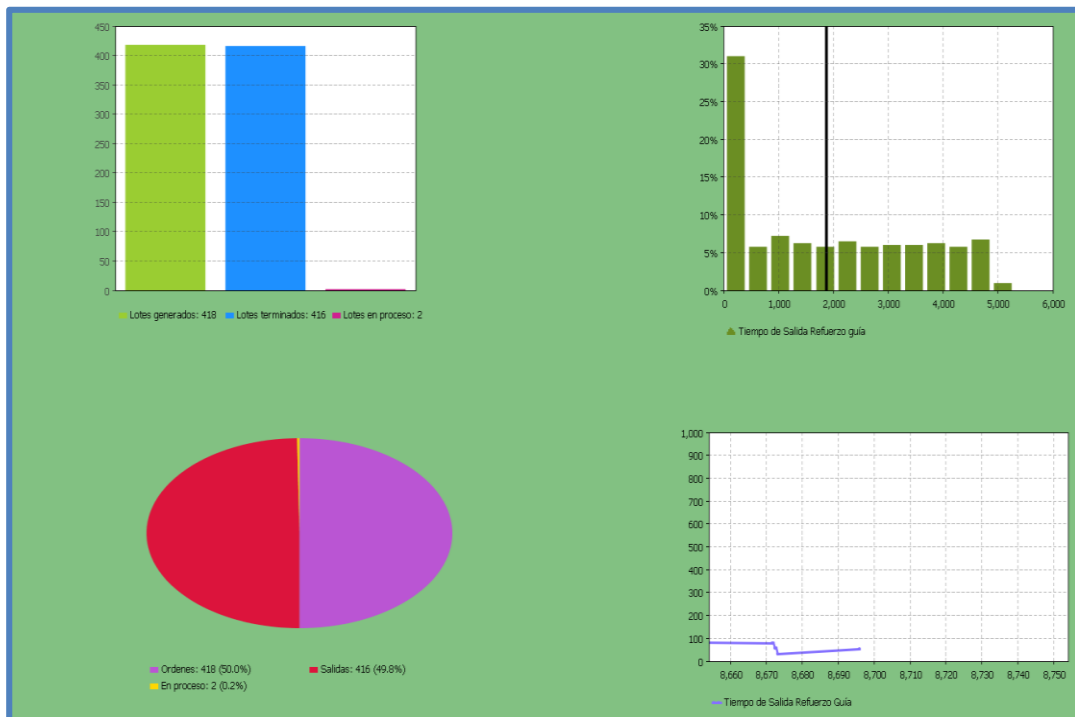


Fig. 41.- Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza REGU. Fuente: Elaboración propia (2018).

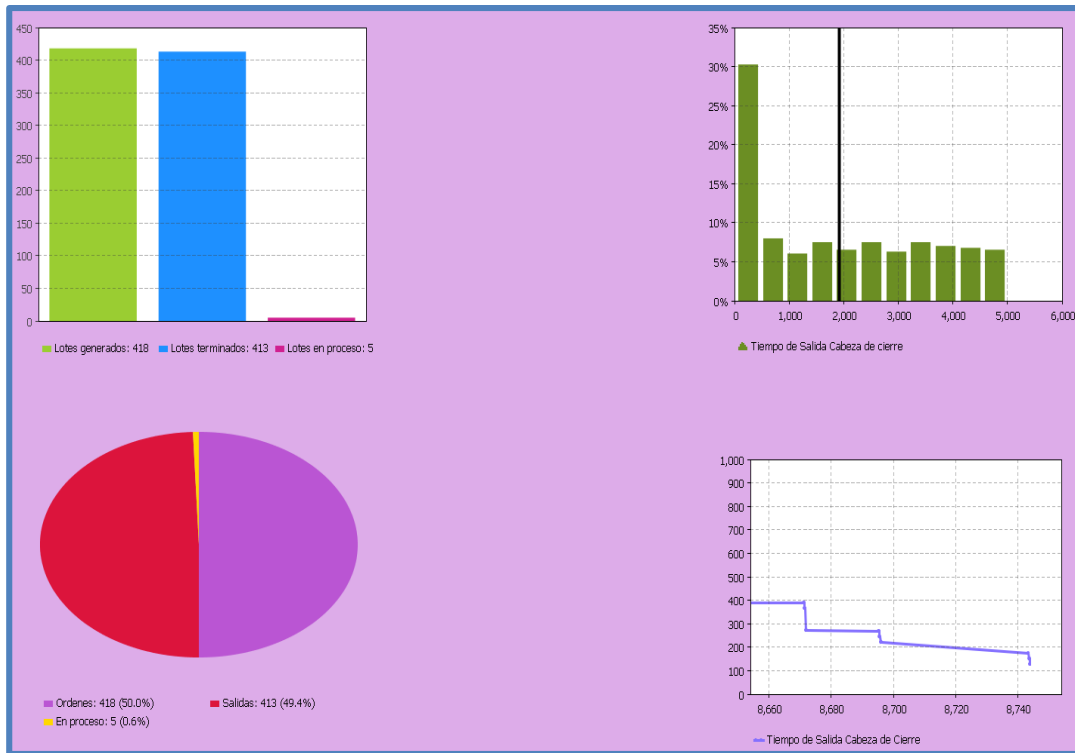


Fig. 42.- Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza CACI. Fuente: Elaboración propia (2018).



Fig. 43.- Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza CPAR. Fuente: Elaboración propia (2018).

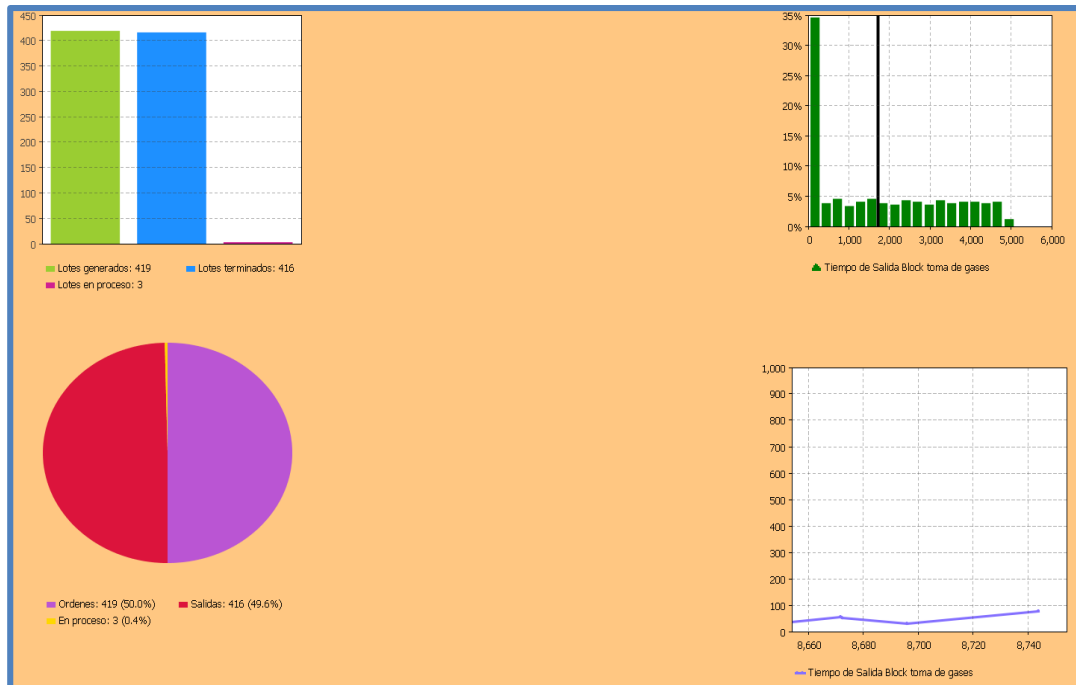
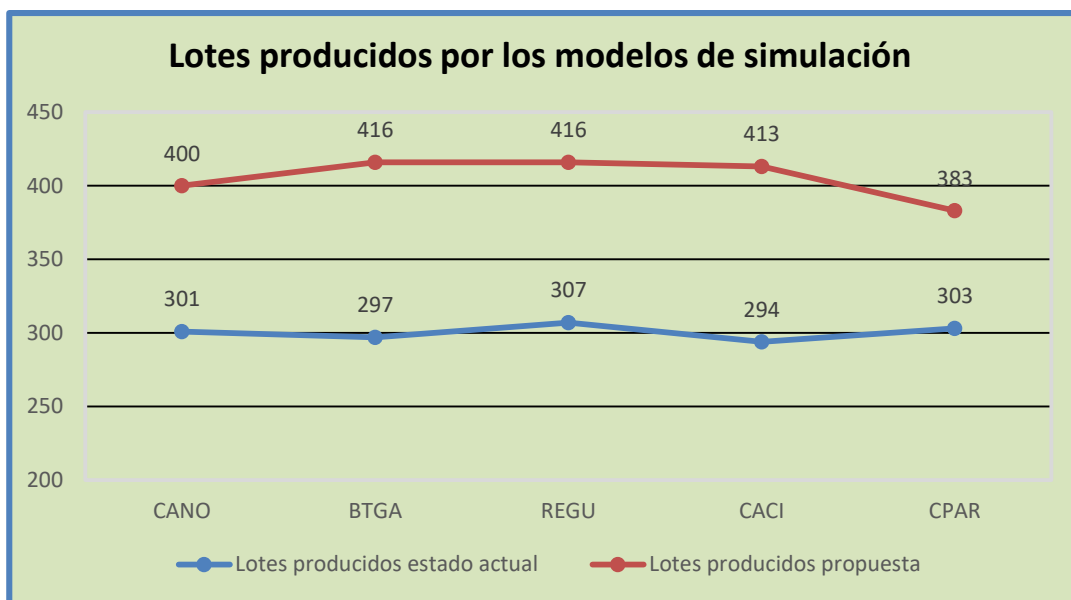


Fig. 44.- Gráficos generados a partir del modelo de simulación propuesto del proceso de producción para la pieza BTGA. Fuente: Elaboración propia (2018).

De acuerdo con la problemática planteada y al objetivo de la propuesta del modelo de simulación, la respuesta o indicador clave es el número de piezas para fusil fabricadas, la Tabla 27 y la Gráfica 15, muestran la comparativa del número de piezas fabricadas durante un periodo de tiempo de un año en el modelo de simulación del estado actual respecto al modelo de simulación con las propuestas de mejora.

Pieza	Número de lotes producidos (estado actual)	Número de lotes producidos (propuesta de mejora)	Aumento en la producción de lotes
CANO	301	400	32.89%
BTGA	297	416	40.06%
REGU	307	416	35.50%
CACI	294	413	40.47%
CPAR	303	383	26.40 %

Tabla 27.- Tiempo de producción de lotes de 100 piezas lotes producidos por los modelos de simulación. Fuente: Elaboración propia (2018).



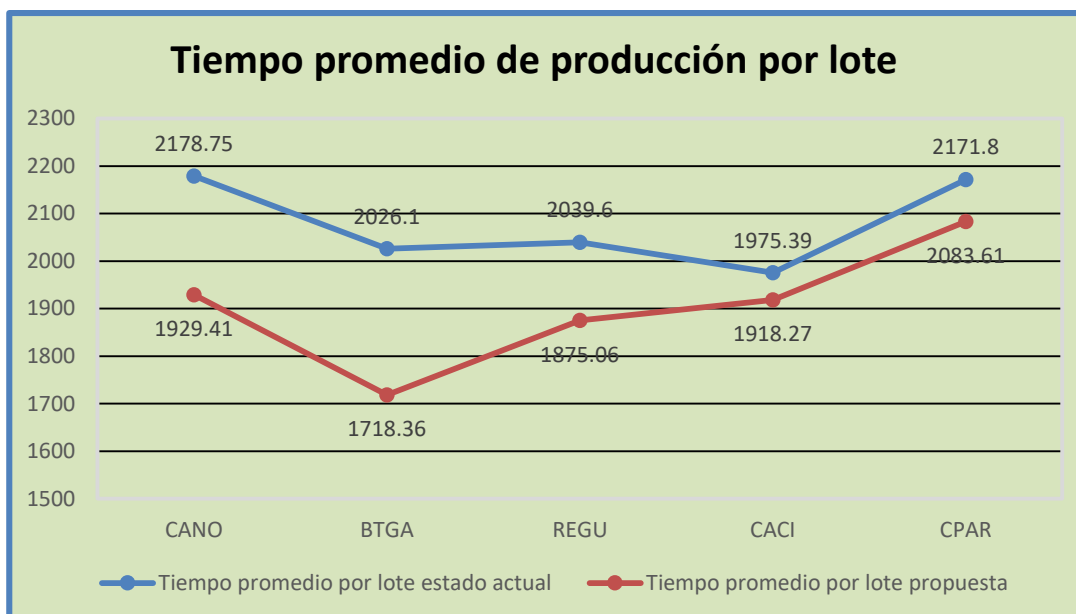
Gráfica 15.- Comparativa de lotes producidos por los modelos de simulación durante el periodo de un año. Fuente: Elaboración propia (2018).

De la tabla anterior y de la gráfica, se puede observar que para todas las piezas se incrementa en más de un 20 % la producción de lotes de 100 piezas, para la pieza CPAR se tiene el menor aumento, correspondiente al 26.40%; por lo tanto, podemos decir que la propuesta lograría el objetivo planteado de aumentar un 20 % la producción de fusiles.

El otro aspecto importante, que repercute con el indicador anterior, es el tiempo promedio de producción por lote, la Tabla 28 y la Gráfica 16, muestran la comparativa del tiempo promedio de fabricación en horas de lotes de 100 piezas, durante un periodo de tiempo de un año, en el modelo de simulación del estado actual respecto al modelo de simulación con las propuestas de mejora.

Pieza	Tiempo promedio de producción por lote (estado actual) [horas]	Tiempo promedio de producción por lote (propuesta de mejora) [horas]	Disminución en el tiempo promedio de producción por lotes [horas]
CANO	2 178.75	1 929. 41	249.34
BTGA	2 026.10	1 718 .36	307.74
REGU	2 039.60	1 875.06	164.54
CACI	1 975.39	1 918.27	57.12
CPAR	2 171.80	2 083.61	87.19

Tabla 28.- Tiempo de producción de lotes de 100 piezas generados por los modelos de simulación. Fuente: Elaboración propia (2018).



Gráfica 16.- Comparativa del tiempo de producción por los modelos de simulación por lote de 100 piezas. Fuente: Elaboración propia (2018).

De acuerdo con la problemática planteada, como se mencionó anteriormente, de manera general, lo importante es conocer la cantidad de fusiles Cal. 5.56 mm que se pueden producir y no los lotes de las piezas producidos, ya que aunque se produzcan una mayor cantidad de lotes para ciertas piezas, no es posible ensamblar una cantidad de fusiles mayor al de la pieza que menos se produce, es decir, que la pieza que arroje el menor número de lotes producidos limita la cantidad de fusiles a ensamblar.

PIEZA \ MÉTRICA	CANO	BTGA	REGU	CACI	CPAR
Número promedio de lotes generados	419	419	418	413	419
Número promedio de lotes en proceso	19	3	2	5	36
Número promedio de lotes producidos	400	416	416	413	383
Tiempo promedio de producción por lote [horas]	1 929.40	1 718.36	1 878.06	1 918.27	2 083.61
Número de fusiles producidos	38 300				

Tabla 29.- Resultados del modelo de simulación con las propuestas de mejora del proceso de fabricación de fusiles Cal. 5.56 mm. Fuente: Elaboración propia (2018).

En la Tabla 29, se pueden observar a manera de resumen, los resultados obtenidos por el modelo de simulación con las propuestas de mejora a través de los mismos indicadores empleados para el modelo de simulación del estado actual.

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de esta investigación, resultó de mucha utilidad la simulación de procesos como herramienta, ya que permitió visualizar los resultados obtenidos de las propuestas de mejora y conocer de igual forma si tales propuestas cumplen con el objetivo general establecido en esta tesis, antes de ser implementadas en la vida real, desde esta perspectiva permite a los dueños del sistema, así como a los que intervienen en él, apoyarse en los modelos de simulación para tomar una decisión sobre el curso de acción a adoptar para resolver la problemática presentada, antes de llevar a cabo una inversión o destinar parte de los recursos con que actualmente cuenta la fábrica para la implementación de mejoras que pudieran no tener los resultados esperados.

Del análisis realizado para llevar a cabo hasta donde fuera posible, el diseño de estaciones de trabajo para una mayor sincronización del trabajo y con la finalidad de buscar disminuir o evitar se generen las colas detectadas en el proceso mediante el modelo de simulación para la situación actual, se encontró que de manera general para todas las piezas elegidas como las más representativas, se requieren en total para 9 operaciones, o estaciones de trabajo, disminuir los turnos de trabajo, también se observa que es conveniente aumentar para 6 operaciones los turnos de trabajo de 1 turno a 2 turnos, que como se mencionó en el Capítulo 4, pudiera no ser factible; sin embargo, para poder evaluar qué tan factible resulta esa decisión se requerirá llevar a cabo un estudio más detallado, ya que una de las ventajas de tener estaciones de trabajo es precisamente que no siempre se requiere de un operador por máquina como actualmente se tiene considerado en la fábrica, sino que un número de operadores menor al número de máquinas consideradas en cada estación pueda llevar a cabo las operaciones que se requieran en la misma, redistribuyendo a los operarios restantes en turnos subsecuentes.

Por otra parte, del rediseño propuesto para la distribución física de la planta, se encontró que se pueden disminuir las distancias de traslado desde 1.07 % (9.9 m) para la pieza CPAR hasta un 24.15% (245.2 m) para la pieza CANO, lo que contribuye considerablemente a disminuir las distancias recorridas por las piezas en sus procesos de maquinado, ya que el transporte es una actividad que no genera valor agregado al producto final.

Como consecuencia de todo lo anteriormente señalado y de acuerdo con los resultados arrojados por el modelo de simulación con las propuestas de mejora, se lograría disminuir el tiempo de producción promedio por lote desde 57.12 horas para la pieza CACI hasta un 307.74 horas para la pieza BTGA, lo que contribuye como consecuencia a un incremento en la producción de piezas para el fusil y por lo tanto en la producción de fusiles.

Finalmente, se puede decir que a través de las propuestas de mejora planteadas teóricamente, pero sobre todo con los recursos con los que cuenta actualmente la fábrica (materiales y humanos), y con los resultados obtenidos mediante el modelo de simulación, esta tiene la capacidad de incrementar su producción hasta un máximo de 26.40%, esto respecto a la demanda actual de 30 000 fusiles anuales, es decir, que con esta propuesta se podrían llegar a producir al año aproximadamente 38 300 fusiles, 2 300 fusiles más por encima de lo planteado como objetivo en esta tesis (36 000 fusiles anualmente).

RECOMENDACIONES

Para poder continuar mejorando y tomando decisiones a futuro respecto al proceso de fabricación de fusiles, se recomienda ampliamente continuar considerando a la simulación como una herramienta que permita llevar a cabo el análisis de resultados, antes de tomar la decisión de implementar mejoras a los procesos.

Como consecuencia de lo anterior, se recomienda a la fábrica llevar a cabo estudios de tiempos y movimientos para poder obtener información que ayude a generar propuestas de mejora en cuanto a la estandarización del trabajo y la mejora de los procesos de maquinado, debido a que la investigación realizada hasta este punto resulta adecuada para el objetivo aquí planteado, sin embargo se observa que actualmente la fábrica está en un proceso de cambio constante, debido a que se está adquiriendo maquinaria nueva y con la información que se tiene actualmente de los tiempos de los procesos no se podrían contar con indicadores suficientes y confiables en un futuro sobre el estado actual de los procesos y por lo tanto con resultados confiables sobre su situación real.

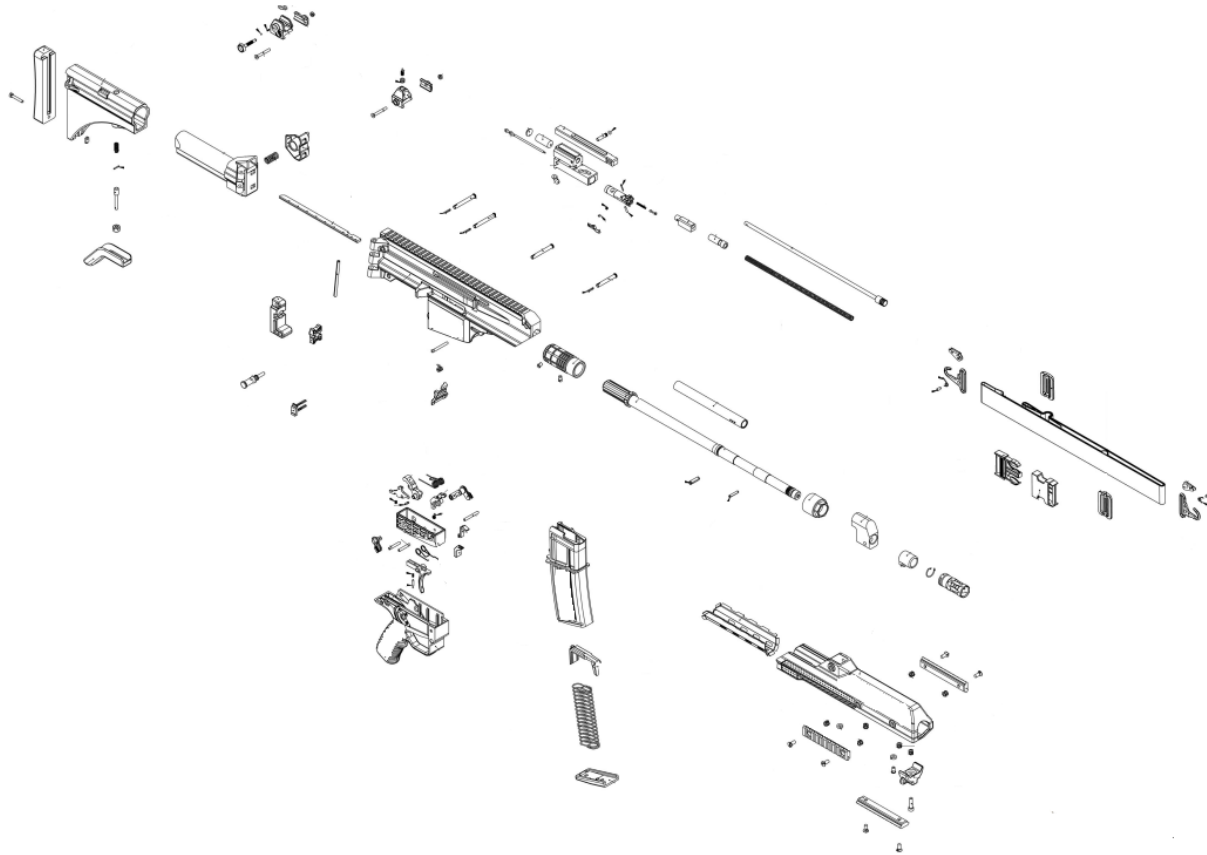
Por otra parte, es importante continuar generando más escenarios de simulación para tener una mayor certeza sobre cuáles son las opciones de propuestas de mejora que resulten más convenientes implementar para los objetivos y metas que fije la Gerencia, así como realizar modelos de simulación más robustos donde se consideren otros factores en otros niveles de simulación no considerados en este trabajo de investigación, tales como otras áreas, otros procesos, recursos humanos y recursos económicos, con la finalidad de contar con suficientes elementos de juicio que permitan tomar mejores decisiones.

Otro aspecto importante a recomendar, es que se lleve a cabo un estudio de costos, para conocer el impacto que en ellos pudieran tener las mejoras en los procesos, ya que la factibilidad económica siempre resulta en un indicador clave para muchas organizaciones que ayuda también a tomar decisiones respecto a proyectos de mejora de procesos ya que para muchas de ellas resulta en un factor que pudiera limitar el desarrollo del proyecto.

Finalmente, se considera importante llevar a cabo la capacitación y transmisión de conocimientos entre los operadores, ya que si bien es cierto que el contar con estaciones de trabajo puede hacer que se sincronice el trabajo y se aumente la producción, se requiere que ciertos operadores sepan realizar más de un solo trabajo para que estas estaciones funcionen lo más eficientemente posible y contribuya a que se consigan los objetivos buscados.

ANEXO "A"

PIEZAS DE UN FUSIL CAL. 5.56 mm



**Fig. A.1.- Piezas del fusil Cal. 5.56 mm.
Fuente: Proporcionado por la fábrica de armamento (2017).**

ANEXO "B"

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA ACTUAL DE LA FÁBRICA DE ARMAMENTO

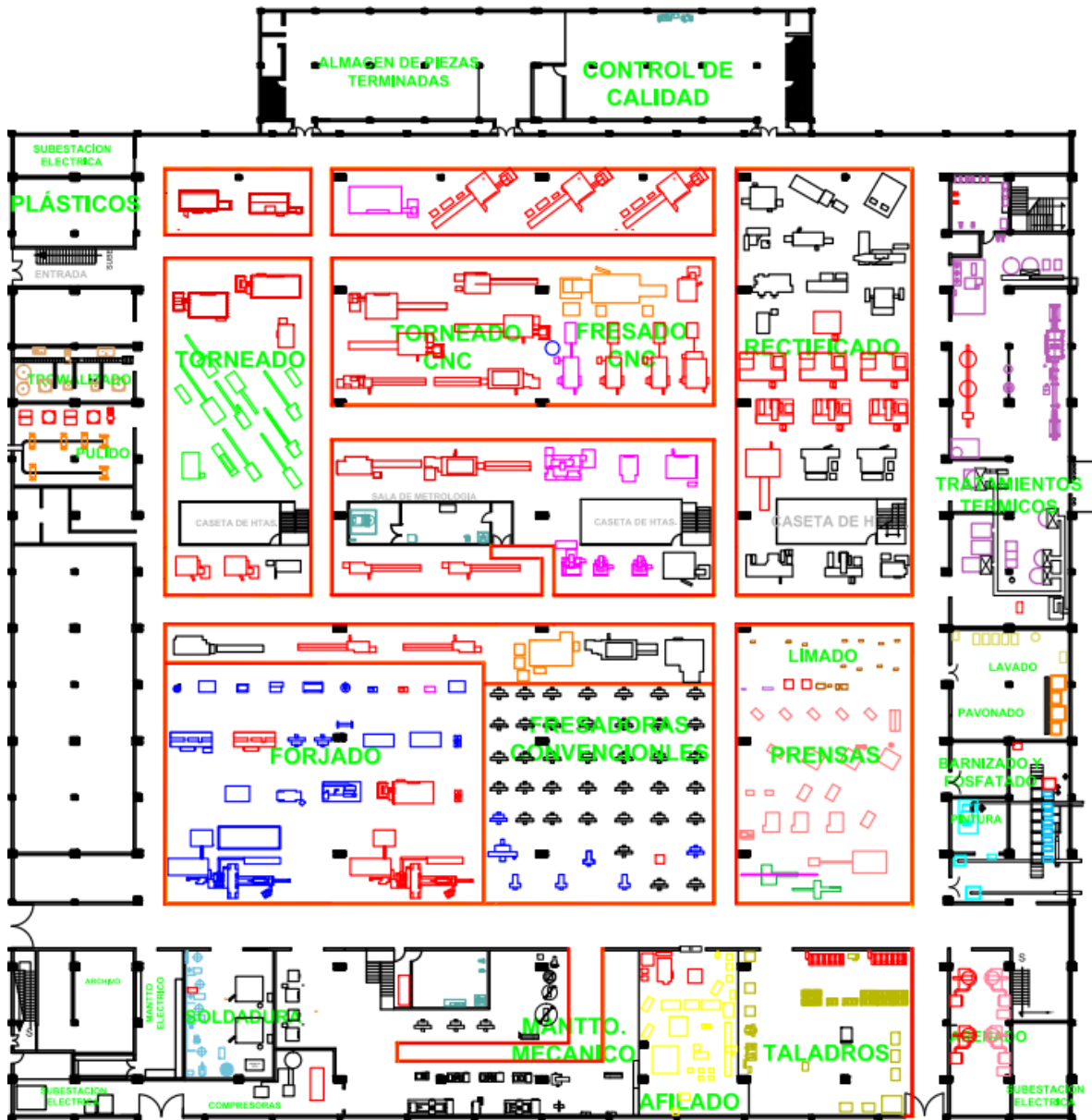


Fig. B.1.- Distribución de planta actual de la fábrica de refacciones para armamento.
Fuente: Proporcionado por la fábrica de refacciones para armamento (2017).

ANEXO "C"

LISTADO DE REFACCIONES, ORIGEN Y NÚMERO DE OPERACIONES

No.	Pieza	Origen	Cantidad de operaciones	No.	Pieza	Origen	Cantidad de operaciones	No.	Pieza	Origen	Cantidad de operaciones
1	CAME	Proveedor		645	BALI	Proveedor		280	REEX	Proveedor	
35	REGU	Maquinada	31*	620	TADE	Maquinada	9	285	PEGO	Proveedor	
25	PIAC	Maquinada	19	615	ALZA	Maquinada	16	275	EXTR	Maquinada	21
30	PAGU	Proveedor		5	AREX	Proveedor		290	PACI	Maquinada	5
31	REPA			625	PSAL			305	REEY	Maquinada	5
55	RECA			650	TAHI			295	PEEY	Maquinada	3
60	MRCA			656	TEHE			300	PEES	Proveedor	
65	PRCA			Maquinada	10*			2	SOGA	240	PEMA
585	SOCU	Proveedor		661	CRGR	245	PERC	Maquinada	11		
595	RESC			675	GRAN	Maquinada	10	255	AJCI	Proveedor	
591	SECU			676	PSPG	Proveedor		260	PESU	Maquinada	9
535	CUMO			140	CANO	Maquinada	58*	225	CAVA	Maquinada	11
540	CANT			152	BTGA	Maquinada	39*	190	TPMA	Maquinada	23
545	TCHI			369	APAG	Proveedor		205	VAPI	Maquinada	20
550	PLRO			Maquinada	8	370	MSAP	230	REEM	Proveedor	
555	PAEX	Proveedor		160	TEGA	Maquinada	20	235	PAES	Proveedor	
560	PEAJ	Maquinada	12	155	PAES1	Proveedor		320	PARA	Maquinada	8
565	RESP	Proveedor		159	PAES2			100	SELA	Proveedor	
570	TPAJ	Maquinada	13	180	CUSC	Maquinada	20	75	CAFI	Proveedor	

Tabla C.1.- Listado de refacciones, origen y número de operaciones.

Fuente: Elaboración propia (2017).

ANEXO “C”

LISTADO DE REFACCIONES, ORIGEN Y NÚMERO DE OPERACIONES

No.	Pieza	Origen	Cantidad de operaciones	No.	Pieza	Origen	Cantidad de operaciones	No.	Pieza	Origen	Cantidad de operaciones
575	PAEL	Proveedor		185	TOGT	Maquinada	4	80	AMOR	Proveedor	
115	PAEI			195	CPAR	Maquinada	22	3	GUAR		
610	SOAL			1160	GRTU	Proveedor		475	CARH		
640	MUAL	Maquinada	8	270	CACI	Maquinada	24	485	DICA	Maquinada	2
635	REBA	Proveedor		369	APAG	Maquinada	22	490	CALI	Proveedor	
540	REHU			395	IRCC	Maquinada	5	780	TEEL		
500	BOPF			4	SRCC	Maquinada	23	785	REEL		
515	TCHI			446	PEEL	Maquinada	9	790	TACA		
505	RPCO			345	EMPU	Maquinada	3	835	BOEM		
405	EMPA			355	RELO	Maquinada	5	840	CILO		
440	MUDE			350	LOCA	Maquinada	8	806	GANC		
410	DISP	Maquinada	15	365	ASCA	Proveedor		807	GAMU	Maquinada	14
425	REPD	Maquinada	4	360	ESCA			584	EGMU	Maquinada	3
415	PADI	Maquinada	14	375	PAES			585	MUGA	Maquinada	9
445	PEEM	Maquinada	9	90	PESC	Maquinada	18*	825	HEAJ	Proveedor	
430	MDMA	Proveedor		461	MUPS	Proveedor		830	BRMA		
450	MART	Maquinada	9	456	PESL	Maquinada	16	157	SOGU	Maquinada	7
420	FIAU	Proveedor		775	CACO	Proveedor		145	TUER	Proveedor	
510	TARA			435	MFAU						

**Tabla. C.2.- Listado de refacciones, origen y número de operaciones.
Fuente: Elaboración propia (2017).**

ANEXO “D”

SECUENCIA DE LOS TALLERES RECORRIDOS POR LAS REFACCIONES REPRESENTATIVAS SEGÚN SUS OPERACIONES

PIEZA	TALLER
CANO	FORJADO
	TORNEADO
	FORJADO
	RECTIFICADO
	FRESADO C.N.C.
	LIMADO
	FORJADO
	TORNEADO C.N.C.
	FORJADO
	ARENADO
	PAVON Y LAVADO
	FORJADO
	PAVON Y LAVADO
	RECTIFICADO
FRESADO C.N.C.	

PIEZA	TALLER
BTGA	FRESADO
	LAVADO
	FRESADO
	RECTIFICADO
	LIMADO
	FRESADO
	RECTIFICADO
	LIMADO
	FRESADO
	LIMADO
	FRESADO
	LIMADO
	FRESADO
	LIMADO
	FRESADO
	LIMADO
	TALADRADO
	FRESADO
	LIMADO
	LAVADO
TROWALIZADO	
FOSFATO Y PINTURA	
FRESADO C.N.C.	
RECTIFICADO	

PIEZA	TALLER
REGU	PRENSADO
	LAVADO
	TRAT. TERMICOS
	PRENSADO
	LIMADO
	RECTIFICADO
	PRENSADO
	RECTIFICADO
	LIMADO
	RECTIFICADO
	LIMADO
	RECTIFICADO
	LIMADO
	LAVADO
	FRESADO C.N.C.
	FRESADO
	LIMADO
	TROWALIZADO
	RECTIFICADO
	LAVADO
ARENADO	
FOSFATADO Y PINTADO	
LIMADO	
RECTIFICADO	
FRESADO C.N.C.	

Tabla. D.1.- Secuencia de talleres recorridos por las refacciones más representativas según las operaciones. Fuente: Elaboración propia (2017).

ANEXO "D"

SECUENCIA DE LOS TALLERES RECORRIDOS POR LAS PIEZAS REPRESENTATIVAS SEGÚN LAS OPERACIONES

PIEZA	TALLER	PIEZA	TALLER
CACI	TORNEADO C.N.C.	CPAR	FRESADO
	MONTAJE		LAVADO
	FRESADO		TRAT. TERMICOS
	LIMADO		FRESADO
	TORNEADO C.N.C.		RECTIFICADO
	LAVADO		FRESADO C.N.C.
	TROWALIZADO		FRESADO
	TRAT. TERMICOS		TROWALIZADO
	ARENADO		LIMADO
	TRAT. TERMICOS		LAVADO
	LAVADO		TRAT. TERMICOS
	TORNEADO C.N.C.		LIMADO
	LIMADO		LAVADO
	LAVADO		TROWALIZADO
	PAVONADO Y LAVADO		
	FRESADO C.N.C.		

Tabla. D.2.- Secuencia de talleres recorridos por las refacciones más representativas según las operaciones. Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO "E"

TIEMPOS ESTÁNDAR POR LOTES DE 100 PIEZAS PARA LAS OPERACIONES DE MAQUINADO DE PIEZAS

PIEZA	OPERACIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR POR LOTES DE 100 PIEZAS (min)
CANO	Mecanizar, taladrar y torneare	1500
	Avellanar	120
	Forjado en frío	4800
	Avellanar recámara	90
	Carear	840
	Avellanar boca y recámara	210
	Lavar	60
	Tornear forma y recámara	1620
	Avellanar boca y recámara	120
	Lavar con gasolina	160
	Rectificar, ranurar y fresar	2280
	Avellanar lados	120
	Mecanizar rosca	300
	Lavar y baquetear	620
	Granallar	60
	Pavonar y aceitar	75
	Lavar y pulir	660
	Aceitar	15

PIEZA	OPERACIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR POR LOTES DE 100 PIEZAS (min)
BTGA	Cortar	60
	Lavar	25
	Fresar y rebabar	480
	Rectificar	150
	Fresar y rebabar	540
	Rectificar	150
	Fresar y rebabar	1620
	Rectificar	180
	Rebabar completo	160
	Avellanar	60
	Fresar ángulo	120
	Rebabar completo	100
	Lavar	25
	Trowalizar	60
Fosfatar y aceitar	220	

Tabla. E.1.- Tiempos estándar por lotes de 100 piezas para las operaciones de maquinado de piezas.

Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO "E"

TIEMPOS ESTÁNDAR POR LOTES DE 100 PIEZAS PARA LAS OPERACIONES DE MAQUINADO DE PIEZAS

PIEZA	OPERACIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR POR LOTES DE 100 PIEZAS (min)
REGU	Troquelar	90
	Lavar	25
	Normalizar	360
	Enderezar	30
	Rebabar	100
	Rectificar	180
	Enderezar	200
	Rectificar cara	280
	Lavar	25
	Barrenar y fresar	200
	Fresar	1680
	Rebabar completo	100
	Trowalzar	60
	Rectificar medida final	150
	Lavar	25
	Granallar	30
	Fosfatar y aceitar	40
	Enderazar	260

PIEZA	OPERACIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR POR LOTES DE 100 PIEZAS (min)
CACI	Maquinar	1680
	Maquinar dientes	840
	Rebabar dientes	430
	Lavar	145
	Trowalzar	60
	Cementar y revenir	720
	Granallar	120
	Aplicar antioxidante	15
	Rectificar espiga	240
	Refrentar	240
	Rebabar	60
	Lavar	25
	Trowalzar	160

**Tabla. E.2.- Tiempos estándar por lotes de 100 piezas para las operaciones de maquinado de piezas.
Fuente: Elaboración propia (2017)**

ANEXO “E”

TIEMPOS ESTÁNDAR POR LOTES DE 100 PIEZAS PARA LAS OPERACIONES DE MAQUINADO DE PIEZAS

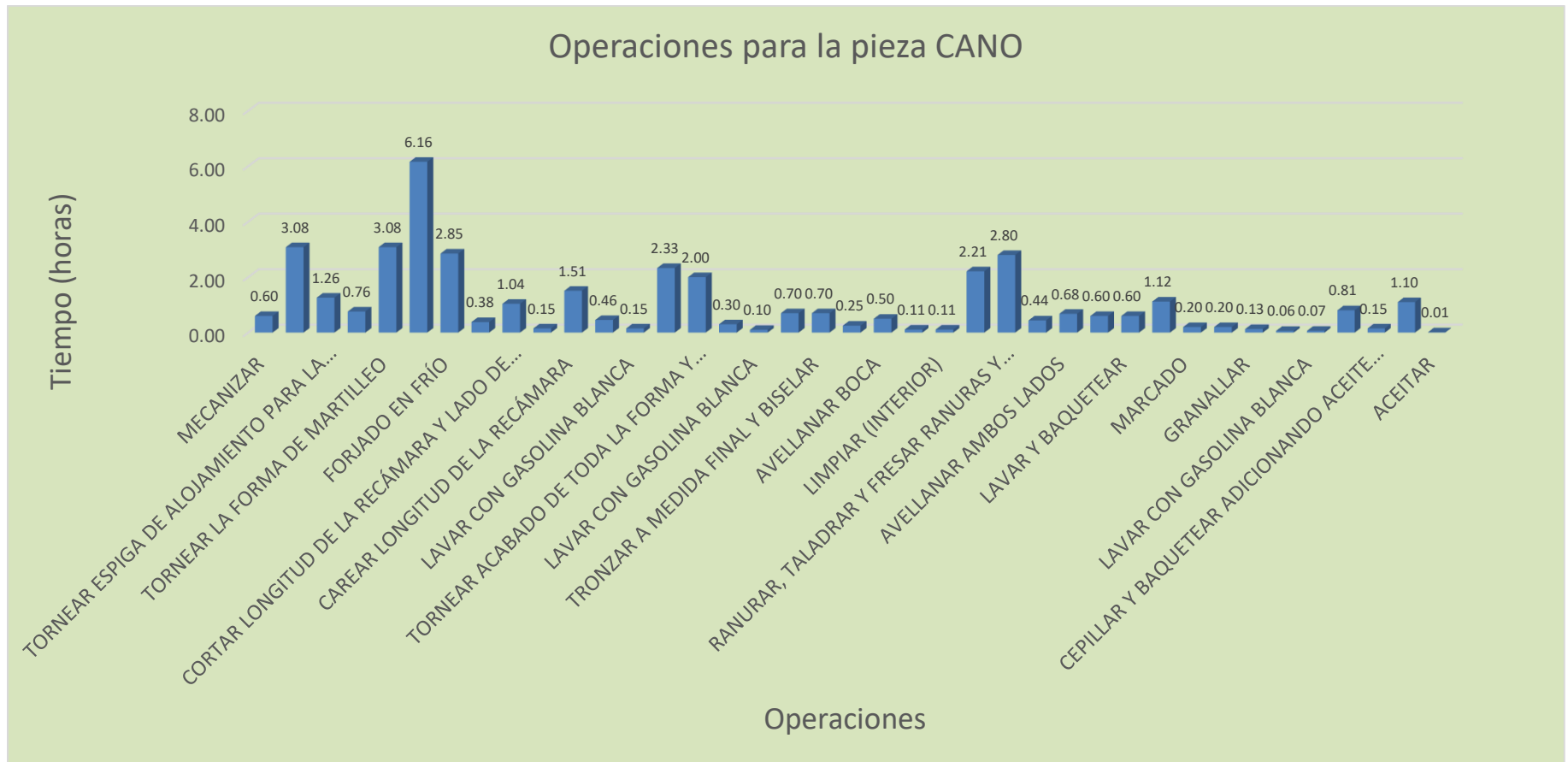
PIEZA	OPERACIÓN	TIEMPO ESTÁNDAR POR LOTES DE 100 PIEZAS (min)
CPAR	Cortar material	60
	Lavar	25
	Normalizar	360
	Fresar caja	960
	Fresar chaflanes	660
	Rectificar	240
	Ranurar	300
	Fresar ranura	220
	Trowalizar	60
	Rebabar	200
	Lavar	215
	Relevar y cementar	390
	Lavar	25
	Trowalizar	60
	Aceitar	15

Tabla. E.3.- Tiempos estándar por lotes de 100 piezas para las operaciones de maquinado de piezas.

Fuente: Elaboración propia (2017)

ANEXO "F"

TIEMPOS DE LAS OPERACIONES PARA LA PIEZA CANO



Gráfica F.1.- Tiempos de las operaciones para la pieza CANO.
Fuente: Elaboración propia (2018).

ANEXO "G"

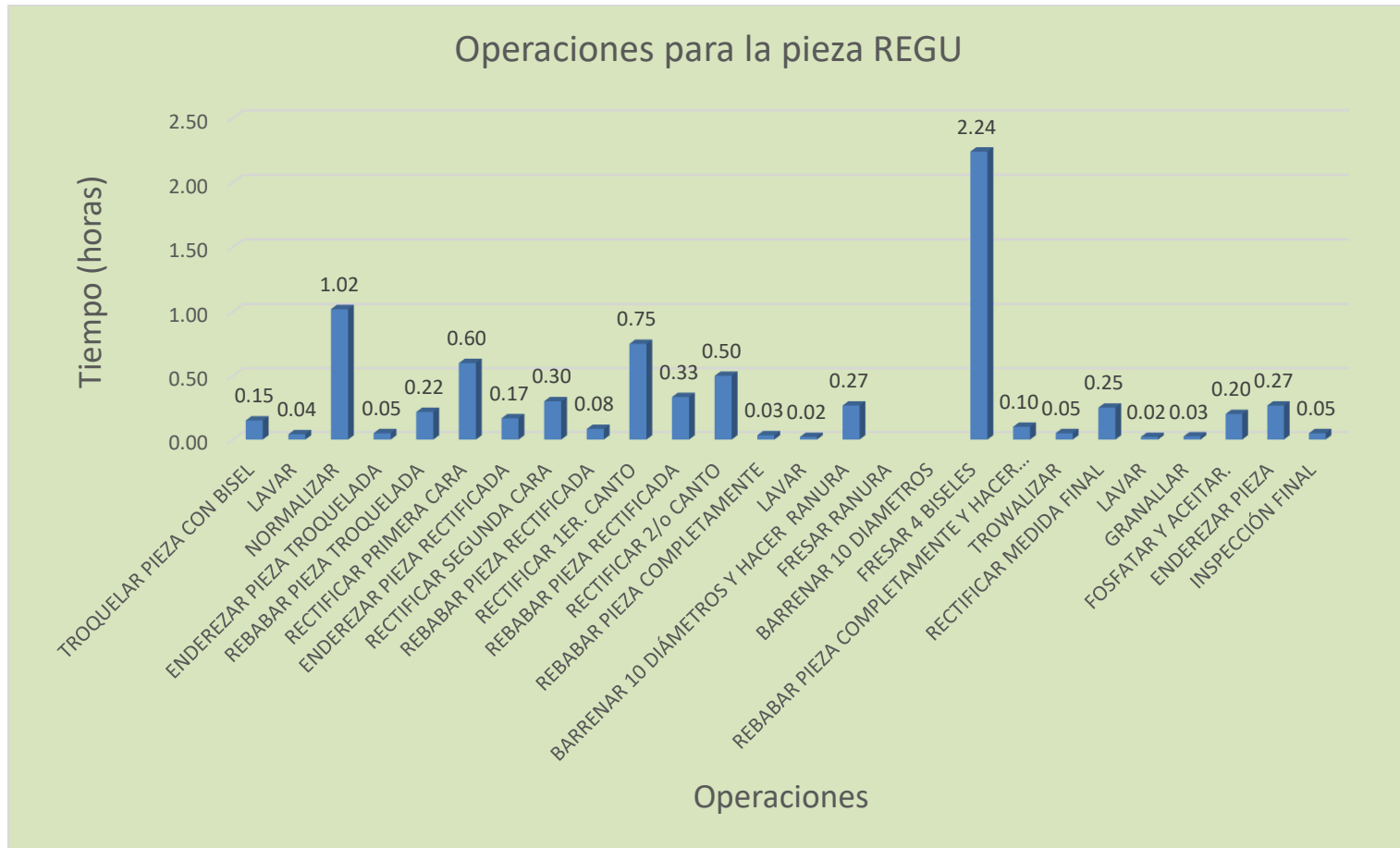
TIEMPOS DE LAS OPERACIONES PARA LA PIEZA BTGA



Gráfica G.1.- Tiempos de las operaciones para la pieza BTGA.
Fuente: Elaboración propia (2018).

ANEXO "H"

TIEMPOS DE LAS OPERACIONES PARA LA PIEZA REGU



Gráfica H.1.- Tiempos de las operaciones para la pieza REGU.

Fuente: Elaboración propia (2018).

ANEXO "I"

TIEMPOS DE LAS OPERACIONES PARA LA PIEZA CACI



Gráfica I.1.- Tiempos de las operaciones para la pieza CACI.

Fuente: Elaboración propia (2018).

ANEXO "J"

TIEMPOS DE LAS OPERACIONES PARA LA PIEZA CPAR



Gráfica J.1.- Tiempos de las operaciones para la pieza CANO.
Fuente: Elaboración propia (2018).

ANEXO "K"

DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PROPUESTA PARA LA FÁBRICA DE ARMAMENTO

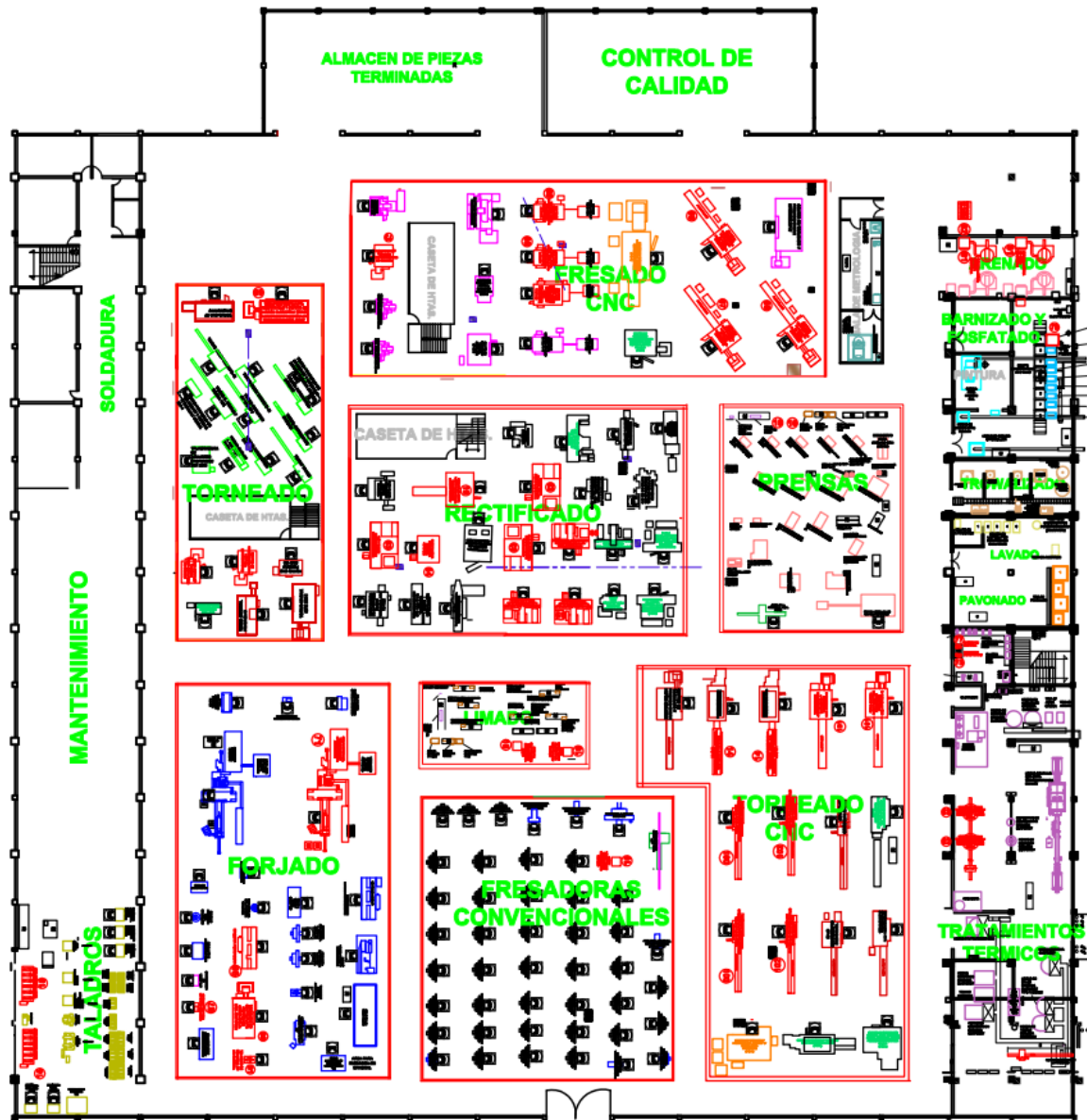


Fig. K.1.- Distribución de planta propuesta para la fábrica de refacciones para armamento. Fuente: Elaboración propia (2018).

BIBLIOGRAFÍA

- A. M. Galindo - M. Tapia. (2008), “*SPL: Una forma sencilla de analizar la distribución física de su fábrica*”, Industrial Vol. XXIX/No. 2/2008, Guayaquil Ecuador.
- Banks, J. (1998), “Handbook of simulation principles, methodology, advances, applications and practice”, Georgia Institute of Technology, Atlanta Georgia.
- Chaparro Santos, Sánchez Aguirre y León Valencia (2014) “*Propuesta de diseño y distribución de planta para la empresa Alambres y mallas S.A.*” Tesis de Licenciatura. Soacha.
- Chow de la Peña, M. (2007) “*Propuesta de inversión para una línea de descascarado de un conjunto de Huertas Nogaleras*”. Tesis Licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. México.
- De Carlo-Arleo-Borgia y Tuccio. (2013). “*Layout Design for a Low Capacity Manufacturing Line: A Case Study*”
- De la Fuente García D. y Fernández Quesada I. (2005), “*Distribución en Planta*”, España: Universidad de Oviedo.
- Grigoryev, I (2015), “AnyLogic in three days”
- Hay, Edward J. (2003). “Justo a Tiempo: La Técnica Japonesa que Genera Mayor Ventaja Competitiva”. Editorial Norma. Colombia.
- HEREGU, Sunderesh (2006). “*Facilities Design*”, University of Louisville, Universe Inc NY Lincoln Shanghai.
- Hernandez, S. (2010). “*Metodología de la Investigación*”. México: McGraw-Hill.
- Ivanov, D. (2016). “Operations and supply chain simulation with AnyLogic 7.2”, Berlin School of Economics and Law.
- Jay Heizer y Barry Render (2009). “*Administración de operaciones*” Séptima edición, México: Editorial Pearson.
- Konz, Stephan (1991) “*Diseño de Instalaciones Industriales*”, Editorial LIMUSA S.A, México D.F.

- Lewis, B. (1973). *“Facilities and plant engineering handbook”*. New York: McGraw-Hill.
- López A., Martínez G.M., Quirós A.F., Sosa J.A. (2011). “Balanceo de líneas utilizando herramientas de Manufactura Esbelta”. Revista El Buzón de Pacioli, Número Especial 74, Octubre 2011.
- Manocher Djassemi, (2007), *“Improving factory layout under a mixed floor and overhead material handling condition”*, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 18 Iss 3 pp. 281 – 291.
- Meyers, Fred E. (2000). “Estudios de Tiempos y Movimientos para la Manufactura Ágil”. Segunda Edición. Editorial Pearson.
- Meyers, Fred E. y Stephens, Matthew P. (2006). “Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales”. Tercera Edición. Editorial Pearson.
- Niebel, B.W. y Freivalds, A. (2009). “Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo”. Editorial McGraw-Hill Interamericana. México.
- Pérez Olguín J.C. (2014). “Aplicación de técnicas de ingeniería Industrial en el mejoramiento de un proceso de manufactura”. Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez México.
- Posligua Hernández y Huidobro Peralta (2009) *“Propuesta de reubicación y nuevo layout de una fábrica de poliestireno expandido en el Distrito Metropolitano de Quito”*. Tesis Licenciatura. Quito, Ecuador.
- Rajender, S. (2006). *“Introduction to basic Manufacturing processes and workshop technology”* Daryaganj, New Delhi: New Age International.
- Rivera, L., Cardona, L., Vásquez, L. & Rodríguez, M. (2012). “Selección de alternativas de redistribución de planta: un enfoque desde las organizaciones”. Revista S&T, 10(23), 9-26.
- Rosario Domingo Roberto Alvarez Marta Melodía Peña Roque Calvo, (2007), *“Materials flow improvement in a lean assembly line: a case study”*, Assembly Automation, Vol. 27 Iss 2 pp. 141 – 147.
- Suñé Torrents A., Arcusa Postils I., & Gil Vilda F. (2004). “Manual práctico de diseño de sistemas productivos”. Editorial Díaz de Santos.
- S. Anil Kumar, N. Suresh, (2009) “Production and Operations Management”, New Age International (P) Limited Publishers.

- Tompkins, J. (1984). *“Facilities Planning”*. New York: Wiley.
- Watanapa A., Kajondecha P., (2011) “Analysis Plant Layout Design for Effective Production”, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, Vol. II. Hong Kong.
- Wilson L. (2010). *“How to implement Lean Manufacturing”*. United States of America: McGraw-Hill.

