

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y
AGROINDUSTRIA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
MATERIAL DE FRICCIÓN EN UNA EMPRESA METALMECÁNICA**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO DE MAGÍSTER (MSc.) EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL Y PRODUCTIVIDAD**

EDISON MIGUEL ORELLANA MONAR
eorellanamonar@gmail.com

DIRECTOR: ING. PEDRO ENRIQUE BUITRÓN FLORES, MSs.
pedro.buitron@epn.edu.ec

Quito, enero 2021

© Escuela Politécnica Nacional (2019)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Edison Miguel Orellana Monar, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente

Ing. Edison Miguel Orellana Monar

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edison Miguel Orellana Monar, bajo mi supervisión.

Ing. Pedro Enrique Buitrón Flores, MSc.

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Mi eterno agradecimiento al Creador por su constante apoyo para cumplir mis metas.

A mi madre, esposa e hijos por su comprensión, paciencia y apoyo para formular, desarrollar y culminar el presente trabajo.

Al Ing. Pedro Buitrón por su tiempo y acertada guía en el desarrollo de la presente tesis.

A los profesores y personal que laboran en la maestría por sus enseñanzas y apoyo brindado durante el proceso de formación profesional.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado al creador a mi madre, esposa, hijos, familiares y allegados, por su incondicional amor y ejemplo de lucha y perseverancia, enseñándome que no hay meta difícil de alcanzar con trabajo y esfuerzo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Diseño de procesos de producción de manufactura	1
1.1.1. Líneas de producción	1
1.1.1.1. Variación de producto	2
1.1.1.2. Métodos de transporte de trabajo	3
1.1.1.3. De acuerdo a la arquitectura de la línea	5
1.1.1.4. De acuerdo al tipo de operador	6
1.1.2. Balanceo de la línea de ensamblaje	7
1.1.3. Programación a corto plazo	11
1.1.4. Ingeniería de proceso	14
1.1.4.1. Tipos de procesos	14
1.1.5. Factores condicionantes del diseño de procesos	18
1.1.6. Análisis y diseño de procesos	21
1.1.6.1. Diagrama de flujos	22
1.1.6.2. Gráficas de función de tiempo	23
1.1.6.3. Diagrama de procesos	24
1.1.6.4. Diagrama de recorrido	26
1.1.7. Diseño de plantas de producción	27
1.1.7.1. Aspectos generales del diseño y dimensionado de una planta productiva	27
1.1.7.2. Evaluación de la superficie necesaria para cada centro	30
1.1.7.3. Distribución de los equipos y estaciones de trabajo en una planta	33
1.2. Diseño de experimentos	35
1.2.1. Tipos de diseño experimentales	36
1.2.1.1. Diseño completamente al azar	36
1.2.1.2. Diseño de bloques completamente al azar	37
1.2.2. Análisis estadístico con Minitab	37
1.2.2.1. Interfaz de usuario con Minitab	37
1.2.2.2. Proyecto y hojas de trabajo	39
1.2.2.3. Tipos de datos	40
1.3. Elementos de pastillas de frenos	41
1.4. Procesos de producción de frenos	43
1.4.1. Características básicas de las pastillas de frenos	45
1.4.1.1. <i>Undeslayer</i>	46
1.4.1.2. Soporte	47

2.	METODOLOGÍA	48
2.1.	Diseño de procesos de fabricación de pastillas de frenos	48
2.1.1	Diagramas de flujo del área de producción de pastillas de frenos	48
2.1.2.	Evaluación de tiempos y movimientos del área de producción de pastillas de frenos	50
2.2.	Cálculo de los requerimientos de máquinas y equipos de la línea de producción de pastillas de frenos	51
2.2.1	Determinación de centros y estaciones de trabajo a implantar	51
2.2.2.	Determinar matriz de tránsitos	51
2.2.3	Determinar las superficie por cada centro a implantar	52
2.2.4	Diseño e implementación del área de producción para una planta de fabricación de pastillas de frenos	53
2.3.	Diseño de los tratamientos a evaluar en la línea de producción	57
2.4.	Evaluación de la línea de producción	59
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
3.1.	Representación del proceso por medio de diagrama de flujo	60
3.1.1.	Descripción de las áreas de producción	63
3.1.2.	Diagramas hombre-máquina del área de producción	64
3.2.	Diseño de centros y puestos de trabajo	68
3.2.1.	Diagrama de precedencias	68
3.2.2.	Matriz de eslabones para los centro propuestos	69
3.2.3.	Distribución en red bidireccional de centros propuestos	71
3.2.4.	Calculo de número de estaciones de trabajo para el área de producción	75
3.2.5.	Calculo de superficies necesarias	77
3.2.6.	Diseño e implementación del proceso de fabricación de pastillas de frenos	80
3.3.	Evaluación del diseño experimental	92
3.3.1	Resultados obtenidos a partir de la variable de salida dureza	92
3.3.2	Resultados obtenidos a partir de la variable de salida gravedad específica	99
3.3.3	Resultados obtenidos a partir de la variable de salida coeficiente de fricción	105
3.3.4	Evaluación general del experimento	112
3.4.	Evaluación de las líneas de producción propuestas	115

3.5	Discusión	116
3.5.1.	Diagrama hombre-máquina del área de producción	116
3.5.2.	Diseño de centros y puestos de trabajo	116
3.5.2.1.	Matriz de eslabones para los centros propuestos	117
3.5.2.2.	Distribución de la red bidireccional de centros propuestos	117
3.5.2.3.	Calculo del número de estaciones de trabajo para el área de producción	117
3.5.2.4.	Calculo de superficies necesarias	118
3.5.2.5.	Diseño e implementación del proceso de fabricación de pastillas de frenos	118
3.5.3.	Evaluación del diseño experimental	118
3.5.3.1.	Resultados obtenidos a partir de la variable dureza	118
3.5.3.2.	Resultados obtenidos a partir de la variable gravedad específica	119
3.5.3.3.	Resultados obtenidos a partir de la variable coeficiente de fricción	119
3.5.4.	Evaluación general del experimento	119
3.5.5.	Evaluación de las líneas de producción propuestas	121
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
4.1.	Conclusiones	122
4.2.	Recomendaciones	124
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
	ANEXOS	130

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Esquema de una línea de ensamblaje con varias tareas para embalar un determinado producto	8
Tabla 1.2	Técnicas heurísticas que se utiliza en la asignación de tareas a las estaciones de trabajo en el balanceo de líneas	10
Tabla 1.3.	Principales ventajas y desventajas de configuración por lotes	18
Tabla 1.4.	Evaluación de los equipos necesarios por puestos	30
Tabla 1.5.	Valores del coeficiente k para el cálculo de la superficie de evaluación	32
Tabla 1.6.	Detalle del recorrido de tres piezas por los puestos de trabajo y sus eslabones	33
Tabla 1.7.	Proporciones de componentes para mezcla semi-metálica de pastillas de freno	43
Tabla 1.8.	Especificaciones técnicas de pastillas de frenos con respaldo metálico con dos formulaciones de material abrasivo en calidad semi metálica	46
Tabla 2.1.	Tratamientos de DBCA con tres factores y tres niveles	58
Tabla 3.1.	Diagrama hombre-máquina en el proceso de prensado de pastillas de freno con respaldo metálico	64
Tabla 3.2.	Diagrama hombre-máquina en el proceso de curado de pastillas de freno con respaldo metálico	65
Tabla 3.3.	Diagrama hombre-máquina en el proceso de pintado y empacado de pastillas de freno con respaldo metálico	66
Tabla 3.4.	Centros, procesos y estaciones de trabajo a implantar en el diseño de una planta de fabricación de pastillas de freno para motocicletas	68
Tabla 3.5.	Resultados de la evaluación de las tres propuestas de distribución de una planta de fabricación de frenos para motocicletas	74
Tabla 3.6.	Resultados del cálculo de número de horas al año necesarias para cada centro de producción de la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas	76

Tabla 3.7.	Resultados del cálculo de número de estaciones de trabajo para la planta de fabricación de frenos de motocicleta	77
Tabla 3.8.	Resultados del cálculo de superficie necesaria para cada centro para la planta de fabricación de pastillas de frenos	78
Tabla 3.9.	Resultados del análisis de tiempos por persona y maquina en los diferentes puestos de trabajo para la planta de fabricación de pastillas de frenos	81
Tabla 3.10.	Resultados del diseño para la producción de pastillas de frenos simulado con el <i>software</i> Diseño procesos Diag	84
Tabla 3.11.	Resultados del segundo diseño para la producción de pastillas de frenos simulado con el <i>software</i> Diseño procesos Diag	89
Tabla 3.12.	Resultados de la variable dureza medidos con una carga nominal menor de 14,7 kN y una carga mayor 29,4 kN y un diámetro del penetrador de 25,4 mm	92
Tabla 3.13.	Esquema del ANOVA para Dureza en el diseño multifactorial 3x3x3	94
Tabla 3.14.	Resultados de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para dureza	97
Tabla 3.15.	Resultados de la variable gravedad específica en la interacción de los factores de estudio material, tiempo de presión y tiempo de curado	99
Tabla 3.16.	Esquema del ANOVA para gravedad específica en el diseño multifactorial 3x3x3	101
Tabla 3.17.	Resultados de la variable coeficiente de fricción en la interacción de los factores de estudio material, tiempo de presión y tiempo de curado	106
Tabla 3.18.	Esquema del ANOVA para coeficiente de fricción en el diseño multifactorial 3x3x3	107
Tabla 3.19.	Resultados de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para coeficiente de fricción	110
Tabla 3.20.	Resultados promedio de las variables, dureza, gravedad específica y coeficiente de fricción en la interacción de	113

	los factores de estudio material, tiempo de presión y tiempo de curado	
Tabla 3.21.	Ordenamiento de los tratamientos acuerdo al valor mayor o menor de las diferentes variables en estudios señalados en la Tabla 3.21	114
Tabla 3.22.	Resultados del primer y segundo diseño para la producción de pastillas de frenos simulado con el <i>software</i> Diseño procesos Diag	115
Tabla AI.1.	Formato propuesto para realizar cursogramas de procesos productivos	131
Tabla AII.2.	Formato propuesto para realizar diagramas hombre - máquina de procesos productivos	132
Tabla AIII.1.	Distribución de tratamientos en el estudio de un diseño multifactorial con tres factores y tres niveles cada uno con tres repeticiones	133
Tabla AIII.2.	Registro de resultados de la variable de salida dureza en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado	134
Tabla AIII.3.	Promedio de los tratamientos de la variable de salida dureza	136
Tabla AIV.1.	Registro de resultados de la variable de salida gravedad específica en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado	138
Tabla AIV.2.	Promedio de los tratamientos de la variable de salida gravedad específica	140
Tabla AV.1.	Registro de resultados de la variable de salida coeficiente de fricción en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado	142
Tabla AV.2.	Promedio de los tratamientos de la variable de salida coeficiente de fricción	144
Tabla AVI.1.	Características de los equipos para la producción de pastillas de frenos	146

Tabla AVII.1.	Centros de Origen-Destino de tránsito y N° de personas	148
Tabla AVII.2	Matriz de interacciones entre centros, detallando los valores por cada tránsito más relevantes	149
Tabla AVII.3	Matriz de interacciones con el cálculo del Factor Base de las celdas más relevantes	153

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1	Configuración estándar de una línea de producción	1
Figura 1.2.	Tipos de líneas de embalajes	2
Figura 1.3.	Sistemas de ensamble de línea	5
Figura 1.4.	Sistema de ensamble circular o cerrado	6
Figura 1.5.	Sistemas de ensamble manual	6
Figura 1.6.	Sistema de ensamble automatizado	7
Figura 1.7.	Diagrama de precedencias	8
Figura 1.8.	Control de insumos y producto en una línea de embalaje	13
Figura 1.9.	Matriz de productos y procesos para los procesos de manufactura	14
Figura 1.10.	Diagrama de flujo del proceso de surtido de pedidos que muestra la transmisión de control entre departamentos	23
Figura 1.11.	Graficas de función – tiempo (mapeo de procesos) detallando el mejoramiento de sus procesos	24
Figura 1.12.	Diagrama de proceso de admisión de pacientes en la sala de emergencia de un hospital	25
Figura 1.13.	Superficie de Guerchet	31
Figura 1.14.	Matriz con sus interacciones y número de eslabones	34
Figura 1.15.	Interfaz del usuario del <i>software</i> Minitab	38
Figura 1.16.	Tipos de datos que se pueden ingresar en Minitab	40
Figura 1.17.	Componentes del material de fricción	41
Figura 1.18.	Pastillas de freno	46
Figura 1.19.	Pastillas de freno con capa <i>underlayer</i>	47
Figura 1.20.	Soporte de acero para pastillas de freno	48
Figura 3.1.	Diagrama de flujo de la fabricación de pastillas de freno	60

	para motocicletas	
Figura 3.2.	Cursograma analítico detallando la trayectoria de partes en la fabricación de pastillas de freno para motocicletas	61
Figura 3.3.	Diagrama de recorrido detallando la trayectoria de partes en la fabricación de pastillas de freno para motocicletas	62
Figura 3.4.	Diagrama de precedencias en el proceso de fabricación de pastillas de freno	69
Figura 3.5.	Matriz de tránsito calculada para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas	70
Figura 3.6.	Determinación del factor base para evaluar las distribuciones planteadas de los centros de la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicleta	71
Figura 3.7.	Primera solución a la distribución de centros sobre la red bidireccional para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicleta	72
Figura 3.8.	Segunda solución a la distribución de centros sobre la red bidireccional para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicleta	73
Figura 3.9.	Tercera solución a la distribución de centros sobre la red bidireccional para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicleta	73
Figura 3.10.	Centro dimensionado de forma funcional para la primera propuesta a la distribución de estaciones para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicleta	79
Figura 3.11.	Centro dimensionado de forma funcional para la segunda propuesta a la distribución de estaciones para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas	79
Figura 3.12.	Centro dimensionado de forma funcional para la tercera propuesta de distribución de estaciones para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas	80
Figura 3.13.	Primer diseño e implantación de procesos para la planta de producción de pastillas de frenos para motocicletas en el <i>software</i> simulador para diseño de plantas	82

denominado Diseño procesos Diag OT (Java)

Figura 3.14.	Gráfico de los ciclos totales de tiempo de cada puesto de trabajo del diseño de procesos para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java)	84
Figura 3.15.	Gráfico de Operación - Tiempo de cada puesto de trabajo para un lote de producción de 40 unidades para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java)	85
Figura 3.16.	Gráfico de evolución de la producción entregada y stock en curso para un lote de producción de 40 unidades para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java)	86
Figura 3.17.	Segundo diseño e implantación de procesos para la planta de producción de pastillas de frenos para motocicletas en el <i>software</i> simulador para diseño de plantas denominado Diseño procesos Diag OT (Java)	87
Figura 3.18.	Gráfico de los ciclos totales de tiempo de cada puesto de trabajo del diseño de procesos para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java)	89
Figura 3.19.	Gráfico de Operaciones - Tiempo del segundo diseño para cada puesto de trabajo para un lote de producción de 40 unidades para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java)	90
Figura 3.20.	Gráfico de evolución de la producción entregada y stock en curso del segundo diseño para un lote de producción de 40 unidades para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java)	91
Figura 3.21.	Efectos principales de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Dureza obtenido en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB	95
Figura 3.22.	Efectos principales de las interacciones de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Dureza obtenido en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB	96
Figura 3.23.	Efectos principales de los tratamientos entre los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado,	98

sobre la variable de respuesta Dureza

Figura 3.24.	Efectos principales de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Gravedad específica obtenida en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB	102
Figura 3.25.	Efectos principales de las interacciones de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Gravedad específica obtenida en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB	103
Figura 3.26.	Efectos principales de los tratamientos entre los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Gravedad específica	105
Figura 3.27.	Efectos principales de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Gravedad específica obtenida en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB	108
Figura 3.28.	Efectos principales de las interacciones de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta coeficiente de fricción obtenida en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB	109
Figura 3.29.	Efectos principales de los tratamientos entre los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta coeficiente de fricción	112

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I	
Formato para realizar cursogramas	131
ANEXO II	
Formato para realizar diagramas hombre-máquina	132
ANEXO III	
Registro de resultados de la variable de salida dureza	133
ANEXO IV	
Registro de resultados de la variable de salida gravedad específica	138
ANEXO V	
Registro de resultados de la variable de salida coeficiente de fricción	142
ANEXO VI	
Características de los equipos para la producción de pastillas de frenos	146
ANEXO VII	
Cálculo de la matriz de tránsito detallando los valores para cada celda	148

RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es el diseño de procesos de una planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas con una producción diaria de 80 juegos de pastillas.

Para lo cual se identificó los procesos de fabricación de pastillas de frenos, identificando 13 áreas necesarias a implementar y sus interacciones, se pondero estas interacciones con el método de eslabones, se propuso tres soluciones de distribución en planta, se busco la solución con la menor ponderación y la menor distancia de recorrido entre las áreas, quedando la tercera solución propuesta con una distancia de recorrido de 39,5 m y una ponderación de 9 412,5.

Se procedió a calcular en número de estaciones de trabajo para el área de producción, determinando siete áreas de producción se considero una fabricación anual de 10 000 juegos de pastillas y se identificó cuantas horas son necesarias para alcanzar esta fabricación anual en cada una de estas siete áreas definiendo nueve puestos de trabajo. Se calculo el espacio mínimo total necesario para estos nueve puestos de trabajo el área calculada fue de 115,5 m².

A continuación se propuso dos diseños de procesos con un lote de producción diaria de 80 juegos de pastillas, cada diseño con diferentes lotes de transferencia entre áreas de producción, obteniendo resultados similares en productividad, pero diferentes en el *lead time* siendo el segundo diseño con el mejor resultado.

Por último se evaluó tres mezclas abrasivas con tres tiempos de prensado y tres tiempos de curado para las pastillas de frenos, dando 27 tratamientos que fueron evaluados con las siguientes variables de salida: dureza, gravedad específica y el coeficiente de variación, todos medidos bajo especificaciones técnicas realizadas en el laboratorio de control de calidad de una compañía formuladora y fabricante de pastillas de frenos para el sector automotriz, luego de las evaluaciones se determinó que ningún tratamiento cumplía con las especificaciones técnicas para la comercialización de pastillas de frenos.

INTRODUCCIÓN

Según datos del Banco Central del Ecuador, el país importa partes y frenos automotrices en un promedio anual de 862,2 toneladas importadas, desde 26 países, bajo la partida arancelaria 6 813,81, denominada guarniciones para freno. El 50% de las importaciones provienen de los países asiáticos. Según datos de Proecuador, el país exporta 464,63 toneladas de materia prima para fabricar pastillas de frenos a los países de Centroamérica, Venezuela, Colombia y Chile. Para la partida aduanera con el código 8708.30.10 denominada guarniciones de frenos contando las importaciones desde el año 2014 ascienden a 2 677,08 toneladas importadas de varios países y se exporta 3,95 toneladas como producto terminado.

La producción de repuestos para el sector automotriz, como zapatas y pastillas de frenos hechos en el país, es baja. Para el sector de motocicletas, estos repuestos, en su mayoría, provienen de países asiáticos y del pacto andino. Según datos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, con sus siglas AEADE, en el país se venden alrededor de 100 000 unidades de motocicletas al año, de las cuales, el 70% son ensambladas en el país. Estas ensambladoras deben cumplir con el 20% de componentes de origen nacional, de ahí la demanda de piezas de fabricación nacional como llantas, aros, cables, filtros, baterías, etc. Para sus modelos de motocicletas.

El diseño de una planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas, determinando sus centros a implantar e identificando sus interacciones, detallando las necesidades de espacio físico, capacidad de producción, tiempos de producción, lotes de fabricación, puestos de trabajo, número de personas requeridas, además la evaluación de mezclas abrasivas nos permite ensayar la factibilidad de implementar físicamente la planta de fabricación de pastillas de frenos buscando cumplir con los requerimientos técnicos de materiales abrasivos e incursionar en la comercialización de partes y repuestos para las ensambladoras nacionales de motos y repuestos genéricos.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 DISEÑO DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE MANUFACTURA

1.1.1 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Una línea de producción consta de una serie de estaciones de trabajo organizadas para que los materiales sean transformados y pasen a la siguiente estación de trabajo hasta completar el producto, la velocidad de una línea de producción se determina por la velocidad de procesamiento de la estación más lenta, la transferencia del material a lo largo de la línea se realiza por medio de un dispositivo mecánico, automático o manual (Groover, 2010, p. 908).

Una línea de ensamblaje está conformada por varias estaciones de trabajo y varias operaciones que se llevan a cabo en un determinado tiempo de proceso en cada estación, un conjunto de piezas y materiales son colocados de manera predefinida a cada estación de trabajo según la secuencia de la línea de producción para crear un determinado producto (Díaz, 2010, p. 82).

En la Figura 1.1 se detallan las partes que conforman una línea de ensamblaje

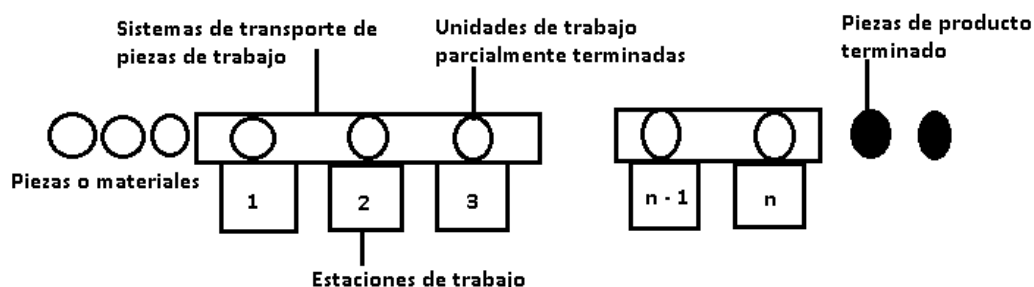


Figura 1.1. Configuración estándar de una línea de producción
(Groover, 2010, p. 923)

Las líneas de producción se diseñan en función a las necesidades de sus productos y sus variaciones, estas variaciones no deben ser demasiado grandes caso contrario se debe diseñar una nueva línea de producción, existen varios tipos de líneas de ensamble, las mismas se resumen de acuerdo a la Figura 1.2 las cuales se describe brevemente a continuación:

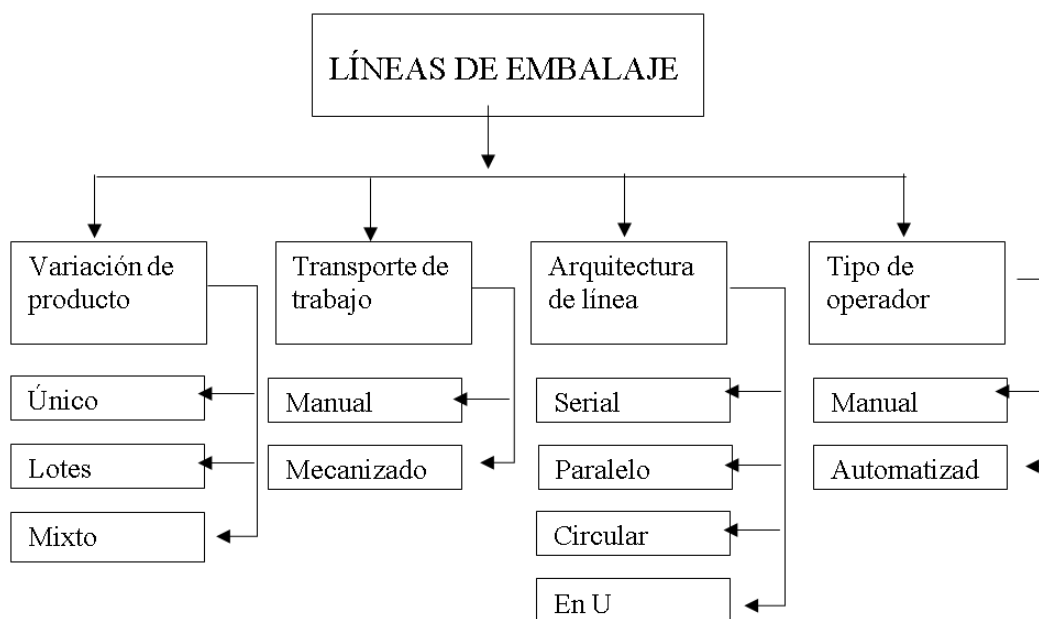


Figura 1.2. Tipos de líneas de embalajes
(Díaz, 2010, p. 83)

1.1.1.1 Variación de producto

La línea de ensamble de modelo único, ensambla sólo un determinado modelo sin variaciones significativas en él. Por lo tanto las operaciones que se realizan en cada una de las estaciones de trabajo son similares para cada unidad de producto (Groover, 2010, p. 923) a diferencia del ensamble por lotes.

La línea de ensamble de modelo por lotes, fabrica en lotes de más de dos unidades cada modelo, cada estación de trabajo de esta línea se configura para fabricar una cantidad determinada del primer modelo y después se configuran para fabricar otra cantidad requerida de unidades del modelo siguiente, y así sucesivamente.

La configuración de cada estación de trabajo como la asignación de operaciones, herramientas, operarios y materiales se realiza en función a las necesidades de los modelos a producir, estos cambios generan tiempos muertos en una línea de modelos por lotes, una tercera opción es la línea de ensamblaje mixta (Díaz, 2010, p. 84).

La línea de ensamblaje de modelo mixto fabrica varios modelos; sin embargo las diferentes piezas que componen varios modelos se entremezclan en la misma línea. Mientras un modelo se trabaja en una estación de trabajo, otro modelo diferente se procesa en otra estación, cada estación de trabajo está dotada con los equipos y herramientas necesarias para procesar los diferentes modelos.

Según Groover (2010) “las ventajas de una línea de modelo mixto con una por lotes son: 1) se minimiza los tiempos muertos entre modelos; 2) se evita altos inventarios de algunos modelos cuando hay escasez de otros; y 3) las velocidades de fabricación y las cantidades de los modelos aumentan y descienden de acuerdo con los cambios de la demanda” (p. 924).

La programación y asignación de tareas a las estaciones de trabajos son más complicadas, así como el abastecimiento de piezas y materiales, el personal debe estar capacitado para producir los diferentes modelos.

1.1.1.2 Métodos de transporte de trabajo

Hay dos formas básicas para realizar el movimiento de unidades de trabajo a lo largo de la línea de ensamblaje la manual y mecanizada.

Métodos manuales de transporte de trabajo, son aquellas líneas que pasan la unidad de trabajo manualmente a través de rodillos, de mano a mano a cada estación de trabajo, en cada estación se acumula producción en cajas o bandejas para pasar a la siguiente estación estos genera inventarios en proceso, determinar la velocidad de la línea de producción no es tan fácil y es necesario

implementar unidades de almacenamiento entre estaciones de trabajo y sistemas de jala y empuja como rodillos (Leyva, Mauricio y Salas, 2013, p. 136).

Métodos mecanizados de transporte de trabajo, son líneas que utilizan sistemas mecanizados de potencia para mover la unidad de trabajo a las diferentes estaciones de trabajo. Estos dispositivos son utilizados para cargar, levantar, transportar por lo general utilizan energía eléctrica, dispositivos como: cintas transportadoras, transportadores de cadena colgante y al piso, en varias líneas se combinan algunos de estos dispositivos en la misma línea (Meyers y Stephens, 2006, p. 316).

Existen tres principales sistemas de transferencia de materiales y unidades de trabajo que se practican en las líneas de producción: 1) transferencia continua, 2) transferencia sincrónica y 3) transferencia asincrónica (Groover, 2010, p. 924).

Los sistemas de transferencia continua se destacan por tener un transportador como una banda en continuo movimiento y a una velocidad constante, es el método más usado en las líneas de ensamble manual, el transporte continuo se puede implementar de dos formas: 1) Unidades fijas a la banda transportadora como ensamble de autos y 2) Unidades de trabajo son removibles de la banda como ensambles de computadoras (Salazar, 2016a, p. 1).

En los sistemas de transferencia sincrónica el tiempo de ciclo de trabajo en cada estación de trabajo es similar, lo cual permite que la unidad de trabajo pase de una estación de trabajo a la otra al mismo tiempo, sin generar almacenamientos entre estaciones, este sistema es muy común en los sistemas automatizados (Díaz, 2010, p. 84).

La transferencia asincrónica se destaca porque cada pieza de trabajo tenga diferentes tiempos de procesamiento en las estaciones de trabajo, estos diferentes tiempos de fabricación provoca el aumento en el tiempo que una pieza esté disponible para la siguiente estación y aumente el número de piezas disponibles. Se utiliza almacenamiento entre estaciones como stocks de

seguridad, esta transferencia es utilizada en sistemas automáticos y manuales (Cervantes y Platas, 2014, p. 89).

1.1.1.3 De acuerdo a la arquitectura de la línea

El sistema serial tiene colocada en la línea de ensamble los puestos de trabajo en serie una adyacente a la otra en la cual las operaciones avanzan de una estación de trabajo a la siguiente por medio de transportadores que por lo general son rodillos, bandas; permitiendo que cada unidad de trabajo sea transformada en una determinada estación, con un ciclo de tiempo dado; de esta forma se conectan todas las estaciones del proceso de fabricación como se observa en la Figura 1.3 (Díaz, 2010, p. 86).

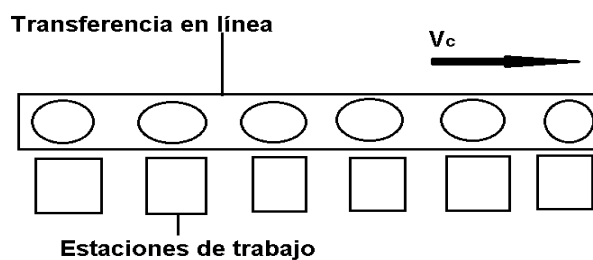


Figura 1.3. Sistema de ensamble en línea
(Groover, 2010, p. 932)

Las estaciones en paralelo tienen dos o más estaciones similares que realizan al mismo tiempo la misma operación. Si el tiempo de ciclo de alguna operación es mayor a las demás operaciones este diseño en paralelo permite reducir el tiempo de la operación proporcionalmente con el número de estaciones de trabajo según (Ríos, 2013, p. 98).

El sistema en paralelo consiste en colocar en paralelo las estaciones de trabajo y por lo general son utilizadas en modelos múltiples, de esta forma cada línea fabrica un producto y sus complementos.

El sistema circular o cerrado consiste en que las unidades de trabajo circulan por la banda mientras los trabajadores las toman y las transforman y nuevamente son colocados sobre la banda, excepto en la última estación, la cual coloca la unidad transformada fuera de la banda, en la Figura 1.4 se observa la configuración de este sistema.

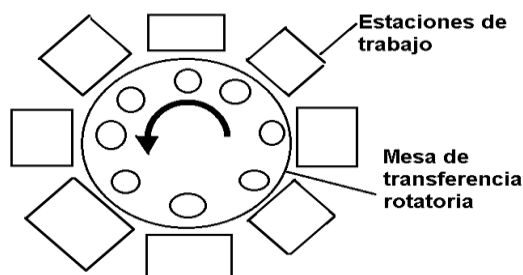


Figura 1.4. Sistema de ensamble circular o cerrado
(Groover, 2010, p. 932)

1.1.1.4 De acuerdo al tipo de operador

La línea de ensamble manual consiste en varias estaciones de trabajo ordenados en forma secuencial en las cuales trabajadores humanos realizan las operaciones de ensamble como se observa de la Figura 1.5 se envía una pieza al inicio de la línea y es transportada en una banda a las diferentes estaciones de trabajo donde se le añaden componentes hasta el final de la línea. Los procesos que se realizan en la línea de ensamble manual por lo general son operaciones de ajuste mecánico, soldadura de puntos, ensamble de piezas, adición de embalajes (Pinzón, 2010, p. 105).

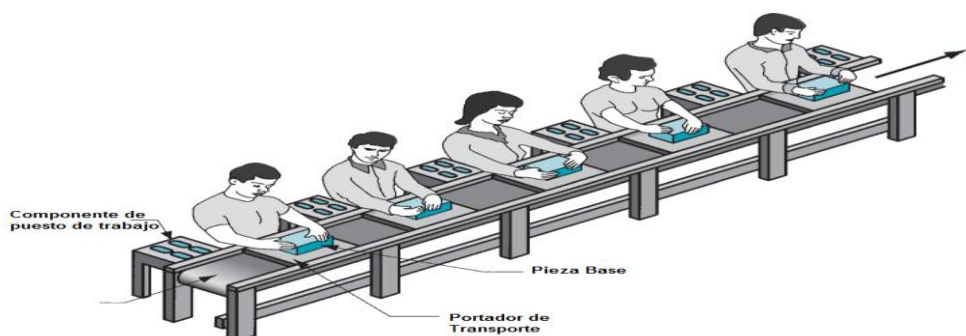


Figura 1.5. Sistema de ensamble manual
(Groover, 2010, p. 927)

La línea de ensamblaje automatizada consiste en formar estaciones de trabajo automatizadas interconectadas a un sistema de transferencia de unidades de trabajo cuyos arribos están conectadas con las estaciones, estas líneas automatizadas son sistemas complejos que funcionan bajo el control de una computadora, como se observa en la Figura 1.6 el personal humano está para realizar operaciones de mantenimiento y supervisión de fallas del sistema, estas líneas de producción automatizada se dividen en dos grandes grupos: 1) Las que realizan tareas de procesamiento como el maquinado, y 2) las que realizan tareas de ensamble (Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C., 2004, p. 14).

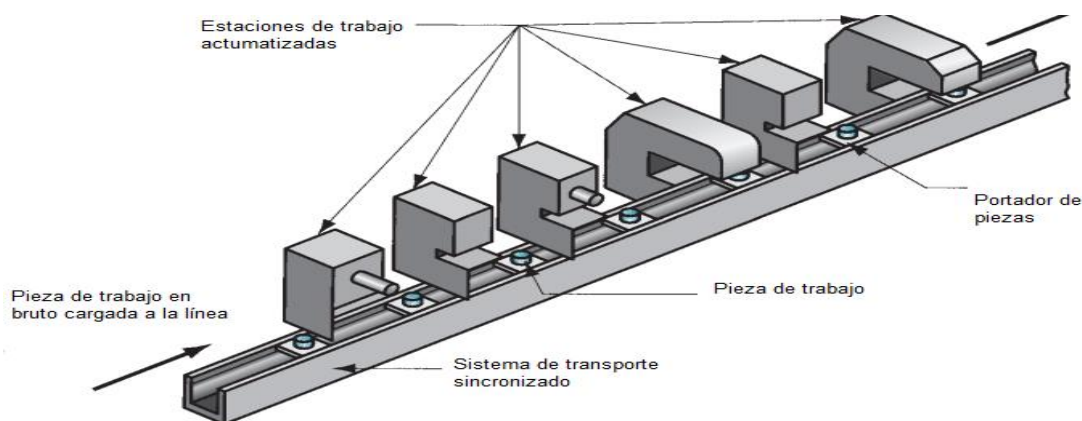


Figura 1.6. Sistema de ensamblaje automatizado
(Groover, 2010, p. 931)

1.1.2 BALANCEO DE LÍNEA DE ENSAMBLAJE

El balanceo de líneas consiste en agrupar varias operaciones secuenciales de trabajo en estaciones de trabajo, con el objetivo de lograr el máximo aprovechamiento de la mano de obra, equipo, instalaciones, energía, de esta manera se busca reducir o eliminar el tiempo muerto. (Ramos, 2012, p. 1).

El problema principal de balanceo de líneas de ensamble consiste en organizar físicamente las operaciones o procesos individuales entre estaciones o celdas de trabajo, para que tengan similares cantidades de trabajo y el producto fluya sin retrasos, este balanceo tiene varios objetivos.

Entre los objetivos está balancear la salida de piezas de cada estación de trabajo, reducir las diferencias de tiempos entre máquinas o el personal para obtener la producción deseada de la línea, reducir el número de estaciones de trabajo, tiempos muertos y maximizar la eficiencia de la línea (Baquero, 2015, pp. 3-7).

Para realizar el balanceo de una línea de embalaje es necesario tabular las operaciones que se realizan en el proceso también sus actividades predecesoras y su tiempo de duración como los datos que se observan en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Esquema de una línea de ensamble con varias tareas para ensamblar un determinado producto.

Tarea	Tiempo (s)	Tarea predecesora
1	40	2 – 3
2	30	4 – 5
3	50	6 - 7
4	36	8
5	20	8
6	25	9
7	19	9
8	10	10
9	14	10
10	30	--

(Baquero, 2015, p. 7)

Una vez tabulados los datos de las actividades se debe realizar un diagrama de precedencias donde se resume las secuencias de las actividades y los tiempos de ejecución como lo muestra la Figura 1.7 (Heizer y Render, 2007, p. 349)

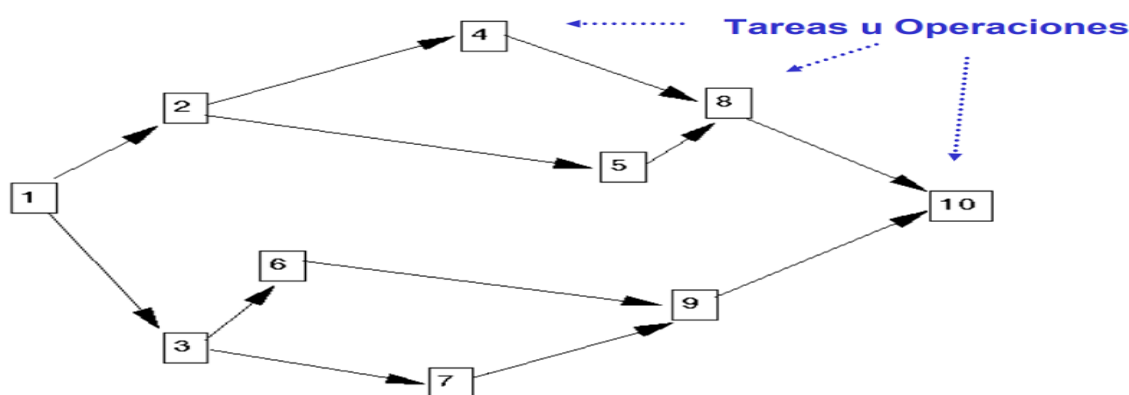


Figura 1.7. Diagrama de precedencias
(Heizer y Render, 2007, p. 349)

Luego de realizar el diagrama de precedencias pasamos a agrupar las operaciones en estaciones de trabajo para obtener la tasa de producción requerida. Según Heizer y Render este proceso incluye tres pasos (p. 349):

- 1) Calcular el tiempo de ciclo que consiste en dividir la demanda de unidades por día entre el tiempo productivo disponible por día, este es el tiempo máximo disponible de los productos en cada estación de trabajo.

El tiempo de ciclo se determinara mediante la Ecuación 1.1 (Arcusa, Gil y Suñe, 2004, p. 92).

$$T_c = \frac{T}{D} \quad [1.1]$$

Donde:

T_c: Tiempo de ciclo (s)

T: Tiempo de producción disponible por día (s)

D: Unidades requeridas por día

- 2) Calcular el número mínimo teórico de estaciones de trabajo. Se calcula dividiendo el tiempo total de duración de las operaciones entre el tiempo de ciclo. Las fracciones se redondean hacia el inmediato superior número entero. El número mínimo de estaciones se determinará con la Ecuación 1.2 (Gestión de operaciones, 2015, p. 1).

$$N = \frac{T_i}{T_c} \quad [1.2]$$

Donde:

N: Número mínimo de estaciones de trabajo

T_i: Tiempo para tarea i (s)

T_c: Tiempo de ciclo (s)

- 3) Balancear la línea asignando operaciones de ensamble específicas para cada estación de trabajo. Con un balanceo eficiente se mantiene el tiempo muerto en cada estación de trabajo al mínimo. Un procedimiento para lograrlo es:

- a) Identificar una lista maestra de actividades o tareas.
- b) Eliminar las actividades que no generen mucho valor al producto
- c) Eliminar las tareas cuya relación de precedencia no satisfice.
- d) Eliminar las operaciones cuyo tiempo disponible en cada estación de trabajo estén incorrectos
- e) Usar una técnica “heurística” de balanceo de líneas descritas en la Tabla 1.2 según Heizer y Render (2007) son “las cinco opciones que son: 1. Tiempo más largo para una tarea., 2. Mayor numero de tareas que le siguen., 3. Ponderación de la posición., 4. Tiempo más corto para una tarea, y 5. Menor número de tareas que le siguen” (p.350).

Tabla 1.2. Técnicas heurísticas que se utiliza en la asignación de tareas a las estaciones de trabajo en el balanceo de líneas.

Tarea	Descripción
1. Tiempo más largo para una actividad	De las operaciones disponibles, elegir la tarea con el tiempo más largo
2. Mayor número de operaciones sucesoras	De las tareas disponibles elegir, elegir la que tenga el mayor número de las tareas que le siguen
3. Ponderación de la posición	De las operaciones disponibles, elegir la tarea cuya suma de tiempos para las tareas que le siguen es mayor
4. Tiempo más corto para una operación	De las operaciones disponibles, elegir la tarea con el tiempo más corto
5. Menor número de operaciones sucesoras	De las operaciones disponibles, elegir la tarea con el menor número de tareas que le siguen

(Heizer y Render, 2007, p. 350)

- f) Calcular el stock en proceso define el tamaño de lotes de transferencia entre varios centros de trabajo, permite determinar los cuellos de botella en un proceso productivo según Cuatrecasas (2009) (p.150).

El stock en proceso se calculara con la Ecuación 1.3 (Cuatrecasas, 2009, p. 152).

$$WIP = Q \left[1 - \frac{1}{CM} \left(C1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N Ci \right) \right] \quad [1.3]$$

Donde:

WIP: *Work In Process* (Trabajo en proceso)

Ci: Tiempo de ciclo (s)

CM: Tiempo de ciclo condicionante o cuello de botella (s)

- g) Calcular el *lead time* total del proceso nos permite conocer la cantidad de tiempo que necesitamos para producir una cierta cantidad de productos solicitados

El *lead time* total (LTT) se calculara con la Ecuación 1.4 (Cuatrecasas, 2009, p. 153).

$$LTT = \frac{Q}{n} (\sum_1^N C_i + CM (n - 1)) \quad [1.4]$$

Donde:

Q: Cantidad de tiempo disponible total

n: Número de piezas a fabricar

1.1.3 PROGRAMACIÓN A CORTO PLAZO

La planificación a corto plazo constituye la última fase del proceso de planificación y control de la producción. El punto de partida de esta fase es el plan de materiales a partir del cual se ha de definir lo siguiente: (Alfalla, García, González y Sacristán, 2008, p. 199).

- 1) Programar el conjunto de operaciones necesarias para su ejecución
- 2) Ejecutar dichas operaciones
- 3) Controlar el funcionamiento diario en sus múltiples aspectos (actividades, pedidos, capacidad)

Todo esto implica un amplio abanico de operaciones que, además, han de llevarse a cabo en forma continua por lo que consumen gran cantidad de tiempo y recursos de la empresa. El resultado final será la elaboración del programa de operaciones detallado.

Este programa de operaciones detallado tiene por objetivo determinar cuáles actividades se van a realizar sobre los distintos pedidos de la compañía, en que horizonte de tiempo y en que centros de trabajos se van a fabricar, con la capacidad disponible utilizando el menor volumen de recursos e inventarios.

Al programar con mayor nivel de detalle se debe tomar en cuenta las varias configuraciones productivas, podemos decir que el caso más complejo se puede presentar es el de las configuraciones por lotes y, dentro de ellas, las denominadas por funciones *job-shop*, en estos casos para programar se debe llevar a cabo varias actividades como (Alfalla et al, 2008, p. 200):

- A) Distribución de cargas de trabajo entre centros de trabajo.
- B) Priorización de tareas en centros de trabajo.

Determinar las cargas de trabajo según (Heizer y Render, 2007, p. 563) existen dos maneras de asignar operaciones a los centros de trabajo. Una está orientada a medir la capacidad utilizando una técnica llamada control de insumos y productos, el otro enfoque que se usa para asignar tareas son: las gráficas de Gantt y el método de programación lineal, los cuales se detallan a continuación.

a) Control de insumos y producto

El desconocimiento de la capacidad y el desempeño de los puestos de trabajo reducen la producción, es por ello que el control de insumos y producto semi elaborado y producto terminado, es una técnica que permite al planificador administrar el flujo de trabajo al máximo en las instalaciones.

Cuando el producto llega más rápido de lo que se procesa en la estación de trabajo hay una sobrecarga y existen fatiga del personal y problemas de calidad en el producto, al contrario si llega muy lento hay tiempos muertos generando una subutilización de las instalaciones (Alfalla et al, 2008, p. 201). En la Figura 1.8 se detalla un ejemplo del control de insumos y producto en un determinado proceso productivo.

b) Método de asignación

El método de asignación consiste en asignar actividades a los recursos como máquinas, herramientas, equipos el objetivo es minimizar los costos de

producción o tiempo para realizar las operaciones, este método solo asigna un solo trabajador a una máquina.

LÍNEA DE EMBALAJE (en horas estándar)					
De fin de semana	producto 1	producto 2	producto 3	producto 4	producto 5
Insumo Planeado	280	280	280	280	280
Insumo Real	270	250	250	285	280
Desviación acumulada	-10	-40	-40	-35	0
Producto Planeado	320	320	320	320	
Producto Real	270	270	270	270	
Desviación acumulada	-50	-100	-150	-200	
Cambio acumulado en ordenes	0	-20	-10	5	
*Suma de insumos real - suma de productos real = cambio acumulado en ordenes pendientes					

Explicación: Insumo 270, producto 270, implica

Explicación: Insumo 250, producto 270, implica un cambio de -20 (20 horas estándar menos de trabajo en el centro)

Figura 1.8. Control de insumos y producto en una línea de embalaje (Heizer y Render, 2007, p. 564)

El método de asignación suma o resta los datos correspondientes colocados en una tabla con el propósito de encontrar el costo de oportunidad más bajo para cada asignación. El método se siguen 4 pasos: (Heizer y Reiner, 2007, p. 566).

- 1) Se toma el dato más bajo de cada fila y se resta con cada dato de la fila a continuación, en la matriz resultante, se toma el dato más bajo de cada columna y se resta con cada dato de la columna, esto tiene como objetivo reducir los números de la matriz hasta que se presente una serie de ceros.
- 2) Dibujar el número mínimo de líneas rectas verticales y horizontales necesarias para cubrir todos los ceros de la matriz, si el número de líneas es igual al número de filas o columnas, si este número no coincide con las filas o columnas continuamos con el paso tres.
- 3) Tomar el menor número que no esté cubierto con una línea y restarlo con los otros números que no estén cubiertos. Sumar este número a cualquier número que esté en la intersección de cualquiera de las dos líneas. No cambiar el valor de los números que están cubiertos solo por una línea. Volver al paso 2 y repetir hasta que se encuentre una asignación óptima.
- 4) Las asignaciones óptimas se encontrarán donde hay ceros en una tabla.

1.1.4 INGENIERIA DE PROCESO

Es el área que define cómo se fabrica el producto diseñado, los procesos, las herramientas y las tecnologías necesarias para su fabricación. El área de producción debe aportar con los conocimientos y datos sobre métodos de producción para la fabricación del producto. Asegurar la producción del producto en línea mediante un proceso físico eficiente. Contribuir con ideas al diseño del producto que lo hagan más fácilmente producible, a bajos costos y reduciendo los problemas de calidad del producto (Carro y González, 2007, p. 2).

1.1.4.1 Tipos de procesos

Según Krajewski et al (2008) “Existen varias clasificaciones de las configuraciones productivas propuestas por los diferentes autores. En este sentido *Woodward* propuso una primera clasificación que distingue entre fabricación unitaria, de pequeños lotes, de grandes lotes. Producción en serie y procesos continuos; el inconveniente principal de la misma radica en la dificultad de caracterizar sin ambigüedad la diferencia entre pequeños y grandes lotes” (p129).

En la Figura 1.9 se observa las características de los diferentes procesos y las características de los diferentes productos y como se ubican por su complejidad los procesos de manufactura.

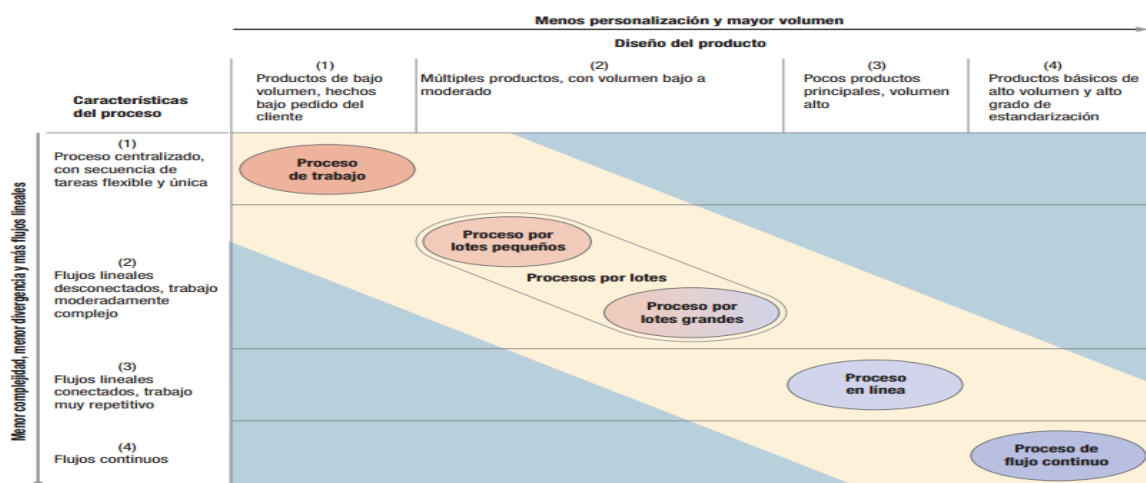


Figura 1.9. Matriz de productos y procesos para los procesos de manufactura (Krajewski, Ritzman, Malhotra 2008, p. 129)

En función del tamaño de los lotes producidos señalaremos tres tipos de configuraciones (Cuatrecasas, 2009, p. 36)

a) Las configuraciones *job-shop*

Según lo señalado por Carro y González (2007) “En este tipo de configuración se producen lotes más o menos pequeños de una amplia variedad de productos de poca o nula estandarización (son «a medida» o con muchas opciones personalizadas), empleándose equipos de escasa especialización, los cuales suelen agruparse en Talleres o Centros de Trabajo (CT) a partir de la función que desarrollan; estos equipos suelen ser versátiles y permiten ejecutar operaciones diversas, por lo que puede avanzarse una amplia variedad de outputs. Los costes variables son, en general, relativamente altos debido a la baja o muy baja automatización pero, como contrapartida, la inversión inicial es baja, lo que genera un bajo coste fijo, dentro de este tipo de configuración se pueden distinguir dos situaciones” (p. 3):

1. “Configuración a medida o de talleres en este caso el proceso de obtención del producto requiere un pequeño número de operaciones poco especializadas, las cuales son realizadas por el mismo trabajador o por un grupo de ellos, que se hacen cargo de todo el proceso de obtención de un pedido concreto empleando los diferentes CT para el desarrollo de las distintas operaciones; el lote suele ser de pocas unidades de un producto, normalmente diseñado a medida de las exigencias del cliente, por lo que la variedad es prácticamente infinita (limitada sólo por la imaginación del cliente y las posibilidades técnicas de la empresa).. Tal es el caso, por ejemplo, de una pequeña empresa fabricante de muebles a medida”.
2. “Configuración en *batch* en este caso el proceso de obtención requiere más operaciones y éstas son más especializadas, con lo que difícilmente un mismo operario podría dominarlas todas con una eficiencia aceptable. Los CT han de contener maquinaria algo más sofisticada y enfocada a ciertos tipos de operaciones, por lo que se requiere una mayor inversión en capital, aunque la automatización de los procesos sigue siendo baja y se

mantiene una buena flexibilidad. Cada trabajador domina el funcionamiento de uno o varios CT (incluso cada uno de éstos puede llegar a tener sus servidores concretos); El producto suele tener bastantes versiones entre las que ha de elegir el cliente (que mantiene una participación media en el proceso). por lo que ya no es “a medida”, dándose un cierto grado de estandarización. Ello sucede, por ejemplo, en una fábrica normal de muebles, donde el cliente puede elegir la tapicería de las sillas y la forma o el color del armario, pero sólo de entre las opciones del catálogo que le ofrece la empresa”.

Se establecen actividades de enrutamientos y de los empleados y programación en estos sistemas.

a.1) Enrutamiento

En el sistema de enrutamiento los productos son fabricados bajo pedido del cliente, la producción es baja y variable. La producción en lotes pasa de un puesto de trabajo a otro una vez se termine las tareas asignadas, las operaciones en su mayoría son de fabricación más que de ensamble lo cual indica que un lote de producción pasa por varias estaciones de trabajo o talleres especializados, incluso puede volver a ser procesado en una estación en la que ya ha estado (Salazar, 2016b, p. 1).

a.2) Empleados

En el *job shop* la maquinaria y equipos de cada estación de trabajo es de usos general, y los trabajadores deben ser altamente calificados en los procesos de fabricación, es típico que dominen más de un proceso en el sistema.

a.3) Programación de producción

La programación de un sistema de *job shop* es más complejo, se debe a la alta variabilidad en la secuencia de procesos, tiempos de fabricación, tamaño de lote, optimización de estaciones de trabajo, Es muy utilizada la programación

matemática, ya que el sistema *job shop* se concibe como un problema de ruteo. Para programar un sistema *job shop* se recomienda utilizar las reglas de asignación, realizar seguimiento a los indicadores relevantes de producción y evaluar con alternativas de prioridad (Salazar, 2016b, p.1).

b) Las configuraciones *flow shop*

Consiste en la fabricación de grandes lotes y pocos productos diferentes, utilizando los mismos equipos e instalaciones, la maquinaria y equipos se disponen en forma lineal para fabricar un lote una vez concluido el lote se calibran la maquinaria para recibir un nuevo pedido y fabricar otro lote con nuevas características similares. La maquinaria debe ser más especializada sus procesos deben ser más homogéneos, según Cuatrecasas (2009) afirma que "las operaciones deben ser ajustables para desarrollar tareas muy similares, pero no exactamente iguales (con lo que hay ya una repetitividad media o alta) los equipos siguen siendo más versátiles que en la configuración continua (donde las instalaciones están diseñadas para la realización de una sola operación. Es necesario, pues, que su utilización sea alta y para hacer frente a lotes de gran volumen; sólo así se podrá lograr un coste unitario bajo. Por ello, este tipo de empresas suelen fabricar para inventario (pp. 39-42).

b.1) Enrutamiento

Es una producción orientada al producto se la realiza en forma modular enfocada en aumentar la capacidad instalada, son líneas de ensamble que están alimentadas con sub ensambles o producto en proceso, El proceso se desarrolla de forma continua para todas las tareas relacionadas con la producción o ensamble en módulos y realizando corridas lote por lote para las operaciones de ensamble y personalización (Salazar, 2016a, p.1).

b.1) Programación

La programación en los sistemas *flow shop* es más simple que en los sistemas *job shop*, por lo general se programa en lotes es muy utilizada en ensambles de productos, debido a la estandarización del proceso y el volumen de producción se debe fijar una tasa de salida de los producto que cumplan con los pronósticos de venta (Gestión de operaciones, 2015, p. 1).

Los sistemas *flow-shop* son típicos en el ensamble de electrodomésticos, envasado de bebidas, fabricación de envases, las características de los sistemas en masa con altos volúmenes de producción, con una baja variedad de productos, un valor bajo de la materia prima comparando con el valor de producto, se fabrica para acumular inventario lo que permite atender la demanda es necesario realizar un plan de requerimiento de materiales y realizar pronósticos acertados. (Gestión de operaciones, 2015, p. 2).

Tabla 1.3. Principales ventajas y desventajas de configuración por lotes

CONFIGURACIONES	<i>JOB-SHOP</i>	<i>FLOW-SHOP</i>
VENTAJAS	Variedad y flexibilidad en el tipo de producto Posibilidad de realizar lotes pequeños	Tiempo de proceso bajo Cantidad mínimo de despilfarro (costos bajos)
DESVENTAJAS	Tiempo de procesos muy largos Cantidad elevada de despilfarros (costo elevado)	Producción muy homogénea (Baja variedad) Volúmenes de producción elevados

(Cuatrecasas, 2009, p. 39)

1.1.5 FACTORES CONDICIONANTES DEL DISEÑO DEL PROCESO

Los principales factores condicionantes del diseño del proceso, tanto en fábricas de manufactura como en servicios son varios entre los más destacados según Krajewski et al. (2008) son “la intensidad del capital, la flexibilidad, la integración vertical, la participación del cliente, la demanda, el nivel calidad del bien o servicio el aprendizaje, la planeación y evaluación financiera”, los principales aspectos

condicionantes par el diseño de procesos en una empresa de manufactura y de servicios se detallan a continuación: (p. 133).

a) La intensidad del capital

Un elevado volumen de producción obliga a buscar automatizar varias tareas que se realizan manualmente, con la ayuda de nuevas tecnologías y la combinación de equipos y recurso humano se puede automatizar varios procesos de producción, En el proceso de manufactura las operaciones automatizadas demandan un mayor capital frente a las operaciones manuales esto implica la compra tecnología y equipos costosos que se pueden ir incorporando escalonadamente y gradualmente. (Arcusa, Gil y Suñe, 2004, p. 81).

b) La flexibilidad

Cuando existe una gran variedad de productos a fabricar o varios servicios los equipos y los operarios deben manejar varios niveles de funciones y responsabilidades, a un costo de producción bajo y en un plazo de tiempo razonable. Las decisiones de los responsables de producción en relación a empleados, equipos e instalaciones determinan el nivel de flexibilidad de los recursos disponibles, la relación entre flexibilidad e intensidad de capital ha sido inversa, esto consiste en una producción tiene que ser alta (y, por tanto, la flexibilidad en recursos era baja) para lograr economías de escala; en la actualidad para las nuevas tecnologías y equipos son intensivas en capital, pero ofrecen una alta flexibilidad al momento de fabricar productos o servicios a la de la manufactura convencional (Cuatrecasas, 2009, p. 46).

c) Integración vertical

Las empresas compran recursos como materias primas, materiales, energía, a varios productores, Con una mayor cantidad de procesos en la cadena de suministros que realice la propia organización, mayor será el grado de integración vertical. La sustitución de nuestros proveedores se denomina integración vertical

hacia atrás y hacia adelante cuando se sustituye a los distribuidores de los productos y llegan directamente al cliente final, el objetivo de estas integraciones son el ahorro y reducción de costos, además permite incursionar en otros mercados y mejorar la calidad de los productos (Arcusa, Gil y Suñe, 2004, p. 85).

d) Participación del cliente en los procesos

El grado de participación del cliente está en función al tipo de producto o servicio esta interacción varía desde el autoservicio a la personalización, según Carro y González (2007) detallan la participación del cliente: (p. 7).

- 1) Una línea de producción como ejemplo típico por ser el pionero es *McDonald's* una cadena de servicios que se aproxima a manufactura. La orientación es a la producción con bajo costo y estandarizada que tiene un bajo contacto y participación del cliente.
- 2) El autoservicio es el sistema que permite participar al cliente más directamente en la producción. Por ejemplo en varios restaurantes, las ensaladas y aderezos son preparadas por el cliente. Se toman estas decisiones en las compañías donde el costo de servicio es muy importante. En procesos de ensamble como bicicletas, juguetes, equipos y muebles los realiza el cliente a fin de bajar costos, En la Figura 1.11 se detalla las características de los procesos con alto y bajo contacto con el cliente.
- 3) Atención personalizada como los servicios profesionales en donde el cliente tiene que asistir al doctor, estilista, modista, etc. Cuando los servicios no pueden ser proporcionados sin la presencia del cliente.

e) Naturaleza de la demanda

Los procesos productivos deben tener la capacidad instalada suficiente para satisfacer la demanda de los bienes y servicios que se van a ofrecer. La estacionalidad, la tendencia y otras características de la demanda van a cambiar la capacidad necesaria a lo largo del tiempo. Varias operaciones se pueden

ampliar o reducir con más facilidad que otras y la selección definitiva estarán afectada por la demanda estimada (pronóstico de ventas). Los precios de los servicios o bienes se fijan en la estrategia de la gerencia; si los precios son altos los consumidores tenderán a comprar menores cantidades y viceversa. La determinación de los precios tiene en cuenta factores como los costos de comercialización, costos financieros, servicios proporcionados al cliente, diseños particulares, políticas de inventarios y envíos, calidad, etc., hay que tomar en cuenta los relacionados directamente con los planes de producción. Los diferentes tipos de procesos productivos generan diferentes combinaciones de ventajas competitivas, por lo que debe tomar en cuenta la demanda y realizar una adecuada selección del precio de los productos y en la elección del diseño del proceso (Heizer y Render, 2007, p. 278).

h) Nivel de calidad del bien o servicio

La calidad es un aliado competitivo de gran magnitud en el entorno empresarial actual y el nivel de calidad del bien o servicio que se va a ofrecer afectará directamente a la selección del diseño del proceso productivo; en cada paso del mismo, la calidad del bien o servicio que percibe el cliente es fundamental y desempeña un papel protagonista ya que determina la preferencia de nuestro producto o servicio este nivel va en aumento en un número creciente de compañías, el nivel de calidad requerido está directamente relacionado con el grado de automatización del proceso, por que las máquinas automáticas pueden fabricar bienes de una uniformidad elevada y consistente, al ser el proceso manual se pierde la elevada uniformidad y los controles de calidad deben ser más exigentes en todos los procesos para asegurar un nivel elevado de calidad (Arcusa, Gil y Suñe, 2004, p. 85).

1.1.6 ANALISIS Y DISEÑO DE PROCESOS

El análisis de flujo de materiales que desglosa el proceso de manufactura en varios elementos detallados para posteriormente estudiarlo más detenidamente a cada uno de los elementos y sus interacciones, existen varias herramientas que

nos ayudan a comprender de manera sencilla lo que pasa o debe pasar en un proceso según Heizer y Reiner (2007) estas son las tres principales herramientas: diagramas de flujos, diagramas de cuerdas, tablas de procesos de columnas múltiples, tabla origen destino, gráfica de función-tiempo, diagramas de procesos.

1.1.6.1 Diagrama de flujos

El diagrama de flujo detalla el movimiento de los elementos de un proceso hacia otro como el cliente, equipo, insumos que atraviesan los distintos pasos de un proceso y sus respectivas interacciones, los diagramas de flujo no tienen un formato definido y por lo general se utiliza figuras como cuadrado y otras formas como rectángulo, hexágono que pueden diferenciar varios tipos de pasos como operaciones, almacenaje, los rombos representan puntos de decisión y se conecta con otros cuadros a través de flechas o definen dos alternativas para un paso del proceso.

Dentro de cada paso representado por alguna figura es necesario informar que procedimiento representa esa figura como ingreso de datos, venta, compra, ensamble, etc., se pueden crear varios niveles de diagramas que expliquen los distintos subprocesos de una organización como el primer nivel podría mostrar los procesos centrales y sus interacciones, el segundo nivel mostraría los procesos de jefaturas y sus interacciones y el tercer nivel mostraría el proceso con más detalle.

Los diagramas pueden tener graficados sus procesos por departamentos para observar con mejor detalle la transmisión de control de un departamento a otro. Los diagramas de flujo ayudan a entender como las organizaciones producen sus productos de una forma rápida sólo observando las figuras y sus secuencias, sus distintas interacciones y permite al equipo de diseño ver los puntos críticos entre las funciones y los departamentos (Krajewski, et al., 2008, p. 158).

En la Figura 1.10 se detalla un diagrama de flujo para un proceso productivo

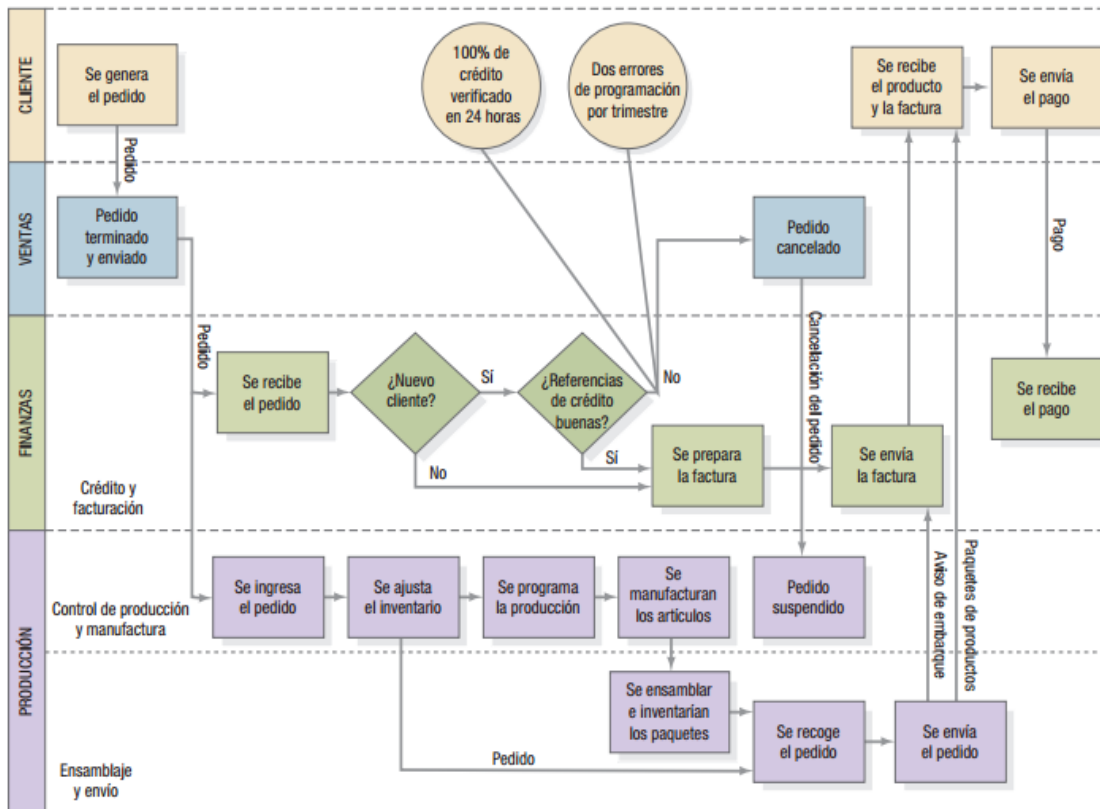


Figura 1.10. Diagrama de flujo del proceso de surtido de pedidos que muestra la transmisión de control entre departamentos (Krajewski, et al, 2008, p. 159)

1.1.6.2 Gráficas de función de tiempo

La gráfica de función tiempo es un diagrama de flujo donde el tiempo va en el eje horizontal, esta herramienta posee nodos que indican operaciones y sus flechas indican, la dirección del flujo del proceso en el tiempo, con este tipo de graficas permite analizar si existen demoras, pasos innecesarios, desperdicios y es muy utilizada para la mejora de procesos en la Figura 1.11 podemos observar un ejemplo del antes y después de la mejora de un proceso y la reducción de tiempo en el proceso de pedido. (Heizer y Render, 2007, p. 257)

Esta herramienta también es conocida como mapeo de procesos ya que detalla los diferentes departamentos y sus interacciones en función del tiempo, empleado para el mejoramiento de los procesos con la finalidad de reducir los tiempos de producción, costos, papeles, movimientos de equipos y personas.

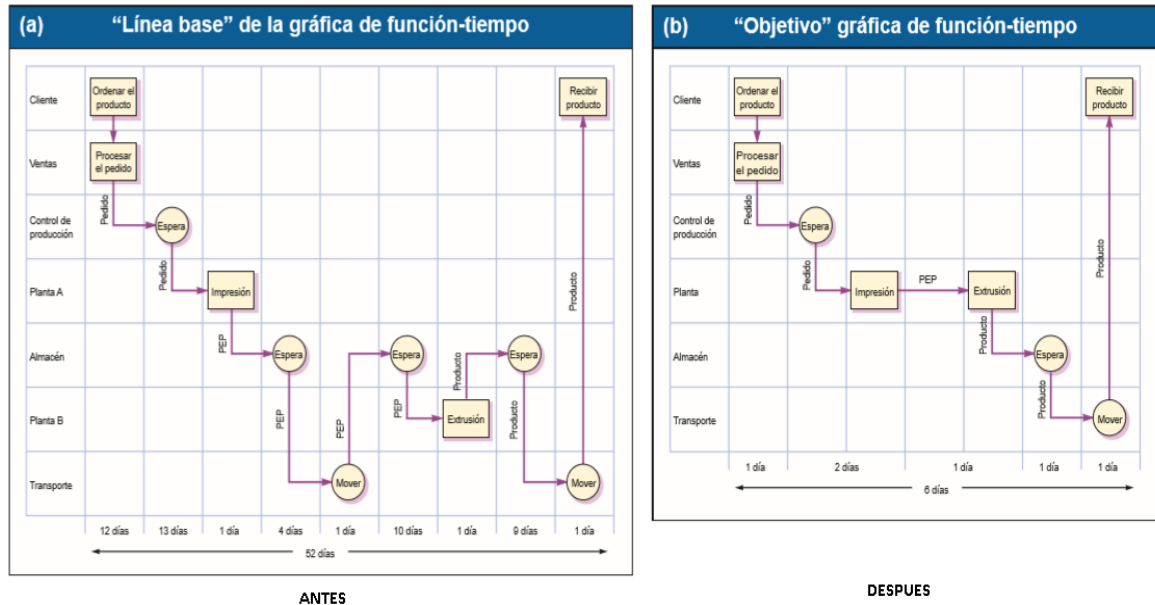


Figura 1.11. Gráfica de función-tiempo (mapeo de procesos) detallando el mejoramiento de sus procesos
(Herzer y Render, 2007, p. 258)

1.1.6.3 Diagrama de procesos

Un diagrama de procesos detalla todas las operaciones que realizan un trabajador o un equipo de trabajadores en una estación de trabajo, interacciones con el cliente. Analiza el proceso mediante una tabla detallando cada proceso permitiendo observar en detalle el trabajo de cada persona en lo individual, en un equipo o en un subproceso, Krajewski et al. (2008) agrupa las actividades de un proceso común en cinco categorías (p. 159):

1. Operación. Realiza una actividad como modificar, crear, agregar algo. Pintar una carrocería, atender un cliente, medir dimensiones.
2. Transporte. Cambia el objeto de estudio de un sitio a otro. Este objeto de estudio puede ser un cliente, un material, una herramienta. Un producto en una banda transportadora hacia la aplicación de pintura, cliente en la fila de un banco, como ejemplos de transporte.
3. Inspección. Revisa o verifica algo, pero sin realizar modificaciones internas, determina la clasificación de los productos, revisar si hay manchas en superficies pintadas, tabular opiniones de clientes, son ejemplos de inspecciones.

4. Retraso. Es el tiempo que el objeto de estudio permanece a la espera de una acción posterior fuera del proceso normal, los repintes de una superficie, el tiempo que transcurre en la espera de insumos, el tiempo utilizado a la limpieza son ejemplos de retrasos.
5. Almacenamiento. Es guardar algo para usarlo posteriormente. Varios ejemplos de almacenaje son la descarga de materiales de embalaje o suministros de oficina como parte del inventario, guardar documentos.

El diagrama de procesos además de contener el detalle de las actividades debe contener la distancia recorrida por el objeto en estudio, el tiempo de duración de cada operación detallada en el proceso y el orden de los procedimientos (Cuatrecasas, 2009, p. 35).

En la Figura 1.12 podemos observar un ejemplo de un diagrama de flujo en un proceso de admisión en la sala de urgencia de un hospital.

Proceso: admisión a la sala de urgencias			Resumen					
Sujeto: paciente con una lesión en el tobillo			Actividad	Número de pasos	Tiempo (min.)	Distancia (pies)		
Principio: entrada a la sala de urgencias			Operación ●	5	23.00			
Final: salida del hospital			Transporte ➡	9	11.00	815		
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px; background-color: #d9ead3;">Insertar paso</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px; background-color: #d9ead3;">Adjuntar paso</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #d9ead3;">Eliminar paso</div>			Inspección ■	2	8.00			
			Retraso ◑	3	8.00			
			Almacenamiento ▼	—	—			
Núm. de paso	Tiempo (min.)	Distancia (pies)	●	➡	■	◑	▼	Descripción del paso
1	0.50	15.0		X				Entrar a la sala de urgencias (SU), aproximarse a la ventanilla Sentarse a llenar la historia clínica del paciente
2	10.00		X					
3	0.75	40.0		X				La enfermera acompaña al paciente a la sala de evaluación de la SU La enfermera examina la lesión
4	3.00				X			
5	0.75	40.0		X				Regresar a la sala de espera
6	1.00					X		Esperar a que se desocupe una cama
7	1.00	60.0		X				Trasladarse hasta la cama de la SU
8	4.00					X		Esperar a que llegue el médico
9	5.00				X			El médico examina la lesión y le hace preguntas al paciente
10	2.00	200.0		X				La enfermera lleva al paciente a radiología
11	3.00		X					El técnico le toma una radiografía al paciente
12	2.00	200.0		X				Regresar a la cama asignada en la SU
13	3.00					X		Esperar a que el médico regrese
14	2.00		X					El médico comunica su diagnóstico y hace recomendaciones
15	1.00	60.0		X				Regresar al área de entrada del servicio de urgencias
16	4.00		X					Pagar la cuenta
17	2.00	180.0		X				Caminar hasta la farmacia
18	4.00		X					Recoger los medicamentos
19	1.00	20.0		X				Salir del edificio

Figura 1.12. Diagrama de proceso de admisión de pacientes en la sala de emergencia de un hospital
(Krajewski, et al, 2008, p. 160)

1.1.6.4 Diagrama de recorrido

El diagrama de recorrido es también conocido como diagrama de circulación, es una representación gráfica de la distribución en planta donde se observa la localización de todas las operaciones, su construcción detalla cada operación con el símbolo que lo representa. La dirección del flujo del proceso se indica con el sentido de las flechas. Este diagrama es una representación ideal, ya que indica las posibles áreas congestionadas, áreas alejadas de los procesos del proceso y ayuda con una mejor distribución en planta. (Conduce tu empresa, 2019, p. 1).

a) Simbología del diagrama de recorrido

En el diagrama de recorrido se registran las tareas, controles, transportes, demoras y almacenajes, las rutas de los movimientos son señalados por medio de líneas, cada operación se identifica y localiza en el diagrama de recorrido por su símbolo correspondiente, y las tareas y controles se van enumerando de acuerdo con el proceso (Conduce tu empresa, 2019, p.2).

b) Etapas para la elaboración del diagrama de recorrido

1.- Dibujar un esquema de la distribución de las instalaciones en el que deben constar todas las actividades registradas anteriormente en el cursograma analítico, este dibujo no tiene que usar una escala, debe ser representativo de las áreas funcionales de la planta.

La construcción de un cursograma analítico se detalla a continuación según (Castilla, 2016, pp. 2-6):

- Se debe usar un formato establecido donde consten los datos básicos del proceso.
- Se detalla las actividades del proceso y la trayectoria del producto o procedimiento indicando todas las tareas relevantes mediante el símbolo correspondiente

- Esta representación gráfica de las actividades se detalla en forma descendente cuando las tareas se efectúen dentro de una área funcional y se detalla de forma vertical cuando las operaciones determine un pase de área funcional, la dirección puede ser ascendente para señalar un retroceso
- La ubicación de los símbolos se colocan dentro de las columnas que se están representando
- Las líneas de trazado son rectas y continuas o de trazos según corresponda, indicando el sentido con una flecha.
- Se debe colocar los tiempos y distancias que tienen las actividades del proceso.

2. Las operaciones se deben ubicar en el orden en que pasan y se deben identificar con un símbolo y su número correspondiente al que se le asigno en el cursograma analítico.

3. La ruta que siguen los trabajadores, insumos o equipos se dibujan con líneas y con dirección de dicha ruta por medio de flechas que indiquen la dirección del recorrido.

4. Los datos principales debe tener este diagrama, son un encabezado que señale cual es el recorrido, el título del proceso que se está analizando y el nombre de las áreas de la planta.

1.1.7 DISEÑO DE PLANTAS DE PRODUCCIÓN

1.1.7.1 Aspectos generales del diseño y dimensionado de una planta productiva

Se debe tener en cuenta los procesos de producción, almacenes, oficinas, los sistemas de comunicación tanto interna como externa, es preciso lograr un equilibrio entre terrenos, edificios, maquinas, equipos, instalaciones y personal que reduzca al mínimo la circulación de insumos, operarios, semielaborados y producto terminado.(Grimolizzi, 2014, pp. 2-5)

Otros aspectos a tomarse en cuenta son:

1. Los puestos de trabajo: producción que se va a procesar, superficie necesaria, equipos, útiles, herramientas.
2. Almacenes: cantidad de materiales y productos que van a contener, además sus características de espacio físico.
3. Vías de comunicación: se refieren a pasillos, cintas transportadoras, el volumen de materiales y productos a transportar, su frecuencia, sus características físicas.
4. Disposición de los procesos: talleres, células, en cadena, flujo continuo y el tipo de operaciones y movimiento de materiales.

En cada propuesta de distribución de planta se deberán determinar las superficies necesarias para cada área de la planta, tomando en cuenta los espacios necesarios para la alimentación y evacuación de insumos, de maquinaria y mantenimiento de las mismas, como también para la circulación del persona, los stock, etc.

A continuación detallamos los pasos para dimensionar una planta de producción propuestos por Cuatrecasas (2009) (p.51)

1. Evaluación de los equipos y maquinaria necesarios
2. Evaluación de la superficie necesaria
3. Distribución de los equipos y puestos en una planta

Evaluación de los equipos necesarios: El dimensionados comienza determinando la cantidad de equipos necesarios por puesto de trabajo, para cumplir con la programación programada. Para ello necesitamos una evaluación ajustada de las horas de trabajo por puesto, en la que utilizaremos la siguiente nomenclatura.

- Horas utilizadas en el puesto i para fabricar una unidad del producto j : h_{ij}
- Número total de unidades del producto j a fabricar en el puesto i : N_{ij}
- Número total de horas en el puesto i para fabricar todos los productos: H_i
- Número total de equipos necesarios en el puesto i : E_i

Para determinar el número de equipos se puede calcular con la Ecuación 1.5 (Cuatrecasas, 2009, p. 51).

$$E_i = \frac{H_i}{H_{ef}} \quad [1.5]$$

Donde:

E_i : Total de equipos

H_i : Número total de horas (h)

H_{ef} : Número total de horas efectivas (h)

Para determinar H_i se utiliza la Ecuación 1.6 (Cuatrecasas, 2009, p. 52).

$$H_i = \sum_j ((N_{if})(h_{ij})) \quad [1.6]$$

Donde:

H_i : Número total de horas en el puesto i (h)

N_{if} : Número total de unidades del producto j a fabricar en el puesto i (h)

h_{ij} : Horas utilizadas en el puesto i para fabricar una unidad del producto j (h)

Para determinar H_{ef} se utiliza la Ecuación 1.7 (Cuatrecasas, 2009, p. 52).

$$H_{ef} = (H_0) (A) (P) \quad [1.7]$$

Donde:

H_{ef} : Número de horas efectivas en el puesto (h)

H_0 : Número de horas operativas en el puesto (h)

A : Coeficiente de absentismo

P : Coeficiente de productividad media del puesto

Se debe determinar el total de horas necesarias para producir determinado producto y multiplicarlo por los coeficientes de absentismo y coeficiente de productividad media del puesto de trabajo para obtener el número de horas reales y poder determinar la cantidad de equipos necesarios para producir el producto solicitado, en la Tabla 1.4 se observa cómo se obtiene el total de horas

necesarias y la cantidad de equipos para cada puesto de trabajo empleados en la fabricación de cierto producto.

1.1.7.2 Evaluación de la superficie necesaria para cada centro

Una vez determinadas la cantidad de puestos de trabajo, se debe determinar la superficie que se necesita para cada área de trabajo. Esta evaluación se determinará según el método de Guerchet, el cual determina la superficie total mediante la sumatoria de estas tres superficies parciales (Salazar, 2016, p. 1):

En la Tabla 1.4 se detalla la evaluación de los equipos necesarios por puesto

Tabla 1.4. Evaluación de los equipos necesarios por puestos

Productos	Puestos de trabajo			
	A	B	.....	M
1	hA1, NA1	hB1, NB1	.....	HM1, NM1
2	hA2, NA2	hB2, NB2	.....	HM2, NM2
.....	-	-	-
p	hAp, Nap	hBp, NBp	.....	HM2, NM2
Total de horas	HA	HB	.....	HM
Total de equipos	EA	EB	.....	EM

(Cuatrecasas, 2009, p. 52).

Los pasos del método de Guerchet se detalla a continuación:

1. Superficie estática: S_{es} . Es la superficie netamente productiva, es decir el espacio que ocupa físicamente la maquinaria, el mobiliario y las otras instalaciones como almacenes..
2. Superficie de gravitación: S_g . Esta es el espacio utilizado por los trabajadores que están laborando y por la materia que se está procesando en el puesto de trabajo. Se obtiene multiplicando la anterior superficie denominada superficie estática por el número de lados (n) de esta que deban estar funcionales, se puede calcular con la Ecuación 1.8 (Cuatrecasas, 2009, p. 52).

$$S_g = (S_{es}) (n) \quad [1.8]$$

Donde:

S_g: Superficie de gravitación (m²)

S_{es}: Superficie estática (m²)

n: Número de lados

3. Superficie de evolución: S_{ev}. Es el espacio necesario a reservar entre los diferentes puestos de trabajo para el movimiento de los operarios, de los insumos y sus medios de transporte. Se calcula con la sumatoria de la superficie estática sumada la superficie de gravitación multiplicada por un coeficiente k. Dicho coeficiente variará en función a la actividad industrial. La superficie de evolución se puede calcular con la Ecuación 1.9 (Cuatrecasas, 2009, p. 52).

$$S_{ev} = (S_{es} + S_g) (k) \quad [1.9]$$

Donde:

S_{ev}: Superficie de evolución (m²)

S_{es}: Superficie estática (m²)

k: Coeficiente

En la Figura 1.13 se puede observar las tres superficies a calcular en una estación de trabajo.

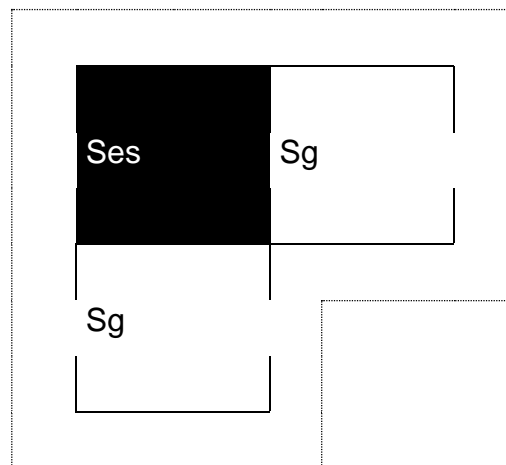


Figura 1.13. Superficie de Guerchet
(Cuatrecasas, 2009, p. 51)

En la Tabla 1.5 se detalla los coeficientes usados en las diferentes industrias para calcular la superficie de evolución.

Tabla 1.5. Valores del coeficiente k para el cálculo de la superficie de evolución.

Tipos de actividades productivas	k
Industrias grandes, alimentación y evacuación mediante grúa puente	0,05 a 0,15
Trabajos en cadena, con transportador aéreo	0,10 a 0,25
Textiles, hilados	0,05 a 0,25
Textiles, tejidos	0,50 a 100
Relojería y joyería	0,75 a 100
Pequeña mecánica	1,50 a 2,00
Industria mecánica	2,00 a 3,00

(Cuatrecasas, 2009, p. 52)

Tomando en cuenta las tres superficies la superficie total de una estación de trabajo se puede calcular con la Ecuación 1.10 (Cuatrecasas, 2009, p.52).

$$St = Ses + Sg + Sev \quad [1.10]$$

Donde:

St: Superficie total (m²)

Ses: Superficie estática (m²)

Sg: Superficie de gravitación (m²)

Sev: Superficie de evolución (m²)

Teniendo en cuenta todos los puestos de trabajo involucrados en el diseño el cálculo de la superficie mínima total que se requiere se puede calcular con la Ecuación 1.11 (Cuatrecasas, 2009, p. 53).

$$ST = \sum_{i=j}^r St_i \quad [1.11]$$

Donde:

ST : Superficie total (m²)

r : Número de estaciones

Sti : Superficie total de la estación de trabajo (m²)

1.1.7.3 Distribución de los equipos y estaciones de trabajo en una planta

La distribución se puede realizar mediante el método de eslabones, se denomina eslabón a la trayectoria del producto en un proceso, que une entre sí dos puestos de trabajo. Este método nos permite encontrar la distribución óptima minimizando el número de actividades.

Es necesario construir una matriz detallando el recorrido de las piezas por los distintos puestos de trabajo y luego los enlaces o eslabones entre cada puesto de trabajo como se detalla en la Tabla 1.6 (Fernández y De la Fuente, 2005, p. 63)

Tabla 1.6. Detalle del recorrido de tres piezas por los puestos de trabajo y sus eslabones.

Piezas	Orden de los puestos de trabajo							
	A	1	1	3	4	5	6	7	10
B	2	3	4	2	8	9	10	-
C	5	8	3	4	10	-	-	-

Piezas	Orden de los eslabones							
	A	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 10
B	2 - 3	3 - 4	4 - 2	2 - 8	8 - 9	9 - 10	-	-
C	5 - 8	8 - 3	3 - 4	4 - 10	-	-	-	-

(Cuatrecasas, 2009, p. 54)

Seguidamente, con los datos de la matriz de eslabones nos permitirá encontrar la frecuencia con que aparecen los distintos eslabones en la matriz. Con la ayuda de otra matriz se va marcando con una X los eslabones existentes como se observa en la Figura 1.14.

Una vez determinados las interacciones entre los centros de producción a continuación se debe colocar el peso o factor base en cada celda tomando en cuenta las prioridades de los tránsitos de personas, tránsitos de productos y materiales, tránsitos de medios de transporte.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10				X			X		X	3
9								X	2	
8		X	X		X			4		
7						X	2			
6					X	2				
5				X	3					
4		X	XXX	6						
3		XX	6							
2	X	5								
1	1									

Figura 1.14. Matriz con sus interacciones y número de eslabones
(Cuatrecasas, 2009, P. 57)

El factor base (FB) se calculará con la siguiente Ecuación 1.12 (Cuatrecasas, 2009, p. 57).

$$FB = n [Kp (PM + PO) + Km (P + M) + Kt (TM + TO)] \quad [1.12]$$

Donde:

n : Número de lados o segmentos de red que distan de los centros cuya celdilla se evalúa

Kp : Factor de priorización del personal

Km : Factor de priorización de materiales

Kt : Factor de priorización de otros tránsitos

PM : Tránsito de personas

PO : Tránsito de herramientas, equipos, documentos

P : Tránsito de productos

M : Tránsito de materiales

TM : Tránsito de medios de transporte con productos

TO : Tránsito de medios de transporte con herramientas, equipos

1.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de experimentos se emplea en la mayoría de áreas del conocimiento aplicado, el uso de palabras como tratamiento, nivel, bloque y parcela que han perdido su connotación agrícola se han generalizado al aplicarse a la práctica científica de otros campos del saber. Los vocablos más utilizados en el diseño experimental son los siguientes: (Kuehl, 2000, p. 3)

1. Variables independientes. El concepto de independencia en experimentación viene de la idea matemática de relación funcional, los valores de una variable dependiente son el resultado de la influencia de otras variables independientes como ejemplo el peso de una persona (variable dependiente) varía según su alimentación, edad, sexo (variables independientes) (Díaz, 2009, p. 6).
2. Factor. Es una variable independiente que se evalúa en la investigación, los niveles de un factor son los diferentes tipos o grados específicos que son parte de los tratamientos, estos factores tratamientos pueden ser cualitativos o cuantitativos (Gutiérrez y De la Vara, 2012, p. 9).
3. Tratamiento. Son las combinaciones de varios niveles de los distintos factores que se aplican en la unidad experimental escogida (Castaño y Domínguez, 2016, p. 25).
4. Unidad experimental. Son el insumo donde se va a evaluar la variable de respuesta y a la que se le van a aplicar los distintos niveles del factor, como ejemplos tenemos en la industria son: lotes de material, trabajadores, máquinas, líneas de producción (Castaño y Domínguez, 2016, p. 25).
5. Observación experimental. Es cada medición de la variable de respuesta.
6. Tamaño del experimento. Es el número total de observaciones obtenidas en el diseño.
7. Interacción de factores. Según afirma Ríos (2012) “Existe interacción entre factores F_i y F_j con I y J niveles, respectivamente, son ortogonales si en cada nivel i de F_i el número de observaciones de los J niveles de F_j están en las mismas proporciones. Esta propiedad permite distinguir entre los efectos simples de los factores de estudio” (p. 198).

1.2.1 TIPOS DE DISEÑOS EXPERIMENTALES

Un diseño experimental asigna las unidades experimentales a los diferentes tratamientos, con varias repeticiones. Aunque los experimentos son diferentes unos de otros en varios aspectos, hay diseños estándar que son utilizados con mucha frecuencia, en la agroindustria, medicina, desarrollo de materiales en varias industrias, extendiéndose hacia investigaciones de tipo social. Algunos de los más utilizados por no ser tan complejos son los siguientes: (Castaño y Domínguez, 2016, p. 28).

1.2.1.1 Diseño completamente al azar

Se asignan con un método al azar las unidades experimentales a los tratamientos. Hay una sola restricción que es el número de observaciones que se levantan en cada tratamiento. De hecho si se toma (n_i) observaciones en el (i) - enésimo tratamiento, $i = 1, \dots, l$, entonces, los valores n_1, n_2, \dots, n_l determinan por completo las propiedades estadísticas del diseño. Este diseño se recomienda utilizar en experimentos que no estudian factores de bloque (Kuehl, 2000, p. 263).

El modelo matemático de este diseño se puede calcular con la Ecuación 1.13.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + u_{ij}, \quad i = 1, \dots, l; \quad j = 1, \dots, n_i \quad [1.13]$$

Donde:

Y_{ij} : Variable aleatoria que representa la observación j –enésimo del i –enésimo tratamiento

μ : Efecto constante, común a todos los niveles, promedio global

T_i : Efecto del tratamiento i –enésimo. Es la parte del Y_{ij} debida a la acción del nivel i –enésimo, que será común a todos los elementos sometidos a ese nivel del factor.

u_{ij} : Variables aleatorias que agrupa un conjunto de factores, cada uno de los cuales tiene efecto en la respuesta sólo en pequeña magnitud pero que de forma conjunta debe tenerse en cuenta.

1.2.1.2 Diseño de bloques completos al azar

La característica principal de este diseño es agrupa a las unidades experimentales por bloques, posteriormente se determina la distribución de los tratamientos en cada uno de los bloques y, por último, se asignan a las unidades experimentales con un método al azar los tratamientos dentro de cada bloque. En los diseños estadísticos de un diseño de bloques, éstos se analizan como los niveles de un único factor de bloqueo, aunque en realidad pueden venir definidos por la combinación de los niveles de más de un factor. (Ríos, 2012, p. 209).

El modelo matemático de este diseño se puede calcular con la Ecuación 1.14.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + u_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, I; \quad j = 1, 2, \dots, J \quad [1.14]$$

Y_{ij} : Variable aleatoria que representa la observación i -énimo del bloque j –énimo

μ : Efecto constante, promedio global

T_i : Efecto producido por el nivel i –énimo del factor principal. $\sum_i T_i = 0$

B_j : El efecto producido por el nivel j –énimo del factor secundario o factor de bloque se supone que $\sum_j B_j = 0$

U_{ij} : Variables aleatorias independientes con la distribución normal $N(0, \sigma)$

1.2.2 ANALISIS ESTADÍSTICO CON MINITAB

Minitab es un *software* para analizar datos, está diseñado para realizar funciones estadísticas básicas y avanzadas, proporciona un amplio rango de aplicaciones estadísticas, además puede:

- Explorar datos mediante gráficos
- Realizar análisis estadísticos básicos y complejos
- Evaluar datos de calidad
- Diseñar experimentos

1.2.2.1 Interfaz de usuario de Minitab

De manera predeterminada, el programa Minitab se abre con dos ventanas visibles y una minimizada las cuales incluyen:

a) **Ventana de sesión**

En la ventana de sesión se puede observar los resultados de los análisis realizados en formato de texto, pudiendo también programar comandos de sesión en lugar de usar los menús de Minitab.

b) **Hoja de trabajo**

Similar a una hoja de cálculo, en donde se introducen y organiza los datos, pudiéndose abrir varias hojas de cálculo.

c) **Project manager**

La tercera ventana, *project manager*, esta minimizada bajo la hoja de trabajo, en la Figura 1.15 se observa la interfaz de Minitab con sus elementos

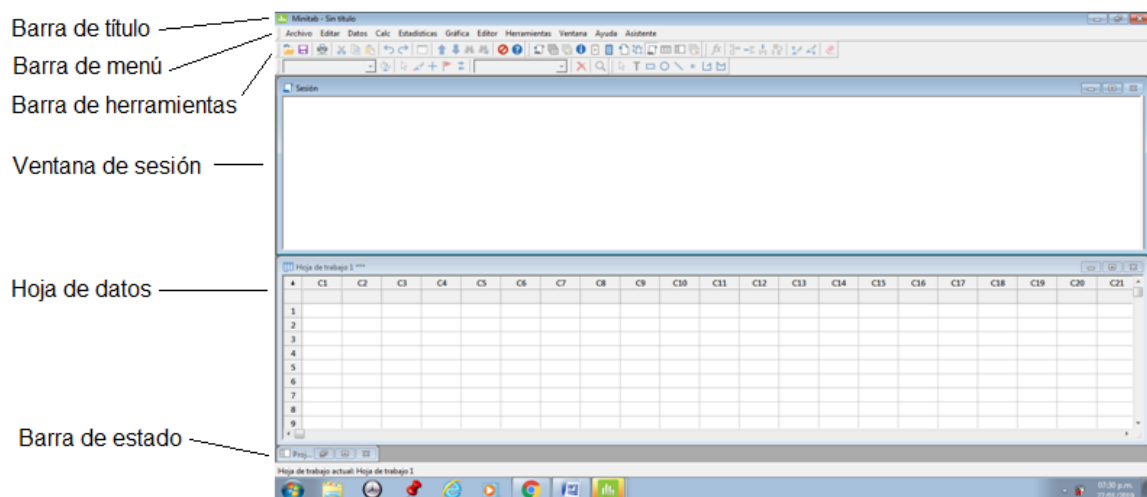


Figura 1.15. Interfaz de usuario del *software* Minitab
(Minitab, 2018, p. 1)

d) **La barra de título**

Se puede observar el nombre de la aplicación y el nombre asignado de la hoja de trabajo, si la hoja no ha sido grabada muestra la frase "Sin título"

c) **La barra de menú**

En la barras de menú se encuentra comandos como: archivo que nos permite crear, abrir, guardar nuevas hojas de cálculo, editar que nos permite cortar, copiar, pegar los datos, comando datos que nos permite ordenar, clasificar, eliminar filas, comando estadísticas que nos permite calcular las estadísticas básicas de los datos, regresión, anova, doe, comando gráfica que nos permite realizar histogramas, graficas de puntos, gráfica de barras.

d) **La barra de herramientas**

Muestra los iconos de las funciones más usadas como grabar, abrir, imprimir, copiar, pegar, que nos permite la ejecución directa para una parte o la totalidad de los datos y resultados.

1.2.2.2 Proyectos y hojas de trabajo

Para mantener todos los datos juntos se debe guardar los archivos como proyecto, los archivos contiene una o varias hojas de trabajo.

Los archivos de proyecto en Minitab se guardan con una extensión (.MPJ) guarda los siguientes elementos

- Hojas de trabajo
- Gráficos
- Resultados de análisis de datos de la ventana de sesión
- Configuración de los cuadros de dialogo

Los archivos de las hojas de trabajo se guardan con una extensión (.MTW) almacenando los siguientes datos:

- Columnas de datos
- Constantes
- Matrices
- Objetos de diseño
- Descripciones de columnas
- Descripciones de hojas de trabajo

1.2.2.3 Tipos de datos

Una hoja de trabajo en Minitab puede contener los siguientes tipos de datos:

- Datos numéricos como 200, 0,10, 5 002
- Datos de texto como letras, números, n° 2, País, nombres, procesos
- Datos de fecha hora como 23-FEB-2019, 23/02/19

Los datos se disponen en columnas, que también son denominados variables, así como el número y el nombre de la columna se visualizan en la parte superior de la columna como se observa en la Figura 1.16.

	C1-T	C2-D	C3-D	C4	C5-T	C6	C7
	Center	Order	Arrival	Days	Status	Distance	
1	Eastern	3/4/2013 8:34	3/8/2013 15:21	4.28264	On time	255	
2	Eastern	3/4/2013 8:35	3/7/2013 17:05	3.35417	On time	196	
3	Eastern	3/4/2013 8:38	*	*	Back order	299	
4	Eastern	3/4/2013 8:40	3/8/2013 15:52	4.30000	On time	205	
5	Eastern	3/4/2013 8:42	3/10/2013 14:48	6.25417	Late	250	
6	Eastern	3/4/2013 8:43	3/9/2013 15:45	5.29306	On time	93	
7	Eastern	3/4/2013 8:50	3/8/2013 10:02	4.05000	On time	189	
8	Eastern	3/4/2013 8:55	3/9/2013 16:30	5.31597	On time	335	

Figura 1.16. Tipos de datos que se pueden ingresar en Minitab (Minitab, 2018, p 1)

1.3 ELEMENTOS DE PASTILLAS DE FRENOS

La mayoría de pastillas de freno son formuladas con varios materiales y en distintas proporciones, estos materiales son: fibras de arámida, fibras de vidrio, lana de roca, materiales minerales como feldespatos barita, magnesita, talco, mica, carbonato, grafitos, resinas fenólicas entre otros (Pérez, 2018, p. 1).

En la Figura 1.17 se detalla la distribución de estos materiales en las pastillas de frenos.

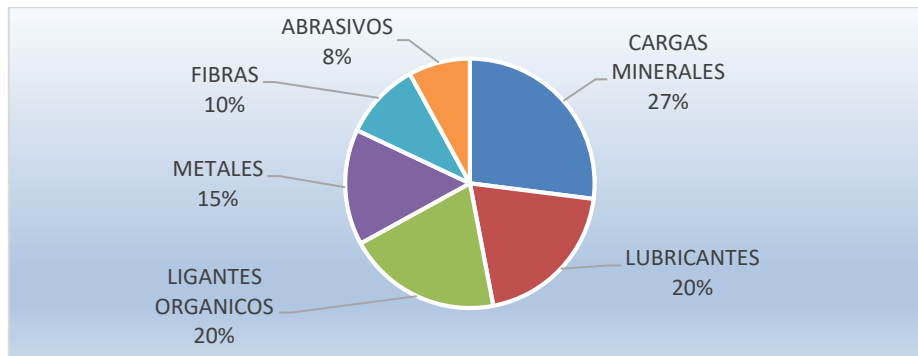


Figura 1.17. Componentes del material de fricción
(Pérez, 2018, p. 1)

La descripción de los componentes se detalla a continuación:

a) Las fibras

Las fibras constituyen armazón estructural de las pastillas de freno, su principal función es aglutinar y ligar el resto de elemento. Por medio de sus múltiples ramificaciones realizadas van uniendo con el resto de elementos como abrasivos, metales, carga mineral, las fibras más usuales son: fibras de arámida, fibras de vidrio, lana de roca y otras (Luque, 2015, p. 1).

b) Las cargas minerales

Las cargas minerales son las que dan consistencia y resistencia mecánica a la mezcla, aportan con resistencia al desgaste o abrasión, resistencia a la cortadura.

También aportan a soportar las altas temperaturas entre las cargas minerales más usadas tenemos: feldespatos, barita, magnesita, talco, mica, carbonato, y otros (Luque, 2015, p. 1)

c) Componentes metálicos

Son añadidos en forma de viruta o polvo metálico lo que busca es homogeneizar el coeficiente de fricción así como mejorar la transferencia de calor de la pastilla al disco, los más usados son: latón, cobre, bronce (Luque, 2015, p.1).

d) Los lubricantes o modificadores de coeficientes

Según Pérez (2018) “son aquellos encargados de hacer variar el coeficiente de fricción normalmente a la baja, en función del rango de temperatura de funcionamiento. Se emplean en polvo y suelen ser grafitos, coques, sulfuros, antracitas” (p. 1).

e) Los materiales orgánicos

Dan cuerpo a la mezcla aglomerando el resto de componentes. Al aplicarles temperatura estos se funden y ligan al resto de materiales, hasta que se polimerizan. Las más importantes son las resinas fenólicas termoendurecibles, aunque también se emplean diferentes tipos de, ceras, aceites y cauchos.

f) Los abrasivos

Son los encargados de aumentar el coeficiente de fricción y renuevan y limpian la superficie del disco de frenado, formando una capa intermedia entre la pastilla y el disco de frenado conocida como tercera capa.

En la Tabla 1.7 se presentan las proporciones de mezcla de una pastilla de frenos

Tabla 1.7. Proporciones de componentes para mezcla semi-metálica de pastillas de frenos

Componentes	Porcentaje
Fibras	40 %
Aglomerantes	20 %
Relleno	20 %
Modificadores	20%

(Bauzá, 2018, p. 32)

1.4 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE FRENOS

La fabricación de pastillas de frenos se compone de varias fases, las principales son: el proceso de mezclado de los materiales abrasivos, posteriormente el procesos de prensado, luego el proceso de curado, luego el mecanizado y embalado (Andrade, 1995, p. 65).

La descripción del proceso de fabricación se detalla a continuación:

a) Proceso de mezclado

Una vez pesado todos los componentes de la formulación se procede a mezclar los materiales de forma homogénea, el mezclador está diseñado con un eje central que hace girar a los componentes en forma de ochos y está provisto de otro eje con dos cuchillas batidoras que son las de realizan el homogenizado de la mezcla. El tiempo de mezcla es importante ya que debe estar definido según el tipo de fibras que se esté utilizando en la mezclar (Burgaleta, 2016, p. 1).

Cada fibra tiene un tiempo de apertura en el que la fibra se estira en longitud lo máximo posible, a partir de ahí las fibras se van acortando con lo cual ya no cumple su función de dar soporte a la mezcla.

b) Proceso de prensado en caliente

El proceso de prensado en caliente permite aglutinar a los distintos componentes, la presión que se ejerce sobre los materiales consigue una reducción en volumen,

el uso de temperatura permite fundir las resinas para que éstas puedan fluir por todo el material uniendo los diferentes componentes. Se aplican varios ciclos de prensado a las pastillas durante un determinado tiempo, esto permite la salida de los gases.

En este proceso son pegados los soportes metálicos al material de fricción a través de la impregnación de una resina que consigue la unión del material con el metal, además en el soporte metálico existen unos orificios cuya función es soportar al material de fricción que debe fluir para conseguir una completa fijación entre los dos elementos.

Según afirma Burgaleta (2016) “El tiempo de prensado varía de 10 a 12 minutos según la fórmula empleada para permitir el curado en prensa de las resinas fenólicas” (p.1)

c) Proceso de curado

El proceso de curado de las pastillas de frenos se realiza en hornos, después del prensado la temperatura ayuda a la polimerización de las resinas, para obtener una buena compactación del material, esto ayuda a eliminar el contenido todavía existente de gases volátiles. Las pastillas pasan por varios ciclos con diferentes temperaturas en periodos determinados de tiempo (ASIMCO, 2018, p. 1).

d) Proceso de escorchado

En este último proceso al material de fricción se eleva la temperatura a 500 °C o mayores con la acción de una placa caliente o bajo el efecto de una llama. El objetivo es eliminar gran parte de materiales orgánicos que aun quedan, el polímero se grafitiza y la pastilla de freno obtiene sus características definitivas. Este es un proceso que eleva los costos de fabricación por lo que pocos fabricantes utilizan en sus procesos de fabricación

e) Operaciones de mecanizado

Las pastillas deben ser mecanizadas para alcanzar las características dimensionales requeridas para cada modelo, se rectifica el espesor del material de fricción se realiza ranuras al igual que los chaflanes, se aplica pintura anticorrosiva a los respaldos metálicos (Markel, 2016, p. 1).

f) Proceso de embalaje

Las pastillas una vez pintadas pasan a un proceso de verificación dimensional en especial el espesor del material abrasivo, una inspección visual de cada pastilla que cumpla con los requisitos tanto dimensionales como estéticos, una vez aprobados las dos pastillas se les coloca las etiquetas indicando el modelo, lote de producción, fechas de elaboración para su respectiva trazabilidad, luego se les coloca en su empaque ya sea en cajas o en blíster con sus respectivas normas de etiquetado como descripción del producto, usos, instructivos de instalación, datos del fabricante, garantías, precio de venta al público, con lo cual el producto terminado está listo para su comercialización (Luque, 2015, p.1).

1.4.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS PASTILLAS DE FRENOS

Las características del material de fricción son establecidas dependiendo el uso o aplicación del producto, los requerimientos de cada país, los más relevantes son:(Bauzá, 2018, p. 38).

1. Debe tener un coeficiente de fricción adecuado que trabaje a cualquier rango de presión y temperatura.
2. Debe tener un equilibrio entre abrasión y resistencia al desgaste
3. Manejar una cierta compresibilidad, tanto en climas fríos como en climas calientes, que permitan que el material absorba vibraciones e irregularidades de la otra superficie en contacto.
4. Debe tener alta resistencia al cizallamiento y al choque.



Figura 1.18. Pastilla de freno

(Markel, 2016, p. 1)

Los distintos fabricantes de pastillas de frenos realizan sus formulaciones las ensayan hasta obtener la calidad que requiere los distintos mercados.

Según Egar (2015), las especificaciones técnicas para las pastillas de freno de uso automotriz se detallan en la Tabla 1.8 bajo las normas SAE para dureza, gravedad específica y coeficiente de fricción para material de fricción usado en vehículos equipados con frenos de disco.

En la Tabla 1.8 se presentan las especificaciones técnicas de las pastillas de frenos para uso automotriz

Tabla 1.8. Especificaciones técnicas de pastillas de frenos con respaldo metálico con dos formulaciones de material abrasivo en calidad semi metálica.

Especificaciones	Formulación 811 con amianto	Formulación 821 sin amianto
Dureza Gogan – Norma SAE J379	24 – 27	25 – 28
Gravedad específica – Norma SAE J380	1,97	3,00
Coefficiente de fricción – Norma SAE J661	0,40/0.40 (FF)	0,33/0,33 (EE)

(EGAR, 2015, p3)

1.4.1.1 Underlayer

El *underlayer* es tiene la función de adherir el material de fricción al soporte metálico, además de reducir la temperatura que llega al soporte metálico. Es una capa de material que tiene su propia formulación, es un material adhesivo que no

tiene las cualidades del material de fricción, sino que su función es mantener unidos a la capa de material de fricción con el soporte metálico, sirve además como material aislante y soportar la variación de temperatura entre el material de fricción y el soporte además impide que el calor no pase a través de ella y no caliente el líquido de frenos.

En la Figura 1.19 podemos observar la capa de *underlayer* en una pastilla de freno

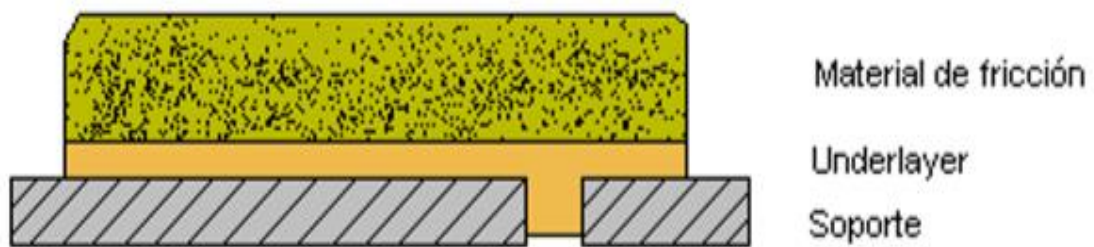


Figura 1.19. Pastilla de freno con capa de underlayer
(Markel, 2016, p. 1)

1.4.1.2 Soporte

El un soporte de acero cuya función principal es mantener al material de fricción en el porta pastillas de las pinzas. Una de las características del soporte metálico es que debe estar lo más plano posible para evitar que durante los procesos de prensado en caliente y posteriormente el curado de las pastillas surjan fisuras entre el soporte y el material de fricción. Los soportes metálicos se fabrican por estampación a partir de un fleje del espesor solicitado.

Los soportes son pintados con pintura anticorrosiva de alta resistencia de varios colores, además de la aplicación de una resina de gran adherencia ya que se debe garantizar una correcta unión entre el soporte metálico y el material de fricción como se puede observar en la Figura 1.20 (ASIMCO, 2018, p. 1).



Figura 1.20. Soporte de acero para pastillas de freno
(Bugaleta, 2016, p. 1)

2. METODOLOGÍA

2.1 DISEÑO DE PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS

El modelo de producción a diseñar será en base al sistema de producción en masa o tradicional. Para el diseño de la línea de producción tradicional se identificarán las actividades principales a través del diagrama de flujo, cursograma analítico y el diagrama de recorrido, se detalla su metodología a continuación:

2.1.1 DIAGRAMAS DE FLUJO DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS

Para determinar los procesos productivos de pastillas de frenos, se recopilará información en la compañía EGAR S. A., compañía que se dedica a la formulación y fabricación de material de fricción como: pastillas de frenos, zapatas, rollos de frenos, pegamento para frenos, de su proceso de fabricación de pastillas de frenos con respaldo metálico. Para construir el diagrama de flujo se seguirán los siguientes pasos:

1. Se ingresará a la planta de fabricación de pastillas de frenos con respaldos metálicos en el primer turno de 7:00 am – 14:00 pm, acompañados de un

supervisor con el cual se visitará cada fase del proceso productivo, solicitando a los trabajadores una descripción de su proceso a cargo.

2. Se determinarán los principales componentes del proceso: Se identificará las entradas y salidas del proceso, subprocesos y actividades.
3. Se ordenarán las actividades: identificar las actividades principales y realizar una lista en orden de secuencia.
4. Se elegirán los símbolos correctos para cada actividad: colocar los símbolos de operación, almacenaje, decisión, datos, etc.
5. Se indicará el comienzo y final del proceso: se establecerán los límites del proceso cuándo empieza y cuándo termina.
6. Se dibujará el diagrama de flujo: una vez levantada la información, con la ayuda del *software Microsoft Visio*, se dibujará el diagrama de flujo del proceso de fabricación de pastillas de frenos.

Para la construcción del cursograma analítico se seguirán los pasos descritos en 1.1.6.4, de la siguiente manera:

1. Se realizará un formato para detallar un cursograma analítico del proceso de fabricación de pastillas de frenos, cuyo formato se detalla en el Anexo I, donde deben constar, el título del proceso, actividades, nombre del área productiva, etc.
2. En el formato se enlistarán todas las operaciones del proceso productivo de pastillas de frenos en el orden en que suceden, así como las distancias a las que se encuentran dichas actividades.
3. Se representará gráficamente la ruta que siguen los materiales, operarios y equipos colocando un punto debajo del bloque que corresponda ya sea operación, inspección, transporte o almacenamiento, se unirá con líneas en forma descendente detallando la trayectoria del proceso.

Para la construcción del diagrama de recorrido se seguirán los pasos descritos en 1.1.6.4, detallando las actividades principales de la producción de pastillas de frenos.

Se construirá un gráfico de flujo detallando la trayectoria del proceso desde su inicio en el almacén de materias primas, pasando por los subprocesos hasta llegar al producto terminado. Este diagrama se realizará con la ayuda del *software Microsoft Visio*.

Se realizará una descripción de los subprocesos que integran el proceso de fabricación de pastillas de freno.

2.1.2 EVALUACIÓN DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS

El levantamiento de información de los tiempos y movimientos se realizará en tres subprocesos del proceso de fabricación de pastillas de frenos, utilizando la técnica de sistema de tiempos predeterminado, con los siguientes pasos:

1. Se revisará la información disponible como hojas de ruta, diagramas de flujo, fichas técnicas.
2. Se revisarán los tiempos estándares registrados, los estudios con cronometro realizados en la compañía, tiempos predeterminados por las condiciones del proceso.
3. Se realizará un formato para detallar el diagrama de hombre-máquina de los procesos de prensado, proceso de curado y el proceso de pintura y embalaje cuyo formato se detalla en el Anexo II, donde constan el título del proceso, producto, área, etc.
4. En el formato propuesto se enlistarán las actividades del operario, y de la maquinaria del proceso así como los tiempos de cada actividad señalada y los tiempos de la maquinaria
5. En el formato propuesto se registrarán los siguientes parámetros el tiempo de ciclo, tiempo de trabajo, tiempo inactivo, porcentaje de utilización tanto del operario como de la maquinaria, se calculará con los datos a obtener en el formato propuesto de las operaciones a evaluar.

2.2 CÁLCULO DE LOS REQUERIMIENTOS DE MÁQUINAS Y EQUIPOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS

2.2.1 DETERMINACIÓN DE CENTROS Y ESTACIONES DE TRABAJO A IMPLANTAR

Se determinará el número de centros y estaciones de trabajo necesarias utilizando una matriz de tránsito o eslabones descrita en 1.1.7.3., se realizará un listado de centros, procesos y estaciones de trabajo propuestos utilizando los datos de los diagramas de flujo, cursograma analítico y diagrama de recorrido, además se tomará en cuenta la capacidad de producción de la planta propuesta, la cantidad de trabajadores, la superficie disponible. La construcción de la matriz de tránsito se detalla a continuación:

2.2.2 DETERMINAR MATRIZ DE TRÁNSITOS

El siguiente paso consistirá en construir la matriz de tránsito por centros propuestos, en la matriz constarán los tránsitos de productos y materiales, por una parte, personas que llevan productos y materiales y personas que trasladan herramientas, equipos y documentación, entonces habrá una celda grande que contendrá 6 celdillas con los seis tipos de información que detallamos abajo.

Esta información nos permitirá realizar varias propuestas de implantación, con la ayuda de un reticulado dibujaremos estas propuestas, disponiendo en el mismo los centros con mayor tráfico lo más cerca posible entre ellos, para esta distribución seguiremos los siguientes pasos:

1. Situar los accesos desde / al exterior y los muelles de carga / descarga y entrada del personal
2. A partir de ellos, situar los centros de máxima prioridad con los mismos, de acuerdo con las reglas de priorización que se detallan a continuación:

- Prioridad absoluta para el tránsito del personal (PM y PO)
 - Prioridad segunda para el tránsito de productos y materiales (P y M)
 - Prioridad tercera para medios de transporte (TM).
 - Prioridad cuarta para otros tránsitos (TO)
3. Ubicar nuevos centros en relación a los anteriores, de acuerdo con las prioridades y sus reglas
 4. Continuar así, hasta agotar el total de centros a ubicar
 5. Reajustar el conjunto de los centros ubicados
 6. Evaluar la solución: Una vez realizada las propuestas de distribución debemos construir la matriz de tránsito, llenando cada celdilla de dicha matriz, aquellas celdas con valores relevantes, se determinará la siguiente expresión sumando luego los valores de dichas expresiones (factor base).
El factor base (FB) se calculará con la Ecuación 1.12.

Con estos pasos vamos a elaborar tres posibles soluciones, que a su vez, darán lugar a tres posibles distribuciones de planta, tratando en todo momento acercar al máximo los centros con mayores tránsitos y flujos de personas y materiales sin descuidar la secuencia de fabricación del proceso productivo de dicha planta.

Luego construimos una matriz de evaluación de las tres propuestas utilizando los datos de las celdillas más relevantes (factor base) multiplicada por la distancia a la que se encuentran los eslabones, la suma total que se obtenga en cada solución, se escogerá a la de menor valor ya que supone el menor consumo de recursos.

2.2.3 DETERMINAR LAS SUPERFICIE POR CADA CENTRO A IMPLANTAR

Una vez determinada la mejor solución (sobre la red), en la que sólo se ha establecido la posición relativa de cada centro, se pasará a dimensionar tales centros aplicando la ecuación [1.3] para determinar el número de puestos y/o equipos de producción necesarios en cada centro. El cálculo de la superficie se realizará con el método de Guerchet, descrito en 1.1.7.2, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

1. Horas productivas anuales por puesto: 2 000
2. Coeficiente de absentismo: 85%
3. Coeficiente de productividad laboral: 95%
4. Coeficiente de rendimiento de maquinas: 80%
5. Coeficiente global de rendimiento: $0,85 \times 0,95 \times 0,80 = 0,65$
6. Número de horas efectivas por año: $2\ 000 \times 0,65 = 1\ 292$

Con las tres soluciones desarrolladas sobre la red, se asignarán las superficies calculadas a cada centro, en algunos casos, por motivos prácticos relacionados con la misma distribución, se asigne mayores superficies a las calculadas, que puede ser de mucho interés si no afecta al conjunto, pero por ningún motivo deberán ser menores.

2.2.4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN PARA UNA PLANTA DE FABRICACIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS

a) Definición de procesos, subprocesos y operaciones

Se construirá una tabla mostrando todas las operaciones propuestas involucradas en el sistema productivo, cada operación debe contener los siguientes factores:

1. La frecuencia de una operación: se indicará la cantidad de veces que se repite cada operación por cada unidad de producto semielaborado o producto terminado
2. Los tiempos de persona y máquina: se determinará los tiempos correspondientes a cada actividad, estos tiempos multiplicados por la frecuencia determinarán el tiempo de persona y máquina que se necesitará para fabricar una unidad de producto terminado, estos tiempos permitirán establecer propuestas de diseño y determinará las cantidades consumidas en cada operación y establecerá el balanceo de la línea de producción propuesta, los tiempos deben ser expresados en segundos.

b) Diseño e implementación

Para el diseño e implementación del área de producción se propondrá los parámetros generales que caracterizan al sistema productivo, estos parámetros son:

1. Producción diaria planificada (expresada en unidades)
2. Tamaño de lote de producción (expresada en unidades)
3. Duración de la jornada (expresada en horas)
4. Tiempo para paros programados durante la jornada (expresada en horas)

Se construirá una tabla detallando los centros propuestos de producción y sus operaciones con sus tiempos de operación para el trabajador y la maquinaria. En cada centro productivo deberá constar el número y descripción de actividades u operaciones que se proponen para dicho centro y a qué centro entregará su producción.

Se determinarán los tiempos de procesos para cada actividad tanto para el operador y sus tiempos extras, también para las máquinas y sus posibles paros.

Se deberá diseñar la línea de producción con tiempos adicionales como rechazos de producción por calidad, tiempos de transporte de personas, tiempos de preparación de máquinas.

Se determinará el número de personas, la cantidad de maquinas, el tamaño de lote de transferencia entre centros de producción.

Para obtener el diseño del área de producción de la fábrica de pastillas de frenos se usará el diagrama de precedencia donde constarán todas las estaciones y sus secuencias, además se identificarán estos datos para cada proceso a diseñar:

1. Código de cada operación, dispuestos en un orden de acuerdo al diagrama de precedencias
2. Descripción de la operación lo más clara posible
3. Tiempo de operación para cada unidad o para el lote de transferencia

4. Tamaño del lote de transferencia
5. Cantidad de operarios
6. Tiempos de preparación en cada máquina o en el cambio de producto

Con estos parámetros propuestos se introducirán en el *software* simulador para diseño de plantas denominado Diseño procesos Diag OT (Java), con el cual simularemos la estructura de esta planta de fabricación de pastillas de frenos con dos tamaños de lotes de transferencia y stock de seguridad buscando el diseño con la mayor eficiencia y menor stock.

c) Gráfico de composición y equilibrado de puestos de trabajo

Se construirá una tabla incluyendo a todos los puestos propuestos en el diseño e implementación de la línea de fabricación mostrando la siguiente información:

1. Identificador de puestos agrupados se tomará del diseño propuesto.
2. Número de trabajadores por cada puesto agrupado se tomará del diseño.
3. Detalle de los puestos agrupados se tomará del diseño propuesto.
4. Tiempos del proceso que añaden valor agregado al producto se tomará de la simulación del diseño e implementación propuesta.
5. Tiempos del proceso que no añaden valor agregado al producto se tomará de la simulación del diseño e implementación propuesta.
6. Tiempo perdido por rechazos de productos se tomará de la simulación
7. Tiempo perdido por transportes se tomará de la simulación.
8. Tiempo total por cada puesto agrupado se calculará mediante la sumatoria de los tiempos detallados anteriormente.
9. Se construirá un gráfico detallando los tiempos de cada puesto agrupado de trabajo propuesto.

d) Diagrama operaciones – tiempo (OT)

Luego se realizará un diagrama de operaciones / tiempo (OT), en el cual se detallarán los tiempos de cada operación implantada, las cantidades de piezas a

procesar, la secuencia de operaciones, momentos de entrega de productos a cada puesto y la evolución de stock en cada puesto. Se identificarán los siguientes parámetros:

1. Identificador del puesto agrupado se tomará del diseño propuesto.
2. Secuencia de los puestos se tomará del diseño propuesto
3. Tiempo de ciclo en cada puesto se tomará de la simulación del diseño propuesto
4. Tamaño de lote de transferencia de cada puesto se tomará de la simulación del diseño propuesto.

En el eje de las x se colocará la escala de tiempo en segundos y en el eje de las y se colocarán los puestos propuestos, diagrama que se construirá con la ayuda del *software* de diseño de procesos Diag OT (Java).

e) Métricas de la producción

Se construirá una tabla con las métricas que resultarán de la simulación del diseño e implementación del sistema productivo propuesto en el cual constarán los siguientes parámetros.

1. Tiempo total de trabajo incluyendo los tiempos que generan valor agregado y aquellos que no generan valor agregado en todo el proceso
2. Tiempo total de máquina incluyendo los tiempos de proceso y paros.
3. Stock medio de materiales en proceso
4. Stock máximo en proceso
5. Número de personas
6. Tiempo de trabajo extra por jornada
7. Productividad media de producto acabado por hora trabajada
8. Tiempo total de producción del lote
9. Tiempo total del primer lote de transferencia.

Todos estos parámetros se calcularán en la simulación del diseño e implementación del sistema productivo propuesto en el *software* diseño de procesos Diag OT (Java).

Luego se construirá el gráfico de productividad y stock en curso el mismo que resultará de la simulación del diseño e implementación propuesto en el *software* de diseño de procesos Diag OT (Java), en el cual constará la evolución del stock total en proceso momento a momento, además mostrará la evolución del producto acabado entregado.

2.3 DISEÑO DE LOS TRATAMIENTOS A EVALUAR EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Para el desarrollo del experimento se establecerá un diseño factorial con tres factores, utilizando una máquina de prensado y el mismo molde donde se evaluará los tres factores:

F1 = con 3 niveles (n1, n2, n3)

F2 = con 3 niveles (n1, n2, n3)

F3 = con 3 niveles (n1, n2, n3)

En la Tabla 2.1 se detallan los 27 tratamientos producto de los tres factores en estudio.

En el experimento factorial con 27 tratamientos se realizarán 3 repeticiones.

En cada tratamiento se evaluará las siguientes variables:

1. La dureza se medirá con el durómetro siguiendo la norma INEN 053 para material de fricción.
2. La gravedad específica se determinará midiendo la densidad del material de cada tratamiento, tomando en cuenta las especificaciones de la norma INEN 053.

3. El FAST (Friction Assessment Screening Test) se medirá desgastando el material que se obtendrá de cada tratamiento.

Dichas variables serán evaluadas en los laboratorios de control de calidad de una fábrica formuladora y productora de frenos.

Tabla 2.1. Tratamientos del diseño factorial con tres factores y tres niveles

Tratamientos	Detalle
1	F1n1 x F2n1 x F3n1
2	F1n1 x F2n1 x F3n2
3	F1n1 x F2n1 x F3n3
4	F1n1 x F2n2 x F3n1
5	F1n1 x F2n2 x F3n2
6	F1n1 x F2n2 x F3n3
7	F1n1 x F2n3 x F3n1
8	F1n1 x F2n3 x F3n2
9	F1n1 x F2n3 x F3n3
10	F1n2 x F2n1 x F3n1
11	F1n2 x F2n1 x F3n2
12	F1n2 x F2n1 x F3n3
13	F1n2 x F2n2 x F3n1
14	F1n2 x F2n2 x F3n2
15	F1n2 x F2n2 x F3n3
16	F1n2 x F2n3 x F3n1
17	F1n2 x F2n3 x F3n2
18	F1n2 x F2n3 x F3n3
19	F1n3 x F2n1 x F3n1
20	F1n3 x F2n1 x F3n2
21	F1n3 x F2n1 x F3n3
22	F1n3 x F2n2 x F3n1
23	F1n3 x F2n2 x F3n2
24	F1n3 x F2n2 x F3n3
25	F1n3 x F2n3 x F3n1
26	F1n3 x F2n3 x F3n2
27	F1n3 x F2n3 x F3n3

a) *Análisis del diseño experimental*

Los datos generados por los tratamientos es estudio serán analizados con el *software* minitab, ingresando los datos de la siguiente manera:

1. En la barra de menú se procederá a diseñar el diseño factorial en el comando estadísticas se escoge DOE y luego crear diseño factorial.
2. En el sub menú de crear diseño factorial se escogerá el tipo de diseño que es diseño factorial completo general, luego se escoge el número de factores en este caso son tres factores
3. Posteriormente se escogerá el comando diseño donde se coloca los nombres de los factores y de los niveles por cada factor, adicional se coloca en número de repeticiones.
4. Luego en el comando factores se colocará el nombre de los niveles de cada factor
5. Una llenado estos datos se aceptará y el sistema le enviará a la hoja de trabajo donde se deberá ingresar los datos
6. Una vez llenado los datos se procederá a calcular en la barra de menú se escogerá el comando estadísticas, luego, DOE, luego factorial y analizará el diseño factorial, en donde se escogerá la columna donde están las respuestas, se escogerán los gráficos y se iniciará el cálculo de la variable de respuesta.
7. Se ordenarán los datos en tablas se presentarán los gráficos y se discutirán los resultados.

2.4 EVALUACIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Los resultados del diseño propuesto se compararán con un segundo diseño propuesto, se detallarán las diferencias relevantes buscando el diseño más eficiente en productividad, tiempos de entrega, menos horas extras, menos stock de materiales, para lo cual se construirá una tabla colocando todos los parámetros de la métrica de producción de los dos diseños propuestos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 REPRESENTACIÓN DEL PROCESO POR MEDIO DE DIAGRAMA DE FLUJO

El proceso de manufactura de pastillas de frenos para motocicletas con respaldo metálico inicia con la compra de la mezcla preparada para el material de fricción, esta compra se realiza por kilos a la empresa EGAR la cual formula y fabrica pastillas de frenos para distintos usos y marcas del sector automotriz, las mezclas que se ensayó son formulaciones de la empresa para aplicaciones automotrices.

En la Figura 3.1 se observa el diagrama de flujo del proceso de fabricación de pastillas de freno.

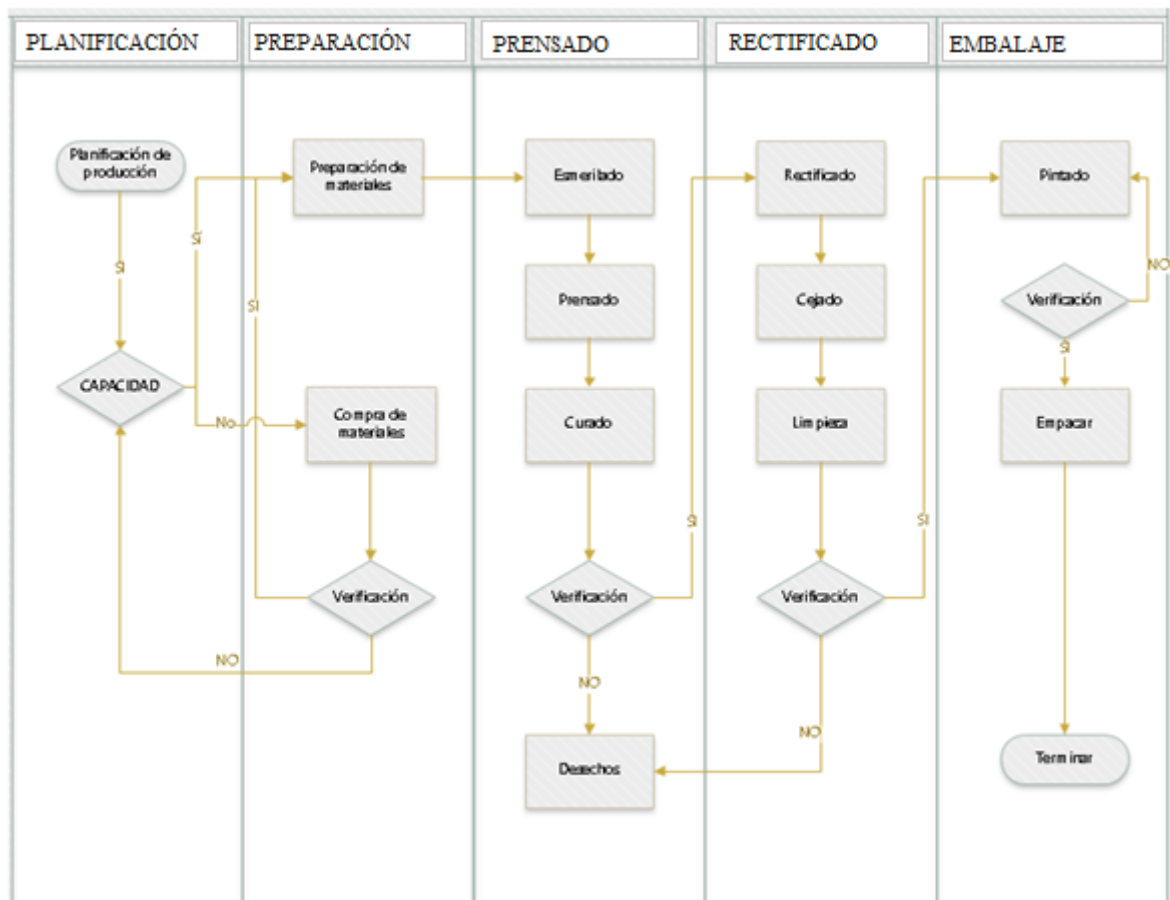


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la fabricación de pastillas de freno para motocicletas.

En la Figura 3.2 se observa el cursograma analítico propuesto detallando la trayectoria de las partes desde su recepción, los almacenes, la fabricación, y el ensamble final del proceso de fabricación de pastillas de freno.

CURSOGRAMA ANALÍTICO				Operario/Material/Equipo					
Diagrama N° 1		Hoja: 1 de 1		RESUMEN					
Producto: PATILLAS DE FRENOS				Actividad	Actual	Propuesto	Economía		
Actividad: ESMERILAR - PRENSAR - CURADO RECTIFICADO - CEJADO EMPAQUE				Operación ○	12				
				Inspección □	6				
				Espera D	1				
				Transporte ⇨	7				
				Almacén ▽	1				
Método: Actual- Propuesto				Distancia (m)		20			
Lugar: Nave principal				Tiempo (s)					
Operarios: Ficha N°				Costo					
Desarrollado por: Fecha: 01/10/18				Mano de Obra					
Aprobado por: Fecha:				Material					
				TOTAL					
DESCRIPCIÓN	Cantidad	Distancia	Tiempo	ACTIVIDAD					OBSERVACIONES
				○	□	D	⇨	▽	
Almacén de partes y MP									
Traslado de respaldos a esmerilado		2.5							Manual e individual
Preparación de respaldo									
Verificación de respaldo									
Pesaje de MP									Sin polvo
Traslado de respaldos a prensado									
Ubicación de respaldos en molde									
Colocación de MP en molde									
Prensado de pastillas		4							Prensa Hidráulica
Traslado de pastillas a horno									
Carga de horno									
Curado de pastillas		2.5							
Descarga de horno									
Verificación de pastillas									
Traslado de pastillas a rectificado									
Rectificado de pastillas		2.5							Manual
Verificación de pastillas									
Traslado de pastillas a cejado		2.5							
Cejado de pastillas									Manual
Verificación de pastillas									
Traslado de pastillas a pintura									
Pintado de pastillas		3.5							Compresor
Verificación de pastillas									
Traslado de pastillas a Empaque									
Verificación de pastillas									
Empaque de pastillas		2.5							Complete lote
TOTAL				12	6	1	7	1	

Figura 3.2. Cursograma analítico detallando la trayectoria de partes en la fabricación de pastillas de freno para motocicletas

En la Figura 3.3 se observa el diagrama de recorrido del proceso de fabricación de pastillas de frenos con la trayectoria de las partes desde su recepción, los almacenes, la fabricación, y el ensamble final.

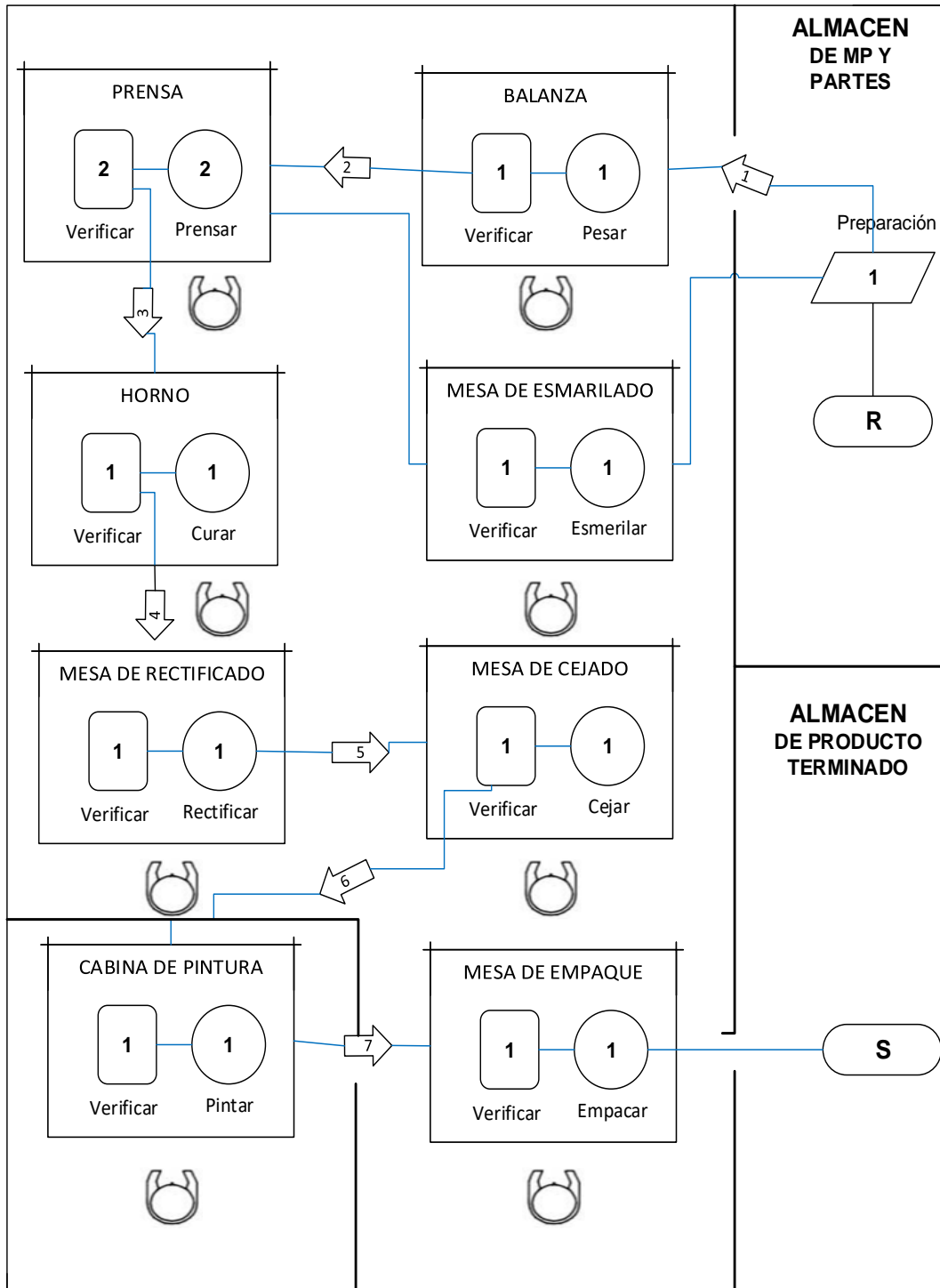


Figura 3.3. Diagrama de recorrido detallando la trayectoria de partes en la fabricación de pastillas de freno para motocicletas

3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE PRODUCCIÓN

Los respaldos metálicos se cortaron conforme al diseño del producto los cuales son esmerilados y luego pasan por un desengrasado para evitar que el material de fricción no se adhiera correctamente al respaldo metálico para luego enviarlos al proceso de prensado.

El proceso de prensado inició con el montaje y calibración del molde en la prensa, al mismo tiempo se abasteció con la mezcla del material de fricción y respaldos metálicos al área de prensado, se coloca la mezcla de material de fricción en el molde y se coloca encima de la mezcla el respaldo, se inicia el prensado en función al tiempo señalado para la prensa en función al modelo la mezcla es sometida a 50 toneladas por pie cuadrado.

El curado consiste en colocar las pastillas prensadas en las bandejas para luego introducirlas en un horno por el tiempo señalado alcanzando temperaturas de 25 °C hasta 80 °C, este valor concuerda con lo señalado por ASIMCO, las pastillas curadas son verificadas y pasan al proceso de rectificado, con la ayuda de un esmeril de banco con un disco de desbaste se rectifica el material de fricción en cada pastilla hasta el espesor de la pastilla indicada, luego se trasladan al siguiente puesto de cejado..

Una vez rectificada la pastilla es revisada si cumple con las especificaciones dimensionales del modelo, posteriormente pasa al proceso de cejado en donde se realiza los cortes en el centro de la pastilla con la ayuda de un esmeril, posteriormente pasa a ser limpiada y se prepara el respaldo metálico para ser pintado, se procede a aplicar una capa de pintura anti oxidante para evitar su deterioro una vez pintado se verifica la pintura y pasa al área de embalaje en pares., en esta área se les coloca etiquetas con los códigos del producto y se coloca el lote de producción para poder tener una trazabilidad del producto terminado, posteriormente se ingresa al almacén de producto terminado lista para la venta.

3.1.2 DIAGRAMAS HOMBRE-MÁQUINA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN

Tabla 3.1. Diagrama hombre-máquina en el proceso de prensado de pastillas de freno con respaldo metálico

DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA				Operario / Equipo	
Diagrama N°			1	Hoja: 1 de 1	
Operación:			Producto:		
Prensado			Pastillas de frenos con respaldo metálico		
Método: Actual – Propuesto			Maquina: Prensa de 50 t		
Realizado por: EO		Fecha:		Lugar: Nave principal	
Aprobado por:		Fecha:		Operarios: Ficha N° 1	
Tiempo (min)	Operario	Máquina		Tiempo (min)	
00:04:30	Esmerilado de respaldos metálicos			Prensado	00:04:30
00:06:00	Ubicar pastillas en recipiente			Presión de	00:06:00
00:07:00	Recoger desperdicios			prensa	00:07:00
00:09:00	Pesado de mezcla			50 t	00:08:00
00:09:35	Sacar pastillas de la matriz	-	-	-	-
00:10:20	Limpiar matriz	-	-	-	-
00:11:00	Colocar desmoldante	-	Inactivo	-	-
00:11:30	Colocar mezcla	-	-	-	-
00:12:00	Colocar respaldo metálico	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	Tiempo de ciclo	(min)	-	-	-
-	Operario	12	-	-	-
-	Máquina	12	-	-	-
-	Tiempo de trabajo	(min)	-	-	-
-	Operario	12	-	-	-
-	Máquina	8	-	-	-
-	Tiempo inactivo	(min)	-	-	-
-	Operario	0	-	-	-
-	Máquina	4	-	-	-
-	Utilización	%	-	-	-
-	Operario	100	-	-	-
-	Máquina	66	-	-	-

En la Tabla 3.1 se observa el tiempo de ciclo total del proceso de prensado es la suma del tiempo de la máquina y el tiempo del trabajador propuestos.

En la Tabla 3.2 se observa el tiempo de ciclo total del proceso de curado que es la suma del tiempo de la máquina y el tiempo del trabajador.

Tabla 3.2. Diagrama hombre-máquina en el proceso de curado de pastillas de freno con respaldo metálico

DIAGRAMA HOMBRE - MÁQUINA			Operario / Equipo		
Diagrama N° 2			Hoja: 1 de 1		
Operación: Curado			Producto: Pastillas de frenos con respaldo metálico		
Método: Actual - Propuesto			Maquina: Horno 25 – 80 °C		
Realizado por: EO		Fecha:	Lugar: Nave principal		
Aprobado por:		Fecha:	Operarios: Ficha N° 2		
Tiempo (min)	Operario		Máquina		Tiempo (min)
00:02:00	Verificar pastillas			Curado	00:04:30
00:06:00	Rectificar pastillas			Horno 25 – 80	00:06:00
00:06:40	Recoger desperdicios		-	Inactivo	-
00:09:00	Sacar pastillas de horno		-		-
00:11:30	Colocar pastillas en bandejas		-		-
00:12:30	Colocar bandejas en horno		-		-
-	-	-	-	-	-
-	Tiempo de ciclo	(min)	-	-	-
-	Operario	12,3	-	-	-
-	Máquina	12,3	-	-	-
-	Tiempo de trabajo	(min)	-	-	-
-	Operario	12,3	-	-	-
-	Máquina	6,0	-	-	-
-	Tiempo inactivo	(min)	-	-	-
-	Operario	0,0	-	-	-
-	Máquina	6,3	-	-	-
-	Utilización	%	-	-	-
-	Operario	100,0	-	-	-
-	Máquina	49,0	-	-	-

En el área de prensado se observa que el tiempo de ciclo es de 12,0 min, en tiempo de trabajo para el operario es de 12,0 min y para la máquina de 8,0 min, lo que nos da un tiempo inactivo de 4,0 min de la máquina, es por ello que al tiempo de ciclo es de 12,0 min ya que el operario tarda 4,0 min más que la máquina con una utilización de 66,0 % para la maquina como se evidencia los datos en la Tabla 3.1.

En el área de curado de pastillas de frenos se observa que el tiempo de ciclo es de 12,3 min, en tiempo de trabajo para el operario es de 12,3 min y para la máquina de 6,0 min, lo que nos da un tiempo inactivo de 6,3 min de la máquina, es por ello que al tiempo de ciclo es de 12,3 min, ya que el operario tarda 6,3 min más que la máquina con una utilización de 49,0 % para la maquina, que es más bajo que en el área de prensado.

En la Tabla 3.3 se observa el tiempo de ciclo total del proceso de pintado y empacado que es la suma del tiempo de la máquina y el tiempo del trabajador.

Tabla 3.3. Diagrama hombre-máquina en el proceso de pintado y empacado de pastillas de freno con respaldo metálico

DIAGRAMA HOMBRE – MÁQUINA		Operario / Equipo	
Diagrama N°	3	Hoja:	1 de 1
Operación:	Pintado y Embalado de pastillas de freno	Producto:	Pastillas de frenos con respaldo metálico
Método:	Actual – Propuesto	Máquina:	Compresor
Realizado por:	EO	Fecha:	
Aprobado por:		Fecha:	
		Lugar:	Nave principal
		Operarios:	Ficha N° 3
Tiempo (min)	Operario	Máquina	Tiempo (min)
00:01:30	Limpieza de pastillas		
00:03:30	cejado de pastillas		
00:05:30	Preparación de pastilas para pintado		
00:08:30	Pintado de pastillas	Compresor	00:08:30

Tabla 3.3. Diagrama hombre-máquina en el proceso de pintado y empaçado de pastillas de freno con respaldo metálico (continuación).

DIAGRAMA HOMBRE – MÁQUINA			Operario / Equipo		
Diagrama N°	3		Hoja:	1	de 1
Operación:	Pintado y Embalado de pastillas de freno		Producto:	Pastillas de frenos con respaldo metálico	
Método:	Actual – Propuesto		Maquina:	Compresor	
Realizado por:	EO	Fecha:	Lugar:	Nave principal	
Aprobado por:		Fecha:	Operarios:	Ficha N° 3	
Tiempo (min)	Operario		Máquina		Tiempo (min)
00:10:00	Colocación de secado de pastillas		-		-
00:11:00	Verificación de pintado		-	Inactivo	-
00:13:00	Colocar etiquetas		-		-
00:15:00	Empacado de pastillas		-		-
-	-	-	-	-	-
-	Tiempo de ciclo	(min)	-	-	-
-	Operario	15,0	-	-	-
-	Máquina	15,0	-	-	-
-	Tiempo de trabajo	(min)	-	-	-
-	Operario	15,0	-	-	-
-	Máquina	8,3	-	-	-
-	Tiempo inactivo	(min)	-	-	-
-	Operario	0,0	-	-	-
-	Máquina	6,7	-	-	-
-	Utilización	%	-	-	-
-	Operario	100,0	-	-	-
-	Máquina	42,0	-	-	-

En el área de pintado y embalaje de pastillas de frenos se observa que el tiempo de ciclo es de 15,0 min, en tiempo de trabajo para el operario es de 15,0 min y para la máquina de 8,3 min, lo que nos da un tiempo inactivo de 6,7 min de la máquina, es por ello que al tiempo de ciclo es de 15,0 min, ya que el operario tarda 6,7 min más que la máquina con una utilización de 42,0 % para la maquina, que es más bajo que en el área de prensado y curado de pastillas de freno.

3.2 DISEÑO DE CENTROS Y PUESTOS DE TRABAJO

El dimensionado y disposición básica de los elementos que componen la planta de fabricación de pastillas de frenos a diseñar. Comenzamos por hacer el listado de proceso y estaciones de trabajo que requiere la planta detallada.

Tabla 3.4. Centros, procesos y estaciones de trabajo a implantar en el diseño de una planta de fabricación de pastillas de freno para motocicletas

Centros a implantar	Procesos	Estaciones de trabajo
1. Almacén de MP y partes	-	-
2. Preparación de respaldos	A. Limpieza de partes metálicas	A1 Mesa de limpieza de respaldos
3. Prensado	B. Prensa	B1 Pesar Materia Prima
		B2 Prensado de pastillas
4. Curado	C. Curado de pastillas	C1 Verificar pastillas
		C2 Carga de pastillas al horno
5. Perfilado	D. Rectificado y Cejado	D1 Rectificación de pastillas
		D2 Cejado de pastillas
6. Pintura	E. Pintado de pastillas	E1 Preparación y pintado de pastillas
		E2 Secado de pastillas pintadas
7. Control de Calidad	F. Revisión de pastillas	F1 Control dimensional
8. Embalaje	G. Embalaje de PT	G1 Embalaje de pastillas
9. Muelle de carga	-	-
10. Muelle de descarga	-	-
11. Oficinas	-	-
12. Acceso de vehículos		
13. Acceso de personas		

3.2.1 DIAGRAMA DE PRECEDENCIA

Todos los procesos de fabricación de pastillas se encuentran vinculados entre sí, se evidencia un solo flujo desde el proceso A siguiendo a B y así hasta el embalaje G quedando el diagrama de precedencias de la siguiente manera A – B – C – D – E – F – G. como se observa en la Figura 3.4.

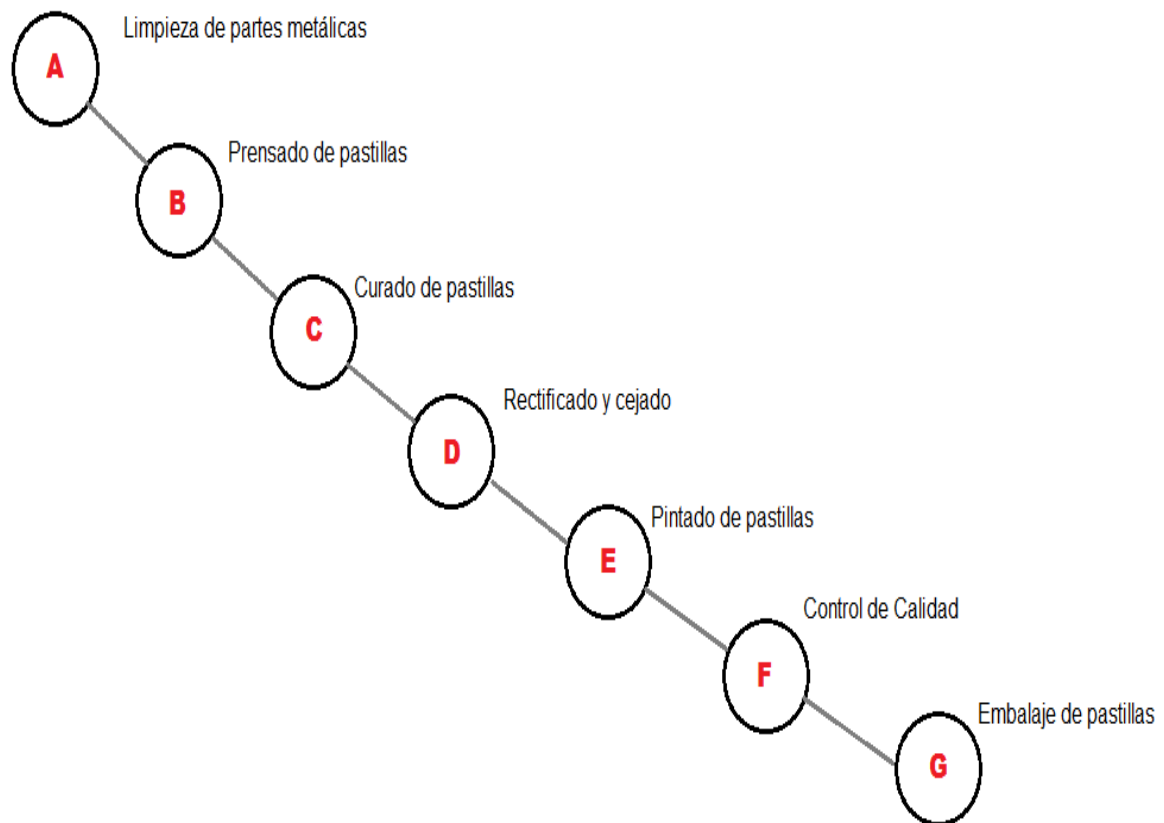


Figura 3.4. Diagrama de precedencias en el proceso de fabricación de pastillas de freno

3.2.2 MATRIZ DE ESLABONES PARA LOS CENTROS PROPUESTOS

La planta de fabricación se dimensiona para una producción de 80 juegos de pastillas de motocicletas por día, trabajando a un turno, 5 días a la semana, a continuación detallamos la matriz de traslados para la planta de fabricación de pastillas de frenos.

Para el análisis de los tránsitos se tomo en cuenta los 13 centros propuestos descritos en la Tabla 3.4 y con ayuda del diagrama de precedencias se estableció las interacciones entre los distintos centros, se lleno los datos de cada celda y se calculo el valor de las interacciones como se detalla en la Figura 3.5

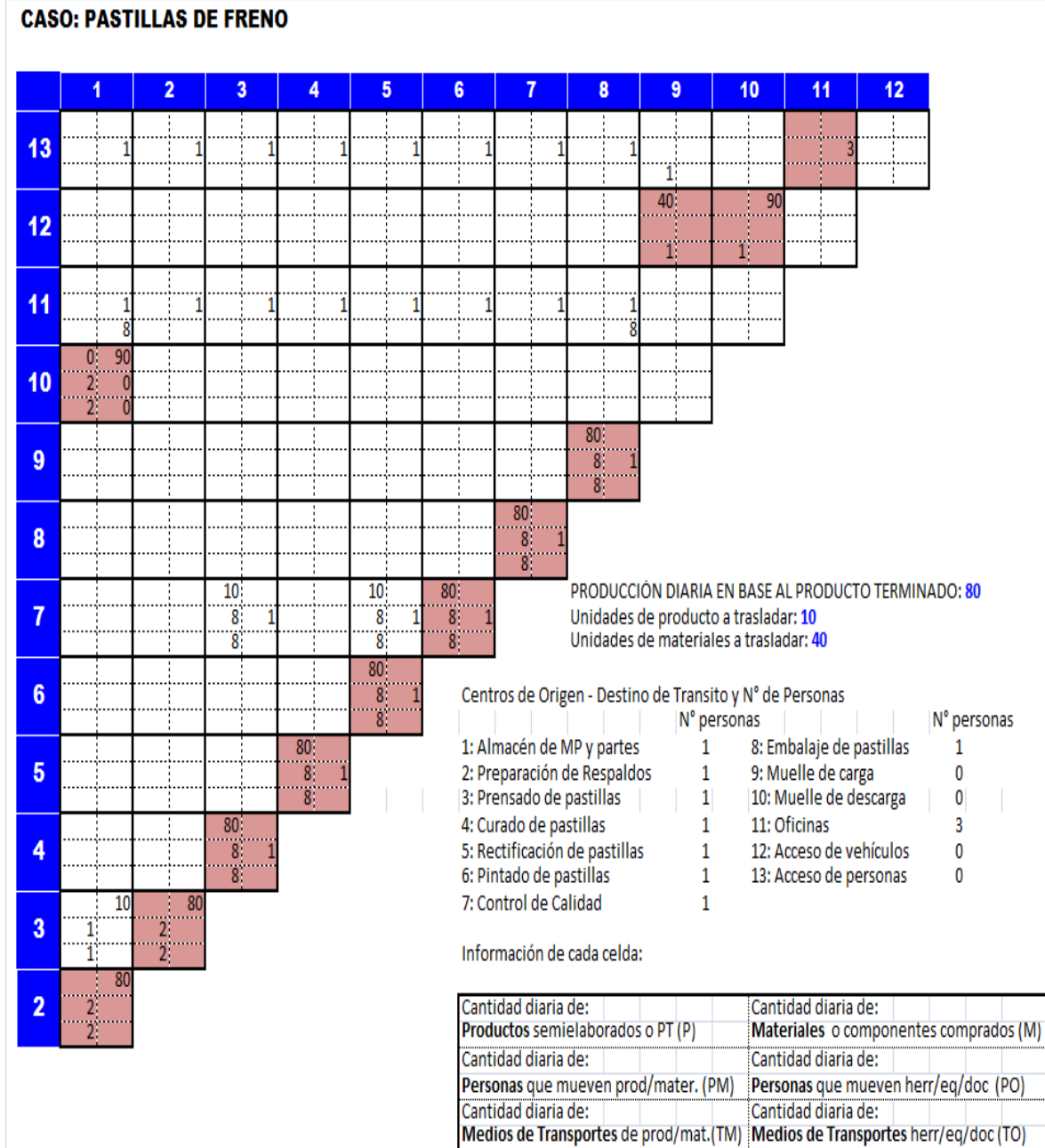


Figura 3.5. Matriz de transito calculada para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas

Con los datos relevantes de la matriz de transito o eslabones cuyo cálculos se detallan en el Anexo VII, se realizó el cálculo del factor base utilizando la Ecuación [1.12] para cada eslabón, tomando en cuenta los coeficientes para traslados de personas, materiales y transportes.

Los resultados del cálculo del factor base se muestran en la Figura 3.6 utilizando los coeficientes para persona de $k_p = 5$, el coeficiente de movimiento de materiales de $k_m = 3$ y el coeficiente de transporte de $k_t = 2$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	15	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	122	182	0	
11	21	0	0	0	0	0	0	21	0	0		
10	286	0	0	0	0	0	0	0	0			
9	0	0	0	0	0	0	0	301				
8	0	0	0	0	0	0	301					
7	0	0	86	0	86	301						
6	0	0	0	0	301							
5	0	0	0	301								
4	0	0	301									
3	37	256										
2	256											

Figura 3.6. Determinación del factor base para evaluar las distribuciones planteadas de los centros de la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicleta

3.2.3 DISTRIBUCIÓN EN RED BIDIRECCIONAL DE CENTROS PROPUESTOS

En el primer diseño propuesto se distribuyó sobre una red bidireccional los distintos centros en forma de U, el área de prensado esta cerca de los almacenes de abastecimiento a continuación los centros de curado, rectificado, pintado y embalaje en la Figura 3.7, se observa la distribución propuesta.

Esta propuesta nos da una idea clara de cómo van a ir distribuidos los diferentes centros en una primera aproximación la cual nos va a servir de base para posteriores análisis y toma de decisiones.

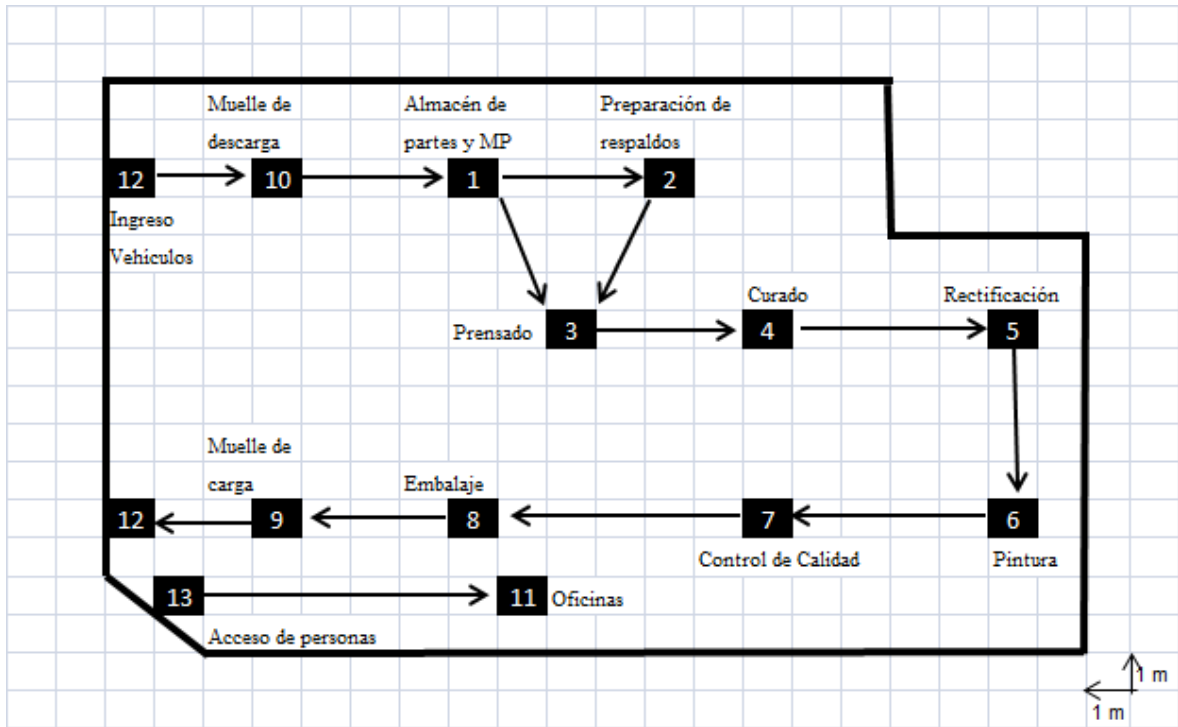


Figura 3.7. Primera solución a la distribución de centros sobre la red bidireccional para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicleta

En la segunda propuesta de distribución las áreas de prensado, curado y rectificado están juntas, el área de pintado está a un lado de estas áreas, generando una mayor distancia de traslados entre el área de rectificado y pintado como se observa en la Figura 3.8.

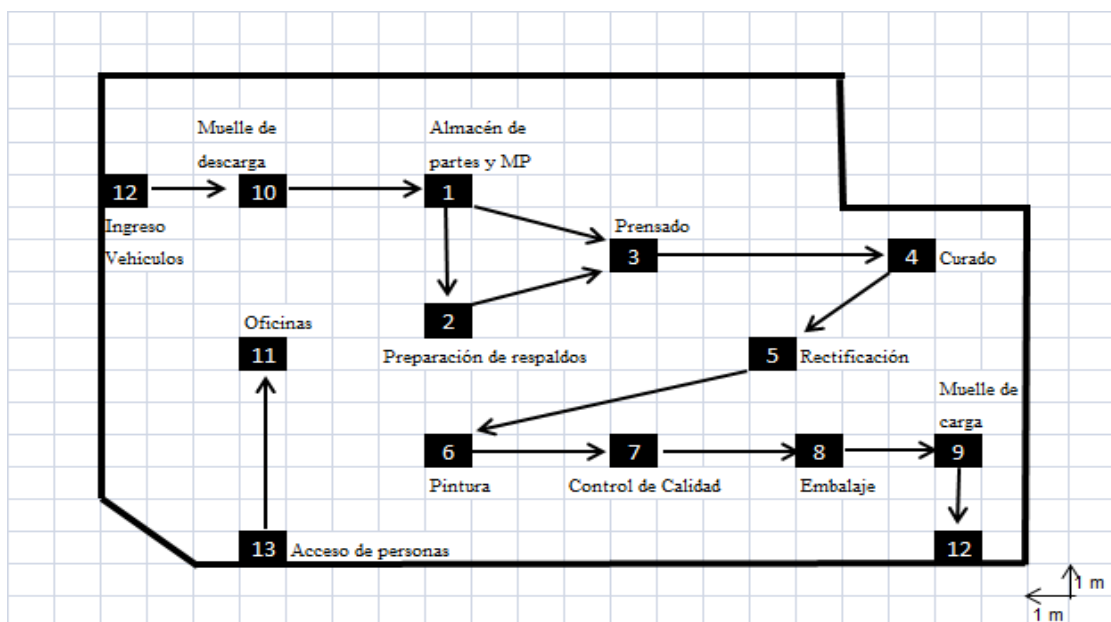


Tabla 3.5. Resultados de la evaluación de las tres propuestas de distribución de una planta de fabricación de frenos para motocicletas.

Evaluación de las celdas relevantes							
Celda	Factor Base	Solución 1		Solución 2		Solución 3	
		Distancia (m)	Valor	Distancia (m)	Valor	Distancia (m)	Valor
13 – 11	15	6,0	90,0	5,0	75,0	6,0	90,0
12 – 9	122	2,0	244,0	2,0	244,0	2,0	244,0
12 – 10	182	2,0	364,0	2,0	364,0	2,0	364,0
10 – 1	286	3,0	858,0	3,0	858,0	2,0	572,0
9 – 8	301	3,0	903,0	2,0	602,0	2,0	602,0
8 – 7	301	5,0	1505,0	3,0	903,0	3,0	903,0
7 – 6	301	4,0	1204,0	3,0	903,0	6,0	1806,0
6 – 5	301	4,0	1204,0	7,5	2 257,5	7,5	2257,05
5 – 4	301	4,0	1204,0	3,5	1 053,5	3,0	903,0
4 – 3	301	3,0	903,0	5,0	1 505,0	3,0	903,0
3 – 2	256	3,0	768,0	3,0	768,0	2,0	512,0
2 – 1	256	3,0	768,0	3,0	768,0	1,0	256,0
Totales			10 015,0		10 301,0		9 412,5

Los resultados obtenidos del análisis de las tres propuestas de distribución, se puede observar 12 interacciones entre centros con valores altos lo que nos indica que hay alto tráfico de personas, materiales, herramientas, documentos, etc., para la primera solución se observa para la relaciones entre las áreas embalaje – control de calidad con 1 505,0 entre control de calidad – pintura con 1 204,0 entre pintura – rectificación con 1 204,0 entre rectificación y curado con 1 204,0 siendo los valores más altos, entre acceso de personas – oficinas con 90,0 siendo el valor más bajo registrado para esta propuesta, la sumatoria total de esta propuesta es de 10 015,0 que se registra como el segundo valor de las tres propuestas.

Los resultados obtenidos para la segunda propuesta se observa los resultados entre los centros de pintura – rectificado con 2 257,5, entre rectificado – curado con 1 053,5 entre curado – prensado con 1 505,0 siendo los valores más altos, entre accesos de personas – oficinas con 75,0 siendo el valor más bajo registrado

para esta propuesta, la sumatoria total de esta propuesta es de 10 301,0 que se registra como el tercer valor más alto de las tres propuestas.

Los resultados obtenidos para la tercera propuesta se observa, entre los centros de embalaje – control de calidad con 903,0 entre control de calidad – pintura con 1 806,0 entre pintura – rectificación con 2 257,5, entre rectificación – curado con 903,0 entre curado – prensado con 903,0 siendo los valores más altos, entre acceso de personas – oficinas con 90,0 siendo el valor más bajos registrado para esta propuesta, la sumatoria total de esta propuesta es 9 412,5.

3.2.4 CALCULO DEL NÚMERO DE ESTACIONES DE TRABAJO PARA EL ÁREA DE PRODUCCIÓN

Para el cálculo del número de puestos de trabajo necesarios para el área de producción se utilizó la Ecuación [1.5], tomando en cuenta el número de horas efectivas al año de 1 292,0 con una producción estimada de 10 000 juegos de pastillas de freno por año.

En la Tabla 3.6 se puede observar el número de horas necesarias para producir 10 000 juegos al año de pastillas de freno por cada estación de trabajo implementadas.

Los resultados obtenidos del cálculo de horas necesarias al año para una producción de 10 000 unidades por año, se puede observar que para el centro A denominado Limpieza de respaldos con dos actividades tiene un tiempo global de 739, para el área B de Prensa con cuatro actividades con 1 333, para el área C del Horno con tres actividades con 4 000, siendo el área con el mayor número de horas, para el área D de rectificación con dos actividades con 1 667, para el área E de Pintura con dos actividades con 889, para el área F de Control de Calidad con una actividad con 653 horas, siendo el valor con el menor número de horas, para el área G de Embalaje con una actividad con 667 horas.

Tabla 3.6. Resultados del cálculo de número de horas al año necesarias para cada centro de producción de la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas

Producto	Producción anual	ESTACIONES DE TRABAJO													
		A. Limpieza respaldos		B. Prensa		C. Horno		D. Rectificación		E. Pintura		F. Control de calidad		G. Embalaje	
		Cantidad operac.	Tiempo unidad	Cantidad operac.	Tiempo Unidad	Cantidad operac.	Tiempo unidad	Cantidad operac.	Tiempo unidad	Cantidad operac.	Tiempo unidad	Cantidad operac.	Tiempo unidad	Cantidad operac.	Tiempo unidad
		Máxima	(s)	máxima	(s)	Máxima	(s)	máxima	(s)	máxima	(s)	máxima	(s)	máxima	(s)
Pastillas de frenos	10000	1	26	1	60	1	540	1	300	1	130	1	235	1	240
	-	2	240	2	55	2	600	2	300	2	190	-	-	-	-
	-	-	-	3	25	3	300	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	4	480	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	10000	Tot.tiempo U	266	Tot.tiempo U	620	Tot.tiempo U	1440	Tot.tiempo U	600	Tot.tiempo U	320	Tot.tiempo U	235	Tot.tiempo U	240
	-	Global (h)	739	Global (h)	1333	Global (h)	4000	Global (h)	1667	Global (h)	889	Global (h)	653	Global (h)	667

Una vez calculadas el número de horas de trabajo que se precisan para cada área y teniendo en cuenta la disponibilidad efectiva de horas ya calculada (1 292), determinamos la cantidad de puestos de trabajo necesarias para cada área, como se muestra en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Resultados del cálculo de número de estaciones de trabajo para la planta de fabricación de frenos de motocicleta

Estación Trabajo	Horas Año	Determinación del N° de estaciones necesaria	N°estaciones real
A. Limpieza de respaldo	739	= $739 / 1292 = 0,57$	1
B. Prensado	1333	= $1333 / 1292 = 1,03$	1
C. Horno	4000	= $4000 / 1292 = 3,09$	3
D. Rectificado y Cejado	1667	= $1667 / 1292 = 1,30$	1
E. Pintura	889	= $889 / 1292 = 0,69$	1
F. Control de Calidad	653	= $653 / 1292 = 0,51$	1
G. Embalaje	667	= $667 / 1292 = 0,52$	1

Los resultados del cálculo de números de estaciones necesarias para el área A es de 0,57 estaciones, elevada al inmediato superior nos da 1,0 estación para esta área, el cálculo para el área B es 1,03 estaciones que redondeada nos da 1,0 estación, para el área C el cálculo es 3,09 estaciones que redondeada son 3,0 estaciones, siendo el área que necesita más estaciones de trabajo, para el área D el cálculo es 1,3 estaciones que redondeada nos da 1,0 estaciones, para la estación E el cálculo es 0,69 estaciones que redondeada son 1,0, para el área F el cálculo es 0,51 que redondeada nos da 1,0 estaciones, para el área G el cálculo es 0,52 estaciones que redondeada son 1,0 estaciones, la suma total nos da 9 puestos de trabajo para el área de producción.

3.2.5 CÁLCULO DE SUPERFICIES NECESARIAS

Para determinar la superficie necesaria para los centros de producción se cálculo con el método de Guerchet.

En la Tabla 3.8., se observa los resultados de los cálculos para determinar la superficie necesaria para cada centro.

Tabla 3.8. Resultados del cálculo de superficie necesaria para cada centro para la planta de fabricación de pastillas de frenos

SUPERFICIE NECESARIA PARA LOS EQUIPOS						
Estación de trabajo	Superficies necesarias (*)			Superficie	-	-
con espacio para	Estática	Gravitacional	Evolución	total por	Cantidad	Superficie
materiales, útiles y	(Rectangular)	(Equipos iguales)	(para k = 2)	estación	equipos	Total
sistemas necesarios	m ²	m ²	m ²	m ²	-	m ²
A. Limpieza de respaldo	1.5	3	6	10.5	1	10,5
B. Prensado	3	6	12	21	1	21,0
C. Horno	1.5	3	6	10.5	3	31,5
D. Rectificado y Cejado	2	4	8	14	1	14,0
E. Pintura	2.5	5	10	17.5	1	17,5
F. Control de Calidad	1.5	3	6	10.5	1	10,5
G. Embalaje	1.5	3	6	10.5	1	10,5
Total	-	-	-	-	-	115,5

(*) La superficie de gravitación tendrá dos caras: una para trabajar y otra para la alimentación de materiales

Los resultados del cálculo de superficies necesarias para la estación A es de 10,5 m², para la estación B es de 21,0 m², para la estación C es de 31,5 m², para la estación D es de 14,0 m², para la estación E es de 17,5 m², para la estación F es de 10,5 m², siendo la suma total de la superficie necesaria de 115,5 m², para implementar la planta de producción de pastillas de frenos para motocicletas.

Con los cálculos de superficie necesaria se dimensionó las propuestas de distribución de forma funcional, tomando en cuenta las superficies calculadas, como se observa en la Figura 3.10

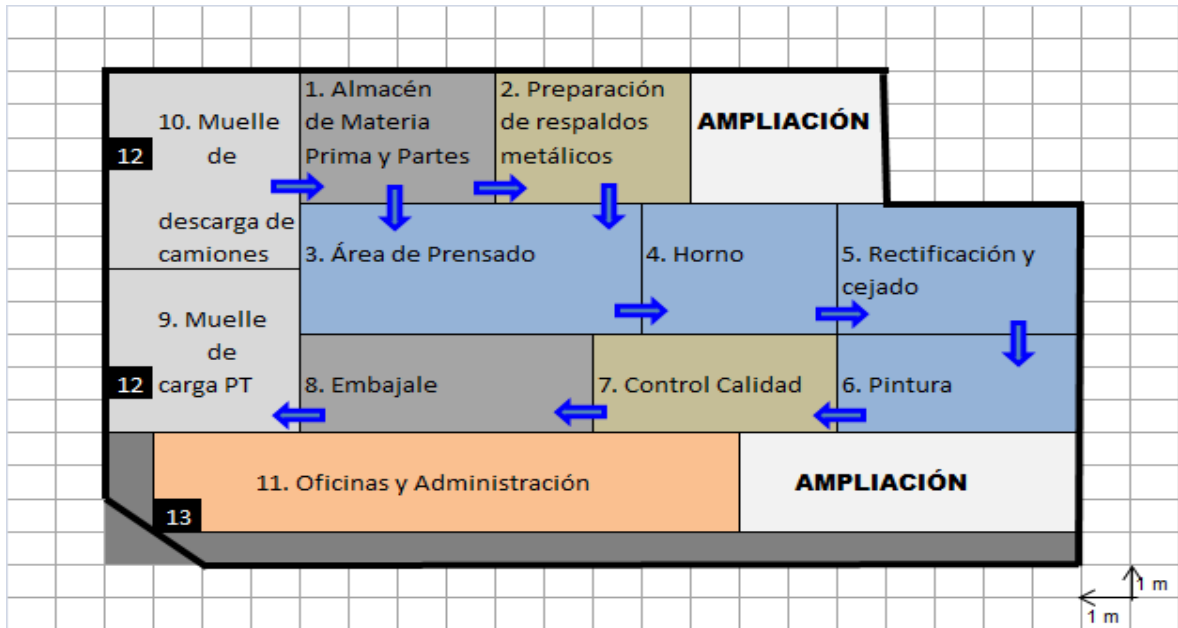


Figura 3.10. Centro dimensionado de forma funcional para la primera propuesta a la distribución de estaciones para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicleta.

En la segunda propuesta de distribución se observa a las estaciones de trabajo de prensado, horno y rectificación en una sección, luego se ubica al área de pintura en otra sección uniendo al área de control de calidad y embalaje ubicada en otra sección como se observa en la Figura 3.11.

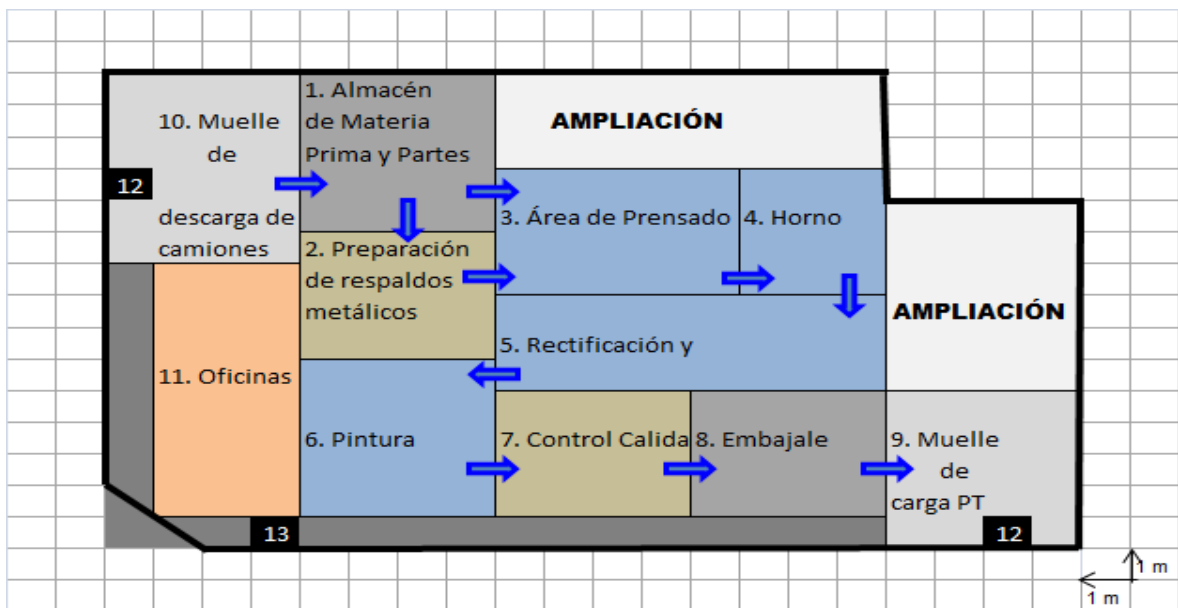


Figura 3.11. Centro dimensionado de forma funcional para la segunda propuesta a la distribución de estaciones para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas.

En la tercera propuesta de distribución se observa dos secciones la primera las estaciones de prensado, horno y rectificado y la segunda las estaciones de pintura, control de calidad y embalaje como se observa en la Figura 3.12.

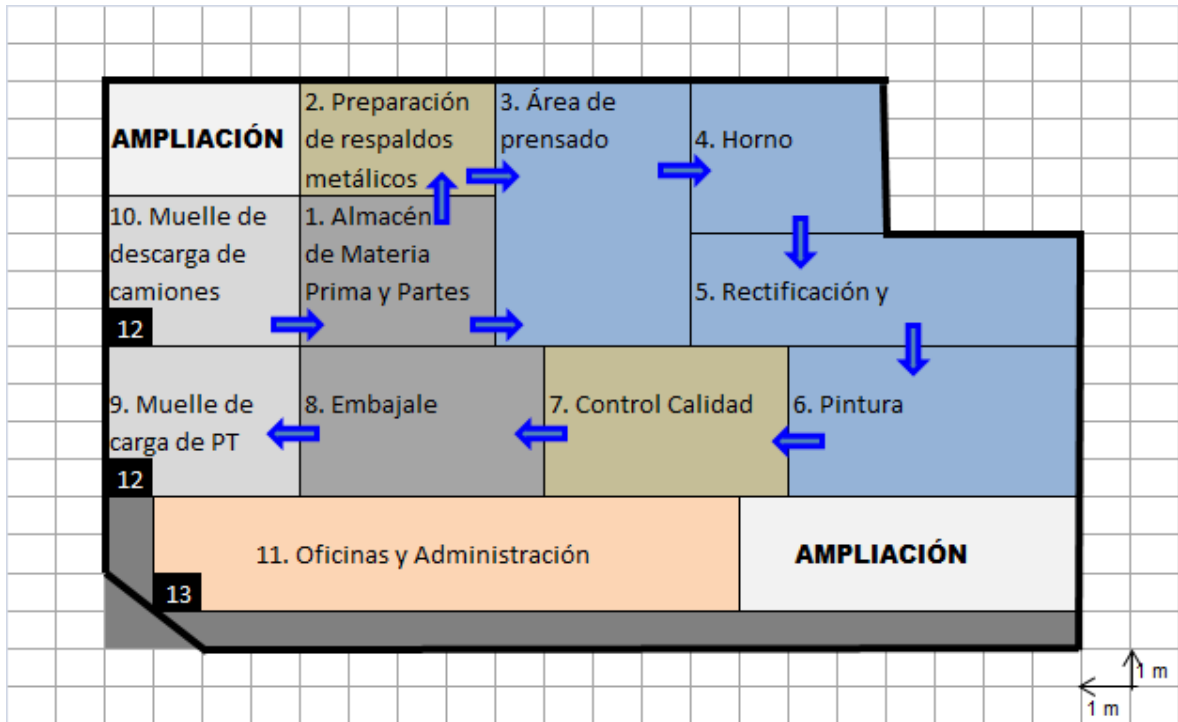


Figura 3.12. Centro dimensionado de forma funcional para la tercera propuesta de distribución de estaciones para la planta de fabricación de pastillas de frenos para motocicletas

3.2.6 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS

Para la implementación y evaluación de los procesos productivos de la planta de fabricación de pastillas de frenos, se determinó los procesos, subprocesos y operaciones para el diseño propuesto con sus frecuencias, tiempos de trabajador y tiempos de maquinas como se observa en la Tabla 3.9.

Se determinó 7 procesos cada uno con dos o más operaciones y sus respectivas frecuencias y sus tiempos en segundos.

Tabla 3.9. Resultados del análisis de tiempos por persona y maquina en los diferentes puestos de trabajo para la planta de fabricación de pastillas de frenos

Procesos y Subprocesos para pastillas de frenos	#	Operación	Frecuencia	Tiempo Persona	Tiempo Máquina
A. Inspeccionar respaldos metálicos	1	Inspección de respaldos metálicos (OP1)	2	25	
	2	Cepillado de respaldos metálicos (OP1)	2	15	140
B. Prensado	3	Preparar respaldos metálicos (OP2)	2	45	
	4	Pesado de mezcla abrasiva (OP2)	1	55	
	5	Ubicación de respaldo en matriz (OP2)	2	35	
	6	Prensado de pastillas (OP3)	2	5	240
C. Curado de pastillas	7	Carga de pastillas al Horno (OP4)	1	8	
	8	Curado de pastillas en el Horno (OP4)	40	5	15
	9	Descarga de pastillas del Horno (OP4)	1	8	
D. Rectificado y Cejado	10	Rectificar el espesor de las pastillas (OP5)	1	25	160
	11	Cejado de pastilla (OP5)	1	25	130
E. Pintura	12	Preparación de pastillas para pintura (OP6)	1	10	
	13	Pintado de respando metálico (OP6)	1	35	289
F. Coltrol de Calidad	14	Verificación visual y dimensional (OP7)	1	115	
G. Embalaje	15	Embalaje de pastillas de freno (OP8)	1	120	

Para determinar la productividad, *lead time* del proceso, tamaño de lotes de producción, tamaño de lotes de transferencia, stocks en proceso, cantidad de personas, se estableció el diseño propuesto que se analizó con la ayuda del *software* simulador para diseño de plantas denominado Diseño procesos Diag OT (Java).

Se le ingresaron los datos al *software* en especial las estaciones de trabajos y sus secuencias, los tiempos del operador, los tiempos de las maquinas, la producción diaria, los lotes de transferencia propuestos entre estaciones de trabajo, las cantidades de personas.

En la Figura 3.13 se detalla la propuesta de diseño para una planta con una producción diaria de 80 juegos de pastillas de freno, en un solo turno de ocho horas por 5 días a la semana.

Procesos para planta de Producción de Pastillas de frenos

Modelo de gestión: Mass Production

Producto: Pastillas de frenos para motocicletas

Modelo: Modelo M-11

Diseño e Implantación

Producción Diaria Planif.: 80	Duración jorn. (h.): 8	TAKT TIME (jorn. base): 315,0	Producción
Lote Producc. (uds): 40	Paros progr. jorn (h.): 1	Nº Puestos teórico: 3,92	Prod. Diaria (Prod. acabado): 83
¿Preparac. sin paro proc.? No	Duración neta (h.): 7,0	Nº Puestos real: 4	Prod. media (p.a.)/hora trab.: 1,53

PROCESOS Y OPERACIONES POR PUESTO					TIEMPOS DE PROCESO				TIEMPOS ADICIONALES POR			PARÁMETROS DISEÑO SISTEMA				AGRUPACIÓN PUESTOS Y CICLO				PRODUCCIÓN			
Puesto		asignadas			Proc. sigue	Trabajo		Máquinas		Rechazos no recup.	Trans. Persona	Tiempo Prepar.	Cantidad		Lote		Tiempo Jornada		Agrupado		Tiempos de ciclo		Diaria (uds.) por puesto
Nº	Denom.	Op.1	Op.2	Op.3		VA	NVA	Proceso	Paro NP				Trabaj.	Máq.	Transf.	H.extra	Seg.paro	Orden	NºTrab.	Trabajo	Máquina		
1	OP1	1	2		OP2	80,0	35	280,0	1	%5	120	300	1	1	10		15	1	1	141,8	304,0	83	
2	OP2	3	4	5	OP3	215,0	60	0,0		%1	180	360	1		10			2	1	304,8		83	
3	OP3	6			OP4	10,0	5	480,0	1	%2	120	180	1	1	10	4,5	25	3	1	34,3	497,6	83	
4	OP4	7	8	9	OP5	216,0	15	600,0	1	%2	120	240	1	2	10	0,15	15	4	1	255,1	311,0	83	
5	OP5	10	11		OP6	50,0	10	290,0	1	%1	120	300	1	1	6		15	5	1	90,6	303,9	83	
6	OP6	12	13		OP7	45,0	10	289,0	1	%1	120	300	1	1	6		15	6	1	85,6	302,9	83	
7	OP7	14			OP8	115,0	25	0,0		%5	60	0	1	1	2	0,5		7	1	323,5		83	
8	OP8	15				120,0	25	0,0		%1		0			2			7				83	

Resultados

Tiempos de Proceso

Trab. VA. Total: 851,0	Máq. Proceso Tot.: 1939,0
Trab. NVA. Total: 185,0	Máq. Paro N.P. Tot.: 5,0
Tiempo Trab. Total: 1036,0	Tiempo Máq. Tot.: 1944,0
%NVA+Paro/Total: 6,38	

Parámetros Diseño Sistema

Cant. Trab. Tot.: 7,0	Total Uds.: 10,5
Cant. Máq. Tot.: 7,0	Medio: 7,0
Lote Transf. Máx.: 10,0	Equiv. Jornadas: 0,7
Horas Extra Tot.: 5,15	

Agrupación Puestos y Ciclos

Nº Puestos: 7,0	Nº Trabajadores: 7,0
Tiem. Trab. Máx.: 323,5	Máx. Desequil. Trab.: 289,2
Tiem. Máq. Máx.: 497,6	Máx. Desequil. Máq.: 194,7

Figura 3.13. Primer diseño e implantación de procesos para la planta de producción de pastillas de frenos para motocicletas en el *software* simulador para diseño de plantas denominado Diseño procesos Diag OT (Java).

El diseño propuesto se compone de ocho puestos de trabajo el primer puesto de trabajo (OP1) con dos operaciones que consisten en inspeccionar y cepillar los respaldos metálicos con un tiempo total de 303,95 segundos con un lote de transferencia de 10 unidades, el segundo puesto de trabajo (OP2) con tres operaciones que consisten en pesar la mezcla abrasiva, colocar los respaldos en el molde para el prensado con un tiempo total de 304,75 segundos con un lote de transferencia de 10 unidades, el tercer puesto (OP3) con una operación que consiste en el prensado con un tiempo total de 497,6 segundos con un lote de transferencia de 10 unidades, el cuarto puesto (OP4) con tres operaciones que consisten en cargar y descargar el horno con un tiempo total de 311,02 segundos con un lote de transferencia de 10 unidades, el quinto puesto de trabajo (OP5) con dos operaciones que consisten en el rectificado y cejado de la pastilla de freno con un tiempo total de 303,9 segundos con un lote de transferencia de 6 unidades, el sexto puesto de trabajo (OP6) con dos operaciones que consisten en la preparación de la pastilla de freno para la pintura y el pintado de la pastilla con 302,85 segundos con un lote de transferencia con 6 unidades , el séptimo puesto de trabajo (OP7) con una operación que consiste en el control de calidad de las pastillas de freno, el octavo puesto de trabajo (OP8) con una operación que consiste en embalar las pastillas de frenos, los dos puestos de trabajo OP7 y OP8 se unieron con un tiempo total de 323,45 con un lote de transferencia de 2 unidades.

En la Figura 3.14 se presenta los ciclos totales de cada puesto de trabajo para el proceso de fabricación de pastillas de frenos

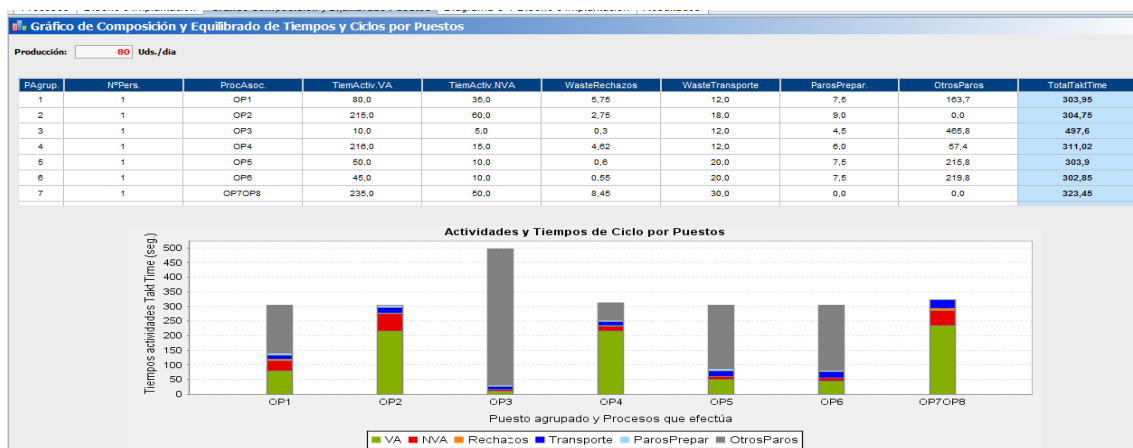


Figura 3.14. Gráfico de los ciclos totales de tiempo de cada puesto de trabajo del diseño de procesos para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java).

Los resultados obtenidos del diseño de procesos propuesto, analizado con el *software* Diseño procesos Diag, nos permite conocer los tiempos de los procesos, productividad, stock en proceso.

En la Tabla 3.10 se presentan los resultados del análisis del diseño de procesos propuesto.

Tabla 3.10. Resultados del diseño para la producción de pastillas de frenos simulado con el *software* Diseño procesos Diag.

Procesos para planta de Producción de Pastillas de frenos	
Producto: Pastillas de frenos para motocicletas	
<i>Métricas resultantes</i>	
Métricas relevantes del diseño	
Despilfarros	Resultados
Tamaño del lote de producción	40,00
Proceso: tiempo total de trabajo del proceso (VA + NVA)	1036,00
Proceso: tiempo total de máquina (Proceso + Paros)	1944,00
Stock medio de materiales en proceso en toda la planta (WIP)	22,00
Stock máximo en proceso (WIP) en un momento dado	40,00
Esperas: Total tiempos de espera en puestos de trabajo [horas]	6,24
Esperas: Paro procesos por preparaciones (misma producción total)	1680,00
Movimientos de personal y transportes movidos por personal	840,00
Rechazos por calidad (promedio)	2,25%
Ocupación de espacio en planta	-
Eficiencia	-
Número de puestos de trabajo (finales tras la agrupación)	7,00
Tiempo de trabajo extra por jornada	5,15
Productividad: media de producto acabado por hora trabajada	1,53
<i>Lead Time</i> total del lote de producción [horas]	9,99
<i>Lead Time</i> total del primer lote de transferencia [horas]	5,13

El diseño propuesto para procesar 80 unidades por día, con un tamaño de lote de producción de 40 unidades, con un tiempo total de proceso del trabajador para

procesar una unidad de 1 036 segundos, con un tiempo total de máquina para procesar una unidad de 1 944 segundos, con un stock de materiales en proceso de 22 unidades, con 7 puestos de trabajo, con un tiempo extra por jornada de 5,15 horas, con una productividad de 1,53 unidades-hora, con un *Lead Time* total de 9,99 horas y un *Lead time* del primer lote de transferencia de 5,13 horas.

En la Figura 3.15 se representa el diagrama de Operaciones – Tiempo del proceso propuesto.

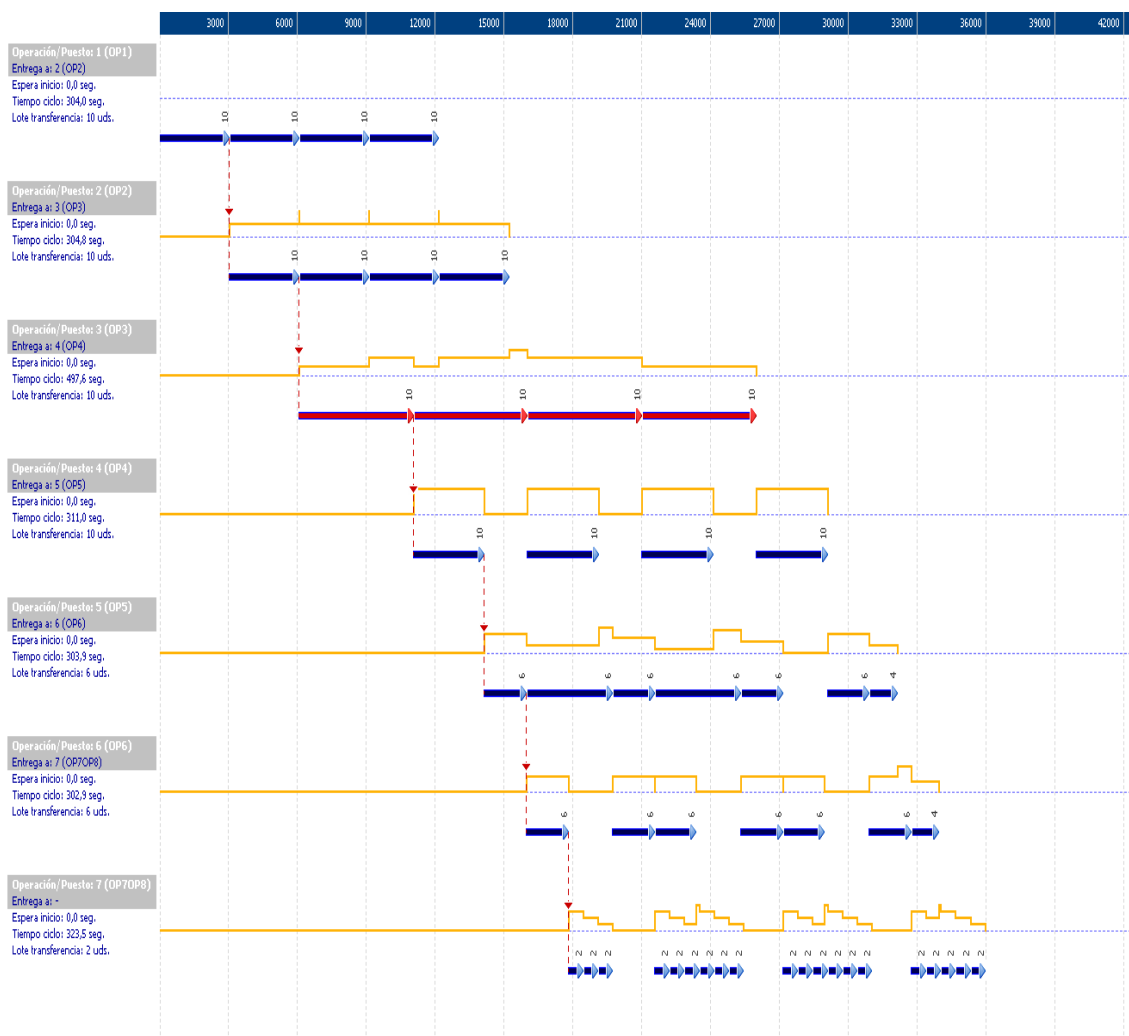


Figura 3.15. Gráfico de Operación - Tiempo de cada puesto de trabajo para un lote de producción de 40 unidades para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java).

El stock en proceso medio en todo el proceso son de 22 unidades, con un stock máximo acumulado en la planta es de 40 unidades lo que nos indica que con lotes de transferencia de 10 unidades en los procesos primeros procesos denominados Inspección de respaldos metálicos, Pesado de mezcla abrasiva, Prensado de pastillas y Curado de pastillas, lotes de transferencia de 6 unidades para los procesos de Rectificado y Pintura, para los procesos de Control de calidad y Embalaje con lotes de transferencia de 2 unidades, en la Figura 3.16 se puede observar el detalle de la distribución de los stock durante el proceso de fabricación de pastillas de frenos propuestos.

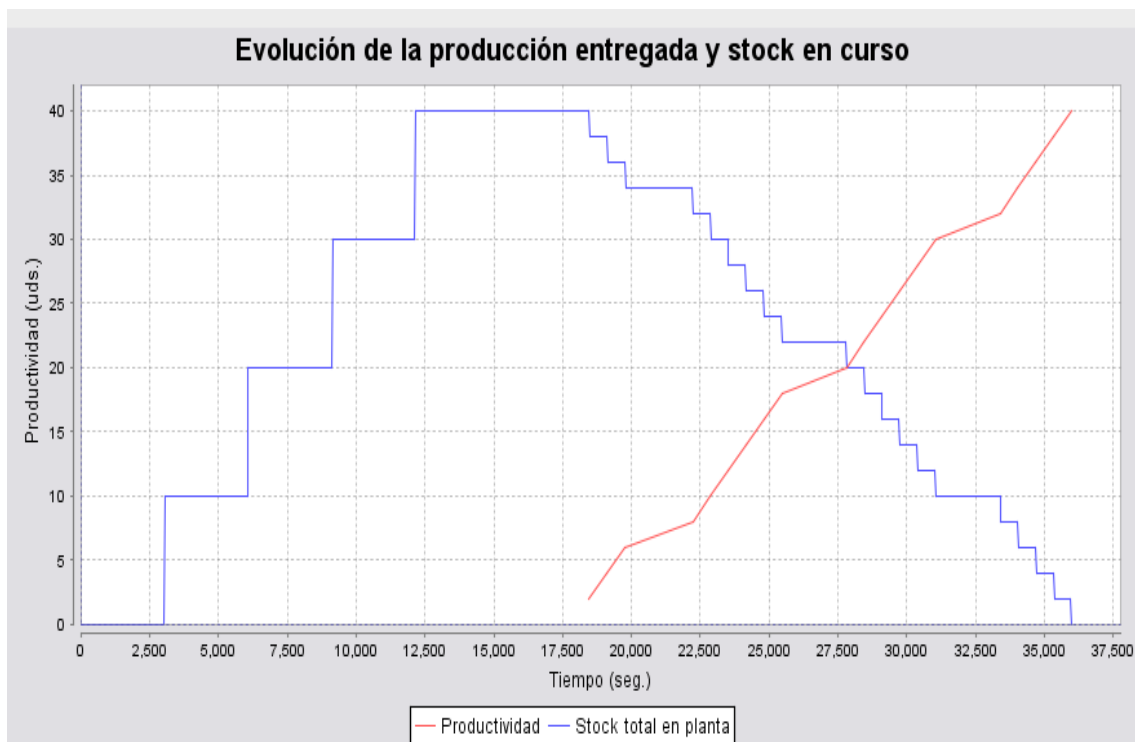


Figura 3.16. Gráfico de evolución de la producción entregada y stock en curso para un lote de producción de 40 unidades para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java).

Se realizó otra propuesta de implantación de procesos modificando los lotes de transferencia, ingresando nuevamente los datos al *software* y nuevamente calculando los resultados como se puede observar en la Figura 3.17.

Procesos para planta de Producción de Pastillas de frenos

Modelo de gestión: Lean Management

Producto: Pastillas de frenos para motocicletas

Modelo: Modelo M-11

Diseño e Implantación

Producción Diaria Planif.: 80

Duración jorn. (h.): 8

TAKT TIME (jorn. base): 315,0

Producción

Lote Producc. (uds): 40

Paros progr. jorn (h.): 1

Nº Puestos teórico: 4,27

Prod. Diaria (Prod. acabado): 82

¿Preparac. sin paro proc.? No

Duración neta (h.): 7,0

Nº Puestos real: 5

Prod. media (p.a.)/hora trab.: 1,52

PROCESOS Y OPERACIONES POR PUESTO						TIEMPOS DE PROCESO				TIEMPOS ADICIONALES POR			PARÁMETROS DISEÑO SISTEMA					AGRUPACIÓN PUESTOS Y CICLO				PRODUCCIÓN	
Puesto		Operaciones asignadas				Proc.sigüe	Trabajo		Máquinas		Rechazos no recup.	Trans.Pers ona	Tiempo Prepar.	Cantidad		Lote Transf.	Tiempo Jornada		Puesto Agrupado		Tiempos de ciclo		Diaria (uds.) por puesto
Nº	Denom.	Op.1	Op.2	Op.3	VA		NVA	Proceso	Paro NP	Trabaj.				Máq.	H.extra		Seg.paro	Orden	NºTrab.	Trabajo	Máquina		
1	OP1	1	2		OP2	70,0	35	276,0	1	%5	120	300	1	1	2		15	1	1	185,3	305,8	82	
2	OP2	3	4	5	OP3	145,0	60	0,0		%1	180	360	1		2			2	1	306,0		82	
3	OP3	6			OP4	10,0	5	480,0	1	%2	120	180	1	1	2	4,5	25	3	1	92,3	507,6	82	
4	OP4	7	8	9	OP5	216,0	15	600,0	1	%2	120	240	1	2	10	0,1	15	4	1	255,1	311,0	82	
5	OP5	10	11		OP6	50,0	10	295,0	1	%1	120	300	1	1	6		15	5	1	90,6	309,0	82	
6	OP6	12	13		OP7	45,0	10	293,0	1	%1	120	300	1	1	6		15	6	1	85,6	306,9	82	
7	OP7	14			OP8	120,0	25	0,0		%5	60	0	1	1	2	0,5		7	1	328,7		82	
8	OP8	15				120,0	25	0,0		%1		0			2			7				82	

Resultados

Tiempos de Proceso

Trab. VA. Total: 776,0 Máq. Proceso Tot.: 1944,0

Trab. NVA. Total: 185,0 Máq. Paro N.P. Tot.: 5,0

Tiempo Trab. Total: 961,0 Tiempo Máq. Tot.: 1949,0

%NVA+Paro/Total: 6,53

Tiempos Adicionales Por

Rechazos N.R. Tot.: 0,18 Rechazos N.R. Media: 2,25%

Trans. Pers. Tot.: 840,0 Total/Ud.: 292,0

Tiempo Prepar. Tot.: 1680,0 Media/Ud.: 42,0

Horas Extra Tot.: 5,1

Parámetros Diseño Sistema

Cant. Trab. Tot.: 7,0

Cant. Máq. Tot.: 7,0

Lote Transf. Máx.: 10,0

Total Uds.: 26,5

Medio: 4,0

Equiv. Jornadas: 0,7

Agrupación Puestos y Ciclos

Nº Puestos: 7,0

Tiem. Trab. Máx.: 328,7

Tiem. Máq. Máx.: 507,6

Nº Trabajadores: 7,0

Máx. Desequil. Trab.: 243,1

Máx. Desequil. Máq.: 201,8

Figura 3.17. Segundo diseño e implantación de procesos para la planta de producción de pastillas de frenos para motocicletas en el *software* simulador para diseño de plantas denominado Diseño procesos Diag OT (Java).

El segundo diseño propuesto se compone de ocho puestos de trabajo el primer puesto de trabajo (OP1) con dos operaciones que consisten en inspeccionar y cepillar los respaldos metálicos con un tiempo total de 305,75 segundos con un lote de transferencia de 2 unidades, el segundo puesto de trabajo (OP2) con tres operaciones que consisten en pesar la mezcla abrasiva, colocar los respaldos en el molde para el prensado con un tiempo total de 306,05 segundos con un lote de transferencia de 2 unidades, el tercer puesto (OP3) con una operación que consiste en el prensado con un tiempo total de 507,6 segundos con un lote de transferencia de 2 unidades, el cuarto puesto (OP4) con tres operaciones que consisten en cargar y descargar el horno con un tiempo total de 311,02 segundos con un lote de transferencia de 10 unidades, el quinto puesto de trabajo (OP5) con dos operaciones que consisten en el rectificado y cejado de la pastilla de freno con un tiempo total de 309,0 segundos con un lote de transferencia de 6 unidades, el sexto puesto de trabajo (OP6) con dos operaciones que consisten en la preparación de la pastilla de freno para la pintura y el pintado de la pastilla con 306,85 segundos con un lote de transferencia con 6 unidades , el séptimo puesto de trabajo (OP7) con una operación que consiste en el control de calidad de las pastillas de freno, el octavo puesto de trabajo (OP8) con una operación que consiste en embalar las pastillas de frenos, los dos puestos de trabajo OP7 y OP8 se unieron con un tiempo total de 328,7 con un lote de transferencia de 2 unidades.

En la Figura 3.18 se presenta los ciclos totales de la segunda propuesta de cada puesto de trabajo para el proceso de fabricación de pastillas de frenos.

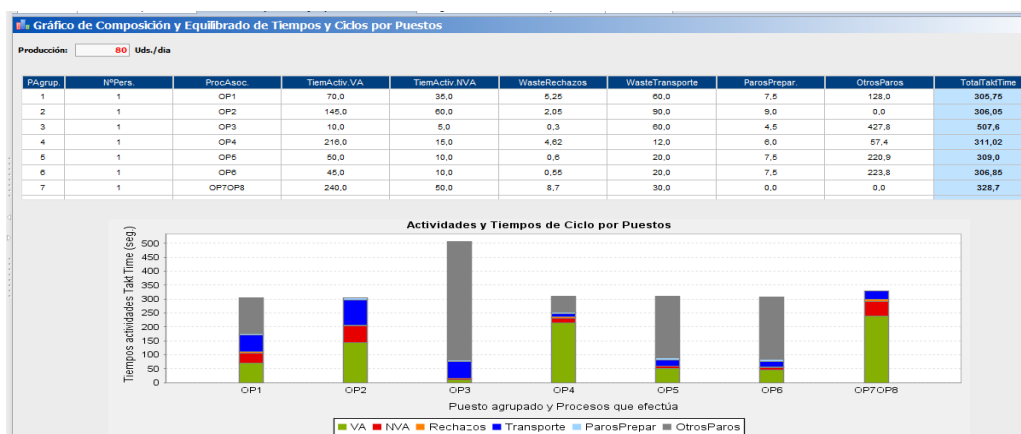


Figura 3.18. Gráfico de los ciclos totales de tiempo de cada puesto de trabajo del diseño de procesos para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java).

Los resultados obtenidos del segundo diseño de procesos propuesto, analizado con el *software* Diseño procesos Diag, nos permite conocer los tiempos de los procesos, productividad, stock en proceso.

En la Tabla 3.11 se presentan los resultados del análisis del segundo diseño de procesos propuesto.

Tabla 3.11. Resultados del segundo diseño para la producción de pastillas de frenos simulado con el *software* Diseño procesos Diag.

Procesos para planta de Producción de Pastillas de frenos	
Producto: Pastillas de frenos para motocicletas	
Métricas resultantes	
Métricas relevantes del diseño	
Despilfarros	Resultados
Tamaño del lote de producción	40,0
Proceso: tiempo total de trabajo del proceso (VA + NVA)	961,0
Proceso: tiempo total de máquina (Proceso + Paros)	1949,0
Stock medio de materiales en proceso en toda la planta (WIP)	16,0
Stock máximo en proceso (WIP) en un momento dado	30,0
Esperas: Total tiempos de espera en puestos de trabajo [horas]	9,1
Esperas: Paro procesos por preparaciones (misma producción total)	1680,0
Movimientos de personal y transportes movidos por personal	840,0
Rechazos por calidad (promedio)	0,0
Ocupación de espacio en planta	-
Eficiencia	-
Número de puestos de trabajo (finales tras la agrupación)	7,0
Tiempo de trabajo extra por jornada	5,1
Productividad: media de producto acabado por hora trabajada	1,5
<i>Lead Time</i> total del lote de producción [horas]	7,4
<i>Lead Time</i> total del primer lote de transferencia [horas]	2,3

El segundo diseño propuesto para procesar 80 unidades por día, con un tamaño de lote de producción de 40 unidades, con un tiempo total de proceso del

trabajador para procesar una unidad de 961 segundos, con un tiempo total de máquina para procesar una unidad de 1 949 segundos, con un stock de materiales en proceso de 16 unidades, con 7 puestos de trabajo, con un tiempo extra por jornada de 5,10 horas, con una productividad de 1,52 unidades-hora, con un *Lead Time* total de 7,42 horas y un *Lead Time* del primer lote de transferencia de 2,29 horas.

En la Figura 3.19 se representa el diagrama de Operaciones – Tiempo del segundo proceso propuesto.

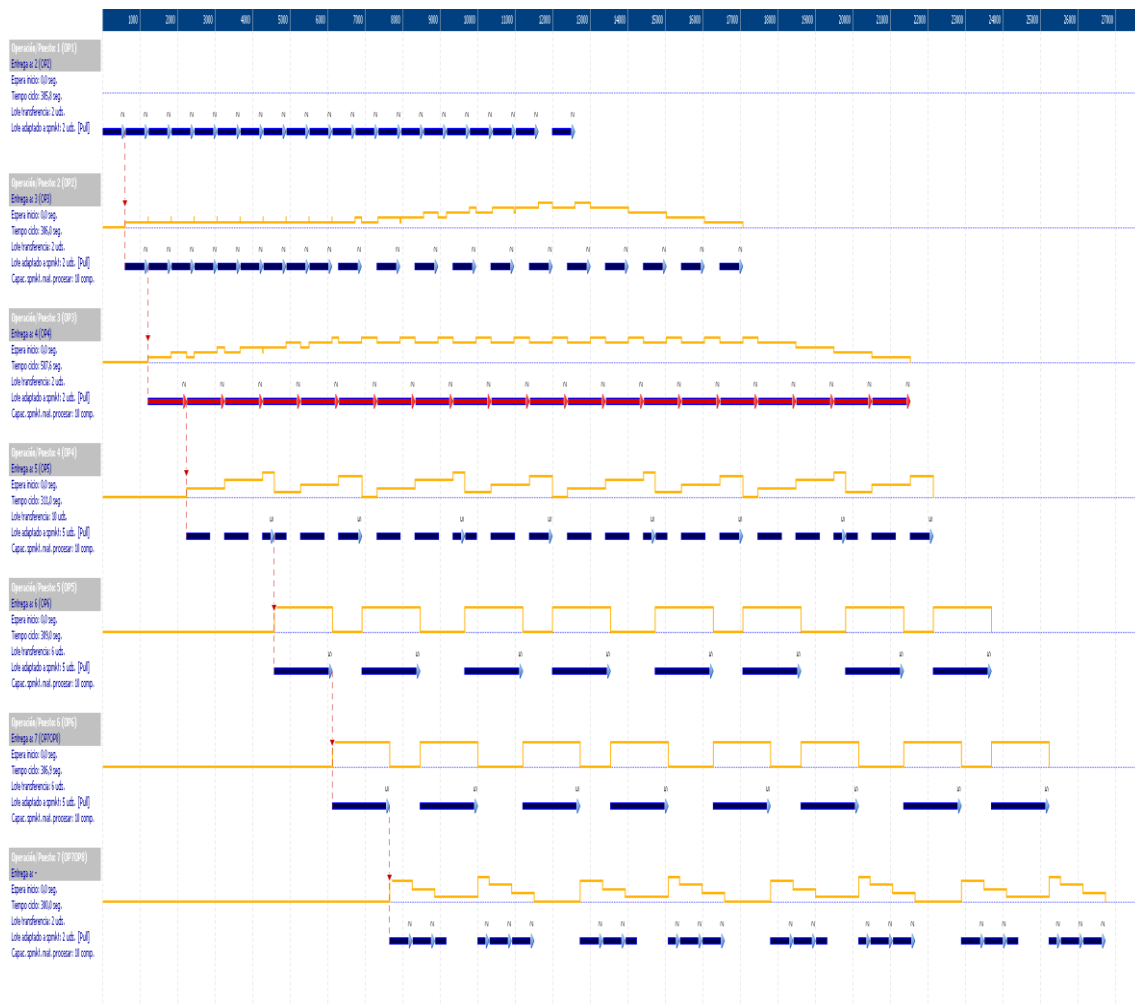


Figura 3.19. Gráfico de Operaciones - Tiempo del segundo diseño para cada puesto de trabajo para un lote de producción de 40 unidades para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java).

El stock en proceso medio en todo el proceso son de 16 unidades, con un stock máximo acumulado en la planta es de 30 unidades lo que nos indica que con lotes de transferencia de 2 unidades en los procesos primeros procesos denominados Inspección de respaldos metálicos, Pesado de mezcla abrasiva, Prensado de pastillas para el proceso de Curado de pastillas el lote de transferencia es de 10 unidades, lotes de transferencia de 6 unidades para los procesos de Rectificado y Pintura, para los procesos de Control de calidad y Embalaje con lotes de transferencia de 2 unidades, en la Figura 3.20 se puede observar el detalle de la distribución de los stock durante el proceso de fabricación de pastillas de frenos propuestos.

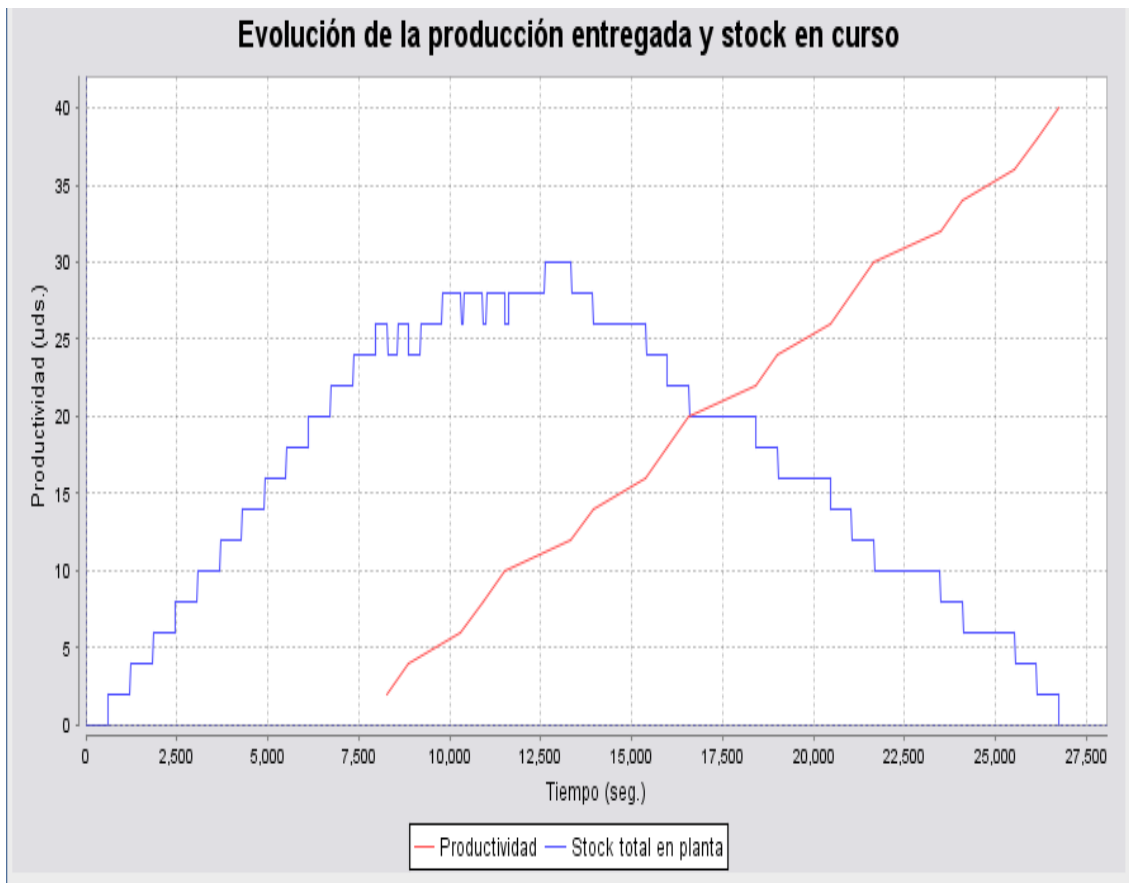


Figura 3.20. Gráfico de evolución de la producción entregada y stock en curso del segundo diseño para un lote de producción de 40 unidades para la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas en Diseño procesos Diag OT (Java).

3.3 EVALUACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

3.3.1 RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA VARIABLE DE DUREZA

Para determinar la dureza del material de fricción en las pastillas de freno con respaldo metálico para motocicletas se ensayó según la norma NTE INEN 2185 realizada en los laboratorios de control de calidad de la empresa productora de frenos.

En la Tabla 3.12 se presenta los resultados de los tratamientos para la variable dureza con tres repeticiones.

Tabla 3.12. Resultados de la variable dureza medidos con una carga nominal menor de 14,7 kN y una carga mayor 29,4 kN y un diámetro del penetrador de 25,4 mm

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (G B S)
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	18,4
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	18,9
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	21,5
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	21,1
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	22,2
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	19,3
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	34,1
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	19,7
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	18,6
10	MINERAL X 8 min X 6 min	18,7
11	MINERAL X 8 min X 10 min	19,9
12	MINERAL X 8 min X 12 min	22
13	MINERAL X 12 min X 6 min	15,6
14	MINERAL X 12 min X 10 min	19,1
15	MINERAL X 12 min X 12 min	35,5
16	MINERAL X 16 min X 6 min	21,1

Tabla 3.12. Resultados de la variable dureza medidos con una carga nominal menor de 14,7 kN y una carga mayor 29,4 kN y un diámetro del penetrador de 25,4 mm (continuación)

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (G B S)
17	MINERAL X 16 min X 10 min	33,5
18	MINERAL X 16 min X 12 min	35,6
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	18,7
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	18,8
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	18,8
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	19,3
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	20
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	19
25	CERAMICO X 16 min X 6 min	20,1
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	17,7
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	18,9

En el procesamiento de la variable dureza se requirió establecer un tratamiento con la mejor combinación y efecto individual de las tres condiciones, lo cual se estableció con ayuda del diseño experimental propuesto, el análisis de los datos del experimento se realizó en el *software* estadístico MINITAB.

Los registros relativos a la variable dureza se muestran en el Anexo III además presenta los promedios correspondientes a la dureza.

La Tabla 3.13 muestra el análisis estadístico para dureza en MINITAB

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA del *software* MINITAB permiten conocer cuál es el efecto de cada uno de los factores en estudio sobre la variable respuesta Dureza. Mediante del valor P (existe significancia estadística sobre la variable dependiente cuando $P < 0,05$) se pueden observar que el material, tiempo de prensado y tiempo de curado (factores analizados en el modelo propuestos) tienen significancia estadístico sobre la dureza, de manera que el valor de esta fuerza es altamente dependiente a las condiciones citadas.

Tabla 3.13. Esquema del ANOVA para Dureza en el diseño multifactorial 3x3x3

Fuente	SC	GL	MC	F	P
Material	413,59	2	206,79	25,54*	0
Tiempo de Presión	326,80	2	163,40	20,18*	0
Tiempo de Curado	96,96	2	48,48	5,99*	0,004
M x P	231,23	4	57,81	7,14*	0
M x T	740,09	4	185,02	22,85*	0
P x T	100,35	4	25,01	3,10*	0
M x P x T	610,13	8	76,27	9,42*	0,023
Error	437,25	54	8,10		
Total	2956,41	80			

*Significativo

En la Figura 3.21 se representa los efectos principales de forma individual de los factores en estudio.

Con base en el análisis de varianza ANOVA se determinó que el factor Material (ORGANICO, MINERAL Y CERAMICO), tiene significancia estadística sobre la variable de respuesta Dureza, el nivel con la mayor respuesta es el nivel MINERAL con 24,56 y el nivel con la menor respuesta es CERAMICO con 19,03 como se observa en la Figura 3.21

Para el análisis de varianza ANOVA del factor Tiempo de Presión (8, 12, 16), tiene significancia estadística sobre la variable Dureza, el nivel que presentó la mayor respuesta es el nivel 16 min con 24,36 y el nivel con la menor respuesta es el nivel 8 min con 19,51 como se observa en la Figura 3.21.

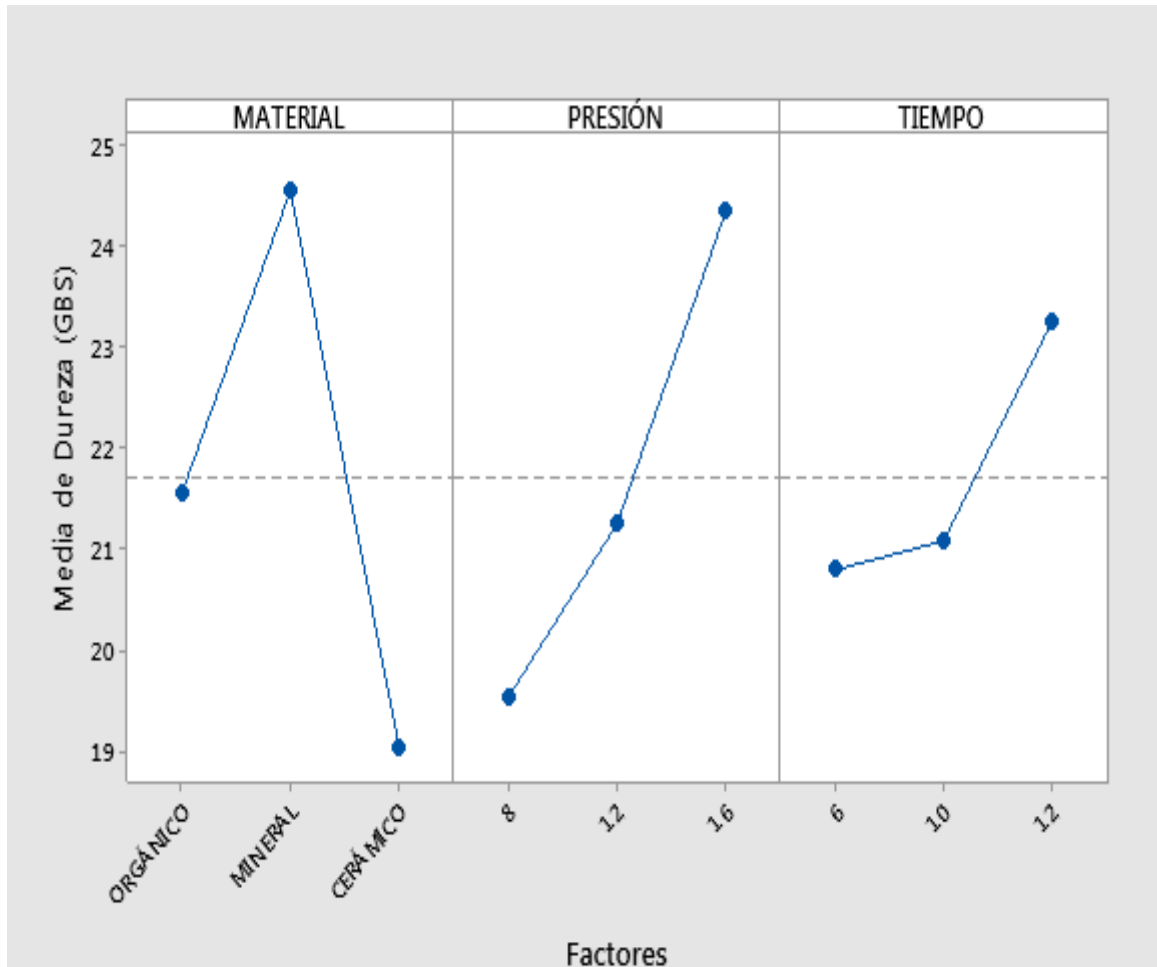


Figura 3.21. Efectos principales de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Dureza obtenido en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB

En la Tabla 3.13 en el análisis de varianza ANOVA para el factor Tiempo de Curado (6, 10, 12,) con un nivel de significancia de $P < 0,05$ se determinó que este factor tiene significancia estadística sobre la variable de respuesta Dureza, determinando el nivel con mayor respuesta es el nivel 12 min con 23,23 y el nivel con la menor respuesta es 6 min con 20,77 como se observa en la Figura 3.21

En la Figura 3.22 se representa los efectos principales de las interacciones de los factores en estudio.

El estudio del efecto de las interacciones del material y el tiempo de presión en la variable respuesta del modelo propuesto en esta investigación es fundamental

puesto que el análisis de varianza ANOVA mediante la significancia estadística establece la dependencia de la dureza con respecto a cada valor mencionado. En la Figura 3.22 se muestra el efecto mencionado de esta interacción, con la mayor respuesta las interacciones de los niveles MINERAL y 16 min con 30,07 y la menor respuesta las interacciones CERAMICA y 8 min con 18,89.

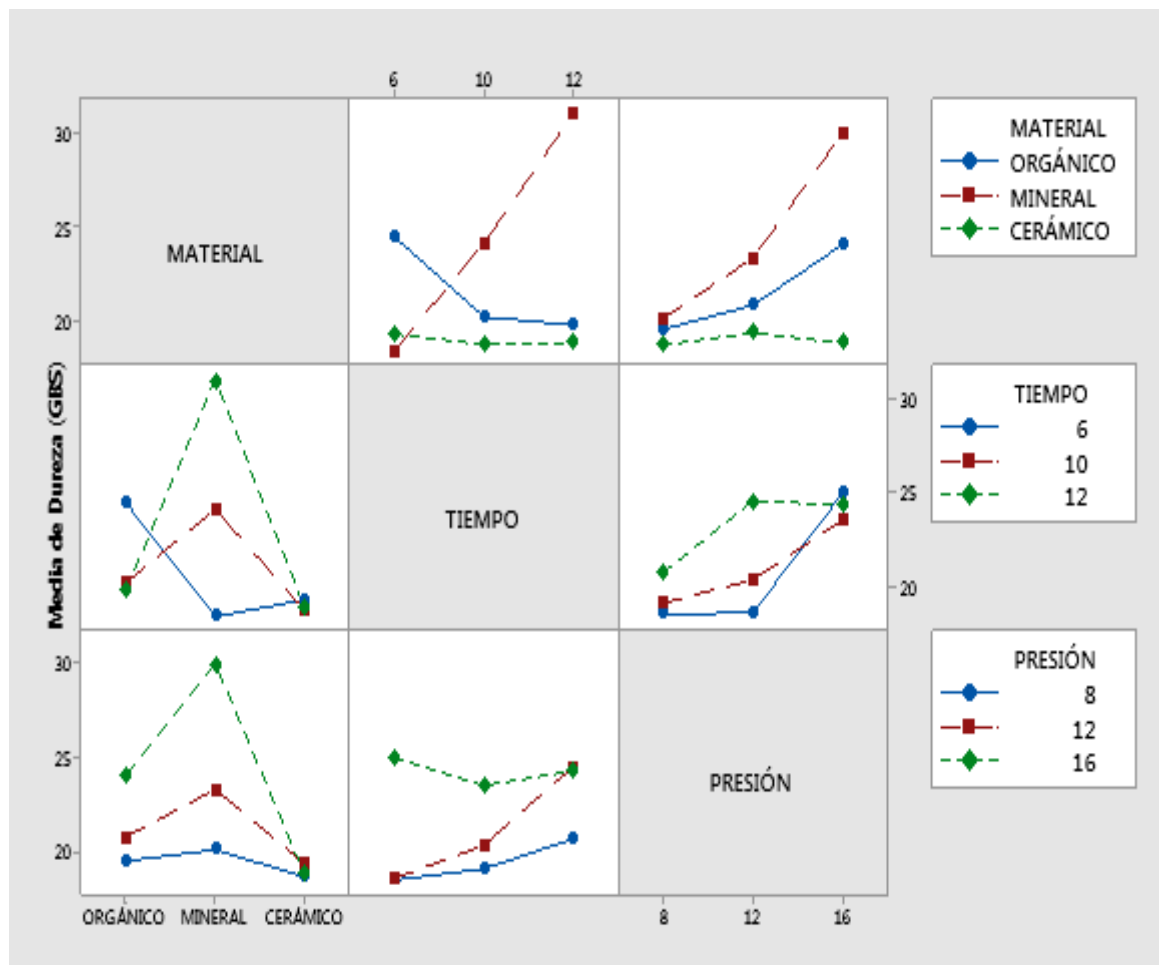


Figura 3.22. Efectos principales de las interacciones de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Dureza obtenido en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB

En la interacción de los factores material y tiempo de curado en la variable de respuesta Dureza, el análisis de varianza ANOVA mediante la significancia estadística establece la dependencia de la dureza con respecto a cada factor mencionado. La interacción con la mayor respuesta es MINERAL y 12 min con

31,02 y la menor respuesta las interacciones CERAMICA y 10 min con 18,91 como se observa en la Figura 3.22.

Para la interacción de los factores tiempo de prensado y tiempo de curado en la variable de respuesta Dureza, el análisis de varianza ANOVA mediante la significancia estadística establece la dependencia de la dureza con respecto a cada factor mencionado. La interacción con la mayor respuesta es 16 min y 6 min con 25,07 y la menor respuesta las interacciones 8 min y 6 min con 18,58 como se observa en la Figura 3.22.

La comparación entre los valores anotados determinó que las medias de los tratamientos estadísticamente difirieron de manera significativa ($p < 0,005$). Por lo tanto, puede concluirse que alguna de las medias difiere significativamente.

Debido a que existió diferencia significativa, se aplicó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para la separación de medias. Los resultados de la prueba se exponen en la Tabla 3.14 junto con los resultados de dureza.

Tabla 3.14 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para dureza

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA	Rango	
			1	2
		GBS		
18	MINERAL X 16 min X 12 min	35,6	A	
15	MINERAL X 12 min X 12 min	35,5	A	
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	34,1	A	
17	MINERAL X 16 min X 10 min	33,5	A	
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	22,2	B	
12	MINERAL X 8 min X 12 min	22	B	
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	21,5	B	
16	MINERAL X 16 min X 6 min	21,1	B	
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	21,1	B	
25	CERAMICO X 16 min X 10 min	17,7	B	
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	20	B	
11	MINERAL X 8 min X 10 min	19,9	B	

Tabla 3.14 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para dureza
(continuación)

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA	Rango
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	19,7	B
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	19,3	B
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	19,3	B
14	MINERAL X 12 min X 10 min	19,1	B
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	19	B
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	18,9	B
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	18,9	B
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	18,8	B
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	18,8	B
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	18,7	B
10	MINERAL X 8 min X 6 min	18,7	B
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	18,6	B
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	18,4	B
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	17,7	B
13	MINERAL X 12 min X 6 min	15,6	B

Valor de Tukey = 6,59 ($p > 0,05$)

En la Tabla 3.14, muestra a los tratamientos ordenados de mayor a menor dureza. Se aprecia que existieron 2 rangos estadísticos representados en la tabla mediante letras minúsculas. En este caso 2 o más medidas que comparten la misma letra, no presentaron diferencias, estadísticamente, significativas.

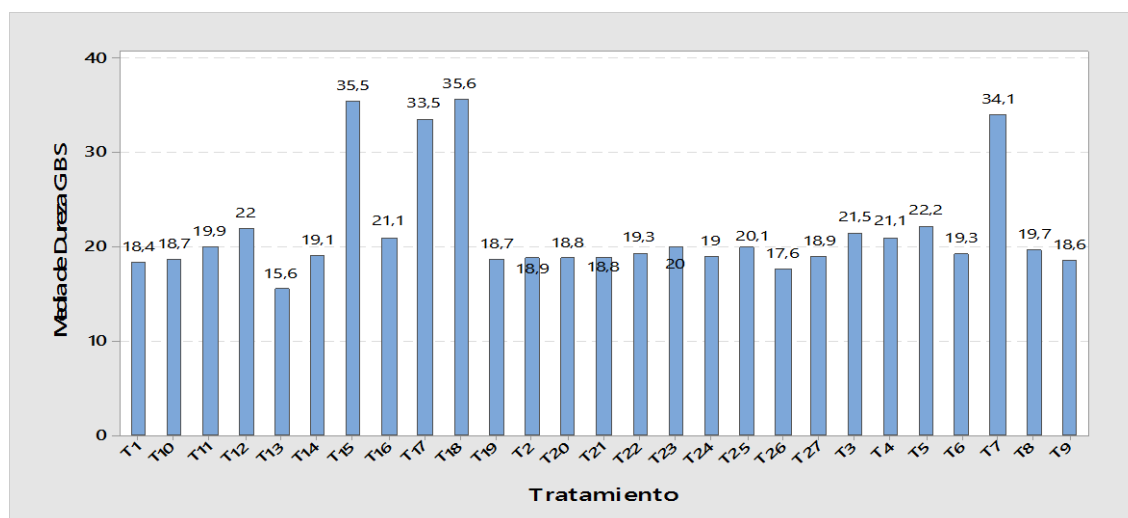


Figura 3.23. Efectos principales de los tratamientos entre los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Dureza

En la Tabla 3.14, se observa que el mejor grupo, de acuerdo con la dureza es el tratamiento T18 (MINERAL x 16 min x 12 min) con 35,6, cabe destacar que la dureza de los tratamientos T15, T7 y T17 son similares al tratamiento T18 como se observa en la Figura 3.23.

3.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA VARIABLE DE SALIDA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Para determinar la gravedad específica del material de fricción en las pastillas de freno con respaldo metálico para motocicletas se ensayó según la norma NTE INEN 2185 realizada en los laboratorios de control de calidad de la empresa formuladora y fabricante de frenos automotrices.

En la Tabla 3.15, se presenta los resultados de los tratamientos para la variable gravedad específica con tres repeticiones.

Tabla 3.15. Resultados de la variable gravedad específica en la interacción de los factores de estudio material, tiempo de presión y tiempo de curado

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (g/cm ³)
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	1
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	0,91
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	1,41
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	1,31
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	1,33
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	1,43
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	0,91
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	1,06
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	1,37
10	MINERAL X 8 min X 6 min	1,48
11	MINERAL X 8 min X 10 min	1,49
12	MINERAL X 8 min X 12 min	1,3
13	MINERAL X 12 min X 6 min	1,48
14	MINERAL X 12 min X 10 min	1,56

Tabla 3.15. Resultados de la variable gravedad específica en la interacción de los factores de estudio material, tiempo de presión y tiempo de curado (continuación)

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (g/cm ³)
15	MINERAL X 12 min X 12 min	1,31
16	MINERAL X 16 min X 6 min	1,2
17	MINERAL X 16 min X 10 min	1,44
18	MINERAL X 16 min X 12 min	1,15
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	1,39
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	1,56
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	1,39
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	1,34
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	1,68
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	1,43
25	CERAMICO X 16 min X 6 min	1,26
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	1,22
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	1,66

En el procesamiento de la variable gravedad específica se requirió establecer un tratamiento con la mejor combinación y efecto individual de las tres condiciones, lo cual se estableció gracias al diseño experimental propuesto, el análisis de los datos del experimento se realizó en el *software* estadístico MINITAB.

Los registros relativos a la variable gravedad específica se muestran en los Anexos IV además se presenta los promedios correspondientes a la variable de salida gravedad específica.

La Tabla 3.16 muestra el análisis estadístico para gravedad específica en MINITAB.

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA del *software* MINITAB permiten conocer cuál es el efecto de cada uno de los factores en estudio sobre la variable respuesta Gravedad específica. Mediante del valor P (no existe significancia estadística sobre la variable dependiente cuando $P < 0,05$) se pueden observar que el material, tiempo de prensado y tiempo de curado (factores analizados en el modelo propuestos) no tienen significancia estadístico sobre la

gravedad específica, de manera que el valor de esta fuerza no es dependiente a las condiciones citadas.

Tabla 3.16. Esquema del ANOVA para gravedad específica en el diseño multifactorial 3x3x3

Fuente	SC	GL	MC	F	P
Material	0,4196	2	0,20980	1,97 ^{ns}	0,150
Tiempo de Presión	0,4232	2	0,21158	1,98 ^{ns}	0,147
Tiempo de Curado	0,2158	2	0,10788	1,01 ^{ns}	0,370
M x P	0,2979	4	0,07447	0,70 ^{ns}	0,596
M x T	0,1403	4	0,03508	0,33 ^{ns}	0,857
P x T	0,2515	4	0,06288	0,59 ^{ns}	0,671
M x P x T	0,5624	8	0,07030	0,66 ^{ns}	0,724
Error	5,7575	54	0,10662		
Total	8,0682	80			

^{ns} No significativo

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA del *software* MINITAB permiten conocer cuál es el efecto de cada uno de los factores en estudio sobre la variable respuesta Gravedad específica. Mediante del valor P (no existe significancia estadística sobre la variable dependiente cuando $P < 0,05$) se pueden observar que el material, tiempo de prensado y tiempo de curado (factores analizados en el modelo propuestos) no tienen significancia estadístico sobre la gravedad específica, de manera que el valor de esta fuerza no es dependiente a las condiciones citadas.

En la Figura 3.24 se representan los efectos principales de forma individual de los factores en estudio.

Con base en el análisis de varianza ANOVA se determinó que el factor Material (ORGANICO, MINERAL Y CERAMICO), no tiene significancia estadística sobre la variable de respuesta Gravedad específica, se revisó el nivel con el mayor

respuesta es el nivel ORGANICO con 1,42 y el nivel con la menor respuesta es MINERAL con 1,25 como se observa en la Figura 3.24.

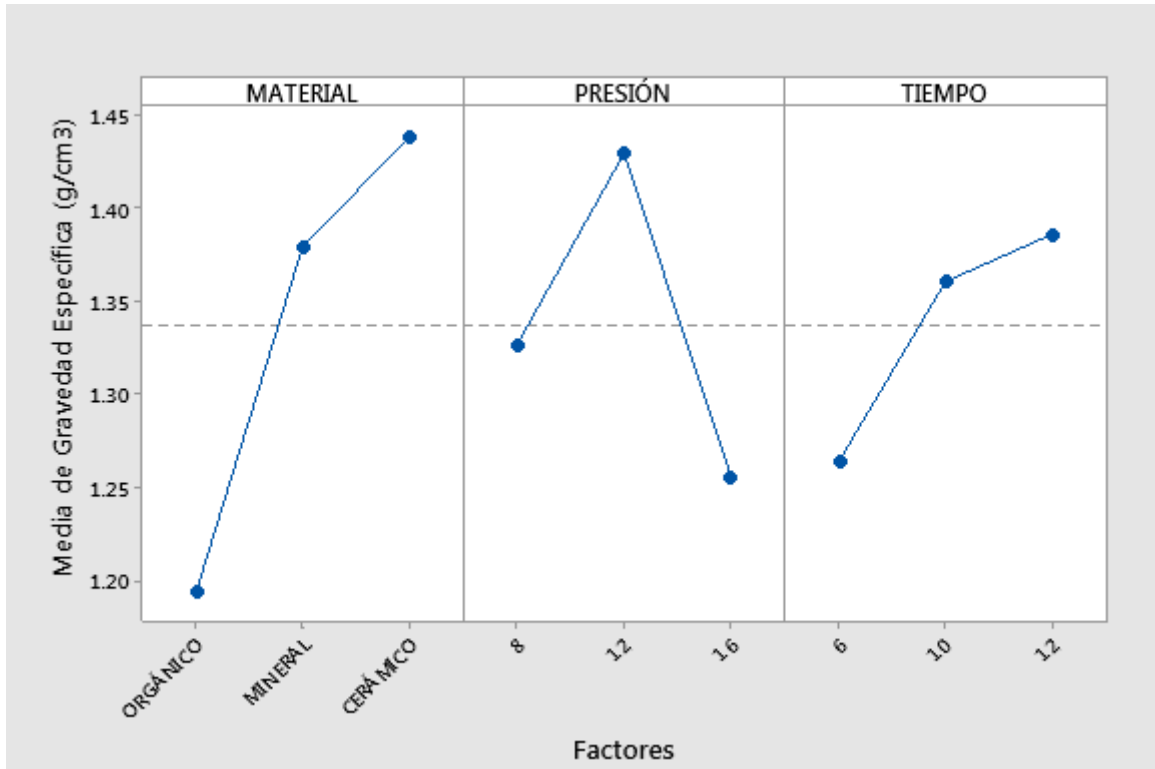


Figura 3.24. Efectos principales de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Gravedad específica obtenida en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB

Con base en el análisis de varianza ANOVA se determinó que el factor Material (ORGANICO, MINERAL Y CERAMICO), no tiene significancia estadística sobre la variable de respuesta Gravedad específica, se revisó el nivel con el mayor respuesta es el nivel ORGANICO con 1,42 y el nivel con la menor respuesta es MINERAL con 1,25 como se observa en la Figura 3.24.

Para el análisis de varianza ANOVA del factor Tiempo de Presión (8, 12, 16), no tiene significancia estadística sobre la variable Gravedad específica, el nivel que presento la mayor respuesta es el nivel 12 min con 1,43 y el nivel con la menor respuesta es el nivel 16 min con 1,25 como se observa en la Figura 3.24.

En la Tabla 3.16 en el análisis de varianza ANOVA para el factor Tiempo de Curado (6, 10, 12,) con un nivel de significancia de $P < 0,05$ se determinó que este factor no tiene significancia estadística sobre la variable de respuesta Gravedad específica, determinando el nivel con mayor respuesta es el nivel 12 min con 1,38 y el nivel con la menor respuesta es 6 min con 1,26 como se observa en la Figura 3.25.

En la Figura 3.25 se representa los efectos principales de las interacciones de los factores en estudio.

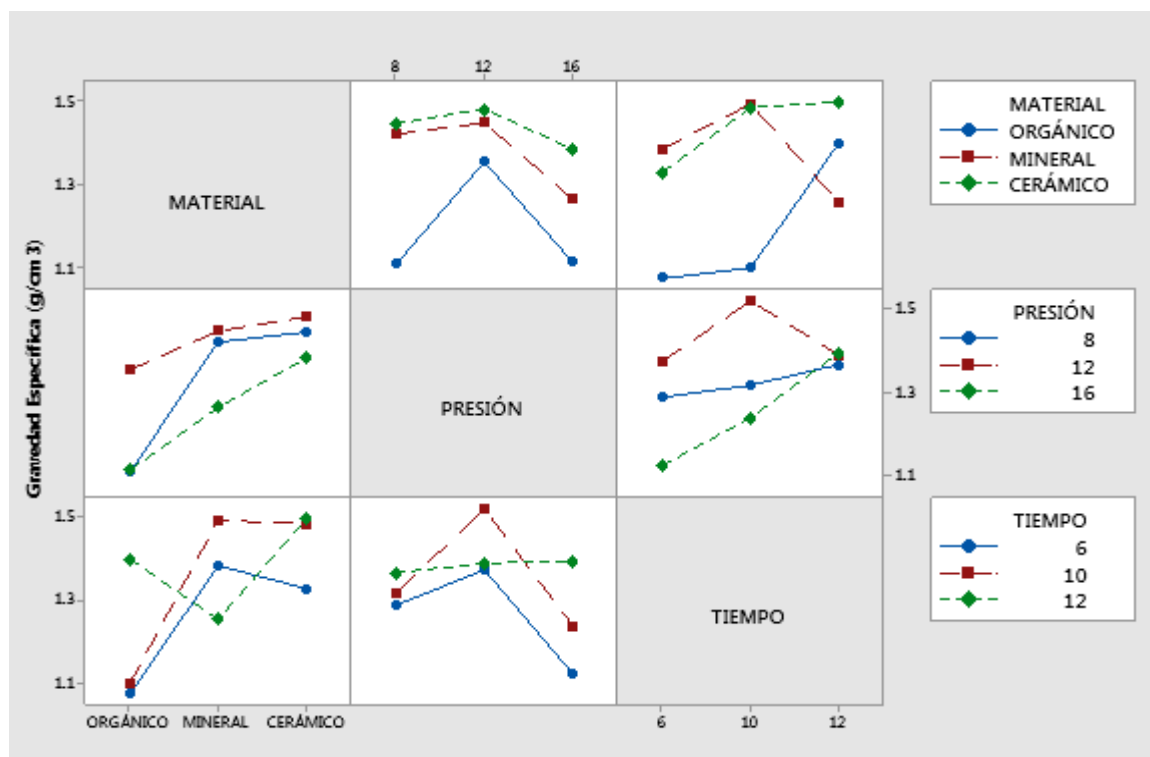


Figura 3.25. Efectos principales de las interacciones de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Gravedad específica obtenida en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB

El estudio del efecto de las interacciones del material y el tiempo de presión en la variable respuesta del modelo propuesto en esta investigación mediante el análisis de varianza ANOVA determinó la no significancia estadística con lo cual la interacción mencionada no afecta al valor de gravedad específica con respecto a cada valor mencionado. En la Figura 3.25 se muestra el efecto mencionado de

esta interacción. Las interacciones con las mayores respuestas son ORGANICO y 12 min con 1,49 y CERAMICA y 12 min con 1,48, la menor respuesta las interacciones MINERAL y 16 min con 1,09 como se observa en la Figura 3.25.

En la interacción de los factores material y tiempo de curado en la variable de respuesta gravedad específica, el análisis de varianza ANOVA mediante la no significancia estadística establece la no dependencia de la gravedad específica con respecto a cada factor mencionado. Las interacciones con las mayores respuestas son ORGANICO y 12 min con 1,51, la menor respuesta las interacciones CERAMICO y 6 min con 1,23 como se observa en la Figura 3.26.

Para la interacción de los factores tiempo de prensado y tiempo de curado en la variable de respuesta gravedad específica, el análisis de varianza ANOVA mediante la no significancia estadística establece que no hay diferencia sobre la gravedad específica con respecto a cada factor mencionado. La interacción con la mayor respuesta es 12 min y 10 min con 1,52 y la menor respuesta las interacciones 16 min y 6 min con 1,13 como se observa en la Figura 3.26.

En la Figura 3.26 se representa el efecto de los tratamientos en estudio

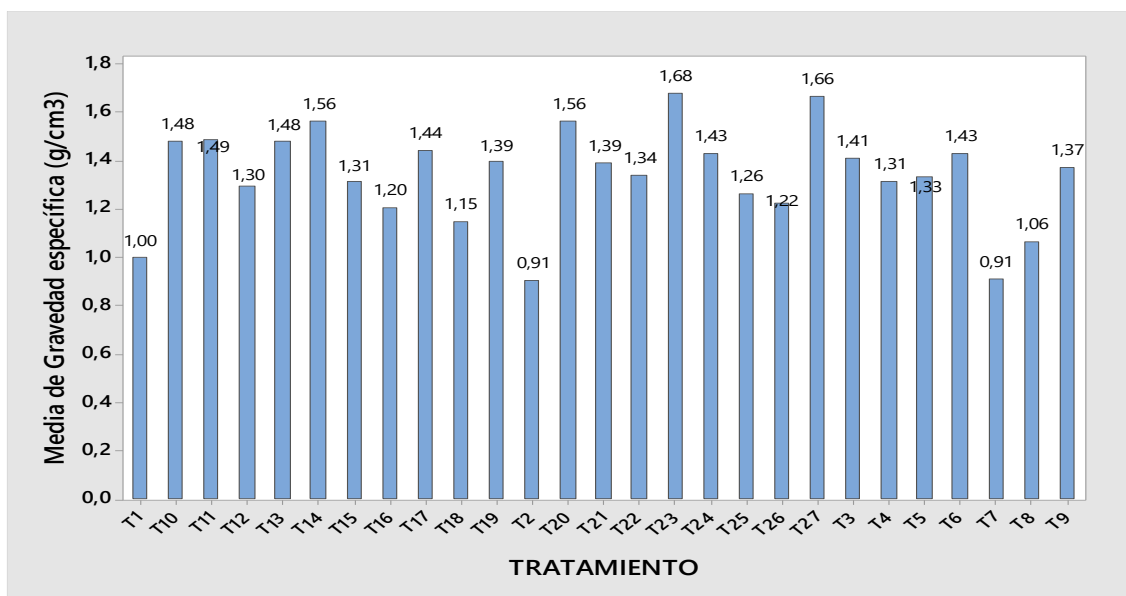


Figura 3.26. Efectos principales de los tratamientos entre los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Gravedad específica

3.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA VARIABLE DE SALIDA COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Para determinar el coeficiente de fricción del material de fricción en las pastillas de freno con respaldo metálico para motocicletas se ensayó según la norma NTE INEN 2185 realizada en los laboratorios de control de calidad de la empresa formuladora y fabricante de frenos.

En el procesamiento de la variable de respuesta coeficiente de fricción se requirió establecer un tratamiento con la mejor combinación y efecto individual de las tres condiciones, lo cual se estableció gracias al diseño experimental propuesto, el desarrollo del experimento se realizó en el *software* estadístico MINITAB.

Los registros relativos a la variable de respuesta coeficiente de fricción se muestran en los anexos V también se presenta los promedios correspondientes al coeficiente de fricción.

En la Tabla 3.17 se presenta los resultados de los tratamientos para la variable de respuesta coeficiente de fricción con tres repeticiones.

La comparación entre los valores anotados determinó que las medias de los tratamientos estadísticamente no difirieron de manera significativa ($p < 0,005$). Por lo tanto, puede concluirse que las medias son iguales.

Tabla 3.17. Resultados de la variable coeficiente de fricción en la interacción de los factores de estudio material, tiempo de presión y tiempo de curado

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (<i>u</i>)
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	0,05
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	0,06
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	0,13
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	0,09
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	0,11
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	0,16
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	0,10
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	0,10
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	0,23
10	MINERAL X 8 min X 6 min	0,11
11	MINERAL X 8 min X 10 min	0,15
12	MINERAL X 8 min X 12 min	0,15
13	MINERAL X 12 min X 6 min	0,13
14	MINERAL X 12 min X 10 min	0,18
15	MINERAL X 12 min X 12 min	0,26
16	MINERAL X 16 min X 6 min	0,15
17	MINERAL X 16 min X 10 min	0,20
18	MINERAL X 16 min X 12 min	0,32
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	0,09
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	0,14
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	0,18
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	0,15
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	0,08
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	0,19
25	CERAMICO X 16 min X 6 min	0,12
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	0,13
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	0,23

La Tabla 3.18 muestra el análisis estadístico para gravedad específica en MINITAB

Tabla 3.18. Esquema del ANOVA para coeficiente de fricción en el diseño multifactorial 3x3x3

Fuente	SC	GL	MC	F	P
Material	0,013874	2	0,006937	1,45 ^{ns}	0,244
Tiempo de Presión	0,042363	2	0,021181	4,43*	0,017
Tiempo de Curado	0,135252	2	0,067626	4,14*	0,00
M x P	0,015741	4	0,003935	0,82 ^{ns}	0,517
M x T	0,004052	4	0,001013	0,21 ^{ns}	0,931
P x T	0,018474	4	0,062880	0,97 ^{ns}	0,434
M x P x T	0,082733	8	0,004619	2,16*	0,045
Error	0,258333	54	0,004784		
Total	0,570822	80			

^{ns} No significativo

*Significativo

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza ANOVA del *software* MINITAB permiten conocer cuál es el efecto de cada uno de los factores en estudio sobre la variable respuesta coeficiente de fricción. Mediante del valor P (no existe significancia estadística sobre la variable dependiente cuando $P < 0,05$) para el factor material se pueden observar el valor de p de 0,244 lo que indica que no hay significancia estadística, en cambio para los factores tiempo de prensado y tiempo de curado los valores de p son 0,017 y 0,000 respectivamente existe significancia estadística, los dos factores mencionados tienen significancia estadístico sobre el coeficiente de fricción, de manera que el valor de esta fuerza es dependiente a las dos condiciones citadas.

Con base en el análisis de varianza ANOVA se determinó que el factor Material (ORGANICO, MINERAL Y CERAMICO), no tiene significancia estadística sobre la variable de respuesta coeficiente de fricción, se revisó el nivel con el mayor respuesta es el nivel CERAMICO con 0,17 y el nivel con la menor respuesta es MINERAL con 1,14 como se observa en la Figura 3.27

Para el análisis de varianza ANOVA del factor Tiempo de Presión (8, 12, 16), tiene significancia estadística sobre la variable coeficiente de fricción, el nivel que presento la mayor respuesta es el nivel 16 min con 0,18 y el nivel con la menor respuesta es el nivel 8 min con 0,12 como se observa en la Figura 3.27

En la Tabla 3.18 en el análisis de varianza ANOVA para el factor Tiempo de Curado (6, 10, 12,) con un nivel de significancia de $P < 0,05$ se determinó que este factor tiene significancia estadística sobre la variable de respuesta coeficiente de fricción, determinando el nivel con mayor respuesta es el nivel 12 min con 0,21 y el nivel con la menor respuesta es 6 min con 0,11 como se observa en la Figura 3.27

En la Figura 3.27 se representa los efectos principales de forma individual de los factores en estudio sobre la variable de respuesta,

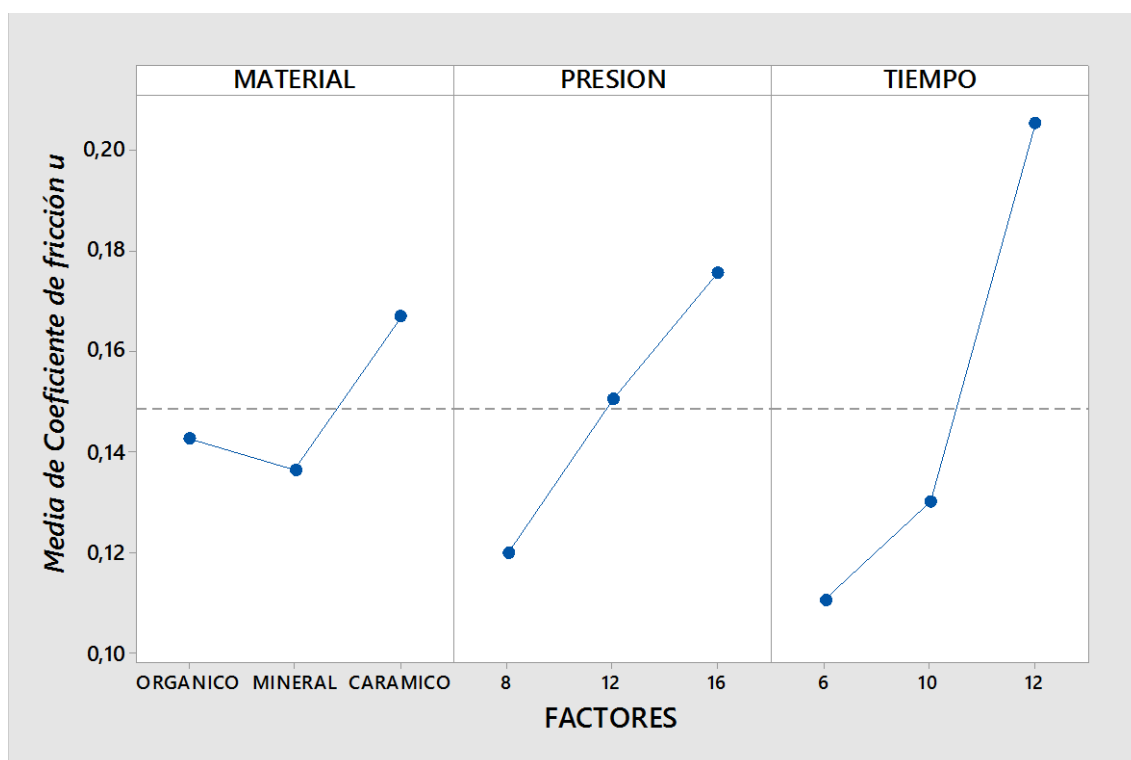


Figura 3.27. Efectos principales de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta Gravedad específica obtenida en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB

El estudio del efecto de las interacciones del material y el tiempo de presión en la variable respuesta del modelo propuesto en esta investigación mediante el análisis de varianza ANOVA determinó la no significancia estadística con lo cual la interacción mencionada no afecta al valor de coeficiente de fricción con respecto a cada valor mencionado. En la Figura 3.28 se muestra el efecto mencionado de esta interacción. Las interacciones con las mayores respuestas son CERAMICO y 16 min con 0,20 y ORGANICO y 8 min con 0,11, la menor respuesta las interacciones MINERAL y 16 min con 1,09 como se observa en la Figura 3.28

En la interacción de los factores material y tiempo de curado en la variable de respuesta coeficiente de fricción, el análisis de varianza ANOVA mediante la no significancia estadística establece la no dependencia del coeficiente de fricción con respecto a cada factor mencionado. Las interacciones con las mayores respuestas son CERAMICO y 12 min con 0,22, la menor respuesta las interacciones ORGANICO y 6 min con 0,10 como se observa en la Figura 3.28.

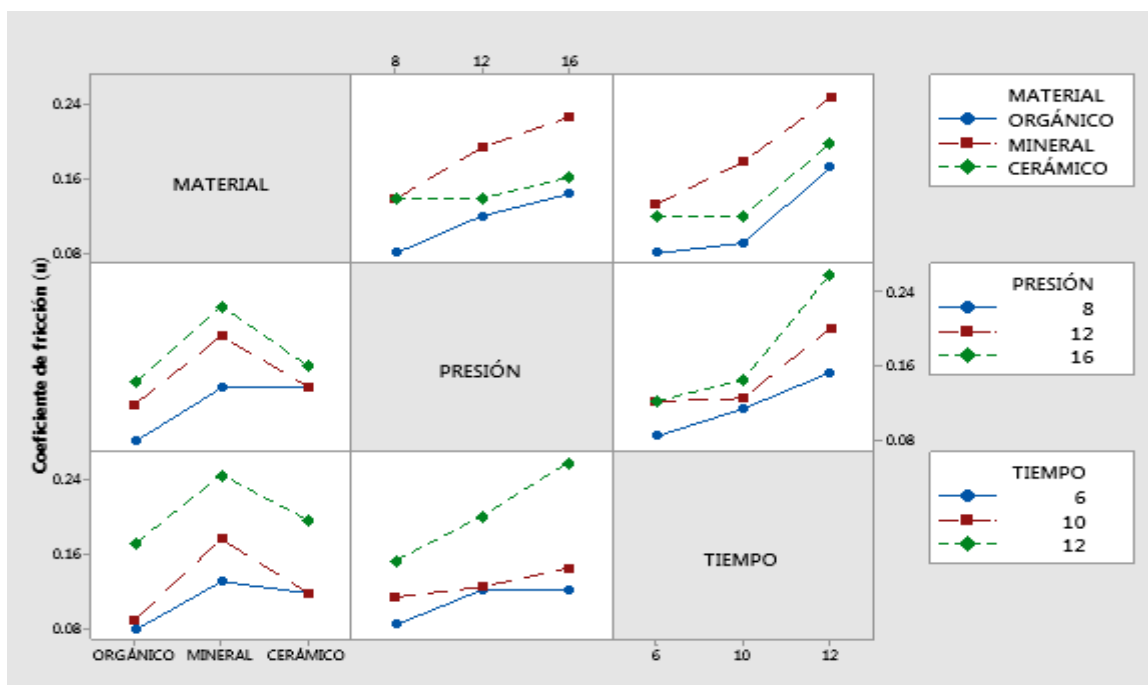


Figura 3.28. Efectos principales de las interacciones de los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta coeficiente de fricción obtenida en estadísticas ANOVA para tres factores en MINITAB

Para la interacción de los factores tiempo de prensado y tiempo de curado en la variable de respuesta coeficiente de fricción, el análisis de varianza ANOVA mediante la no significancia estadística establece que no hay diferencia sobre el coeficiente de fricción con respecto a cada factor mencionado. La interacción con la mayor respuesta es 16 min y 12 min con 0,26 y la menor respuesta las interacciones 8 min y 6 min con 0,08 como se observa en la Figura 3.28.

La comparación entre los valores anotados en las interacciones de los tres factores determinó que las medias de los tratamientos estadísticamente difirieron de manera significativa ($p < 0,005$). Por lo tanto, puede concluirse que alguna de las medias difiere significativamente.

Debido a que existió diferencia significativa, se aplicó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para la separación de medias. Los resultados de la prueba se exponen en la Tabla 3.20 junto con los resultados de coeficiente de fricción.

Tabla 3.19 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para coeficiente de fricción.

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA	Rango
		<i>u</i>	1 2 3
18	MINERAL X 16 min X 12 min	0,32	A
15	MINERAL X 12 min X 12 min	0,26	Ab
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	0,23	Ab
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	0,23	Ab
17	MINERAL X 16 min X 10 min	0,2	Ab
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	0,19	Ab
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	0,18	Ab
14	MINERAL X 12 min X 10 min	0,18	Ab
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	0,16	Ab
12	MINERAL X 8 min X 12 min	0,15	Ab
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	0,15	Ab

Tabla 3.19 Resultados de la prueba de Tukey al 5% de probabilidad para coeficiente de fricción. (continuación)

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA	Rango
16	MINERAL X 16 min X 6 min	0,15	Ab
11	MINERAL X 8 min X 10 min	0,15	Ab
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	0,14	Ab
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	0,13	Ab
13	MINERAL X 12 min X 6 min	0,13	Ab
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	0,13	ab
25	CERAMICO X 16 min X 10 min	0,12	ab
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	0,11	ab
10	MINERAL X 8 min X 6 min	0,11	ab
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	0,1	ab
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	0,1	ab
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	0,09	ab
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	0,09	ab
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	0,08	b
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	0,06	b
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	0,05	b

Valor de Tukey = 0,1654 ($p > 0,05$)

En la Tabla 3.19, muestra a los tratamientos ordenados de mayor a menor coeficiente de fricción. Se aprecia que existieron 3 rangos estadísticos representados en la tabla mediante letras minúsculas. En este caso 2 o más medidas que comparten la misma letra, no presentaron diferencias, estadísticamente, significativas en cambio las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En la Tabla 3.19, se observa que la mejor interacción, de acuerdo la variable de respuesta coeficiente de fricción es el tratamiento T18 (MINERAL x 16 min x 12 min) con 0,32, en el segundo rango con las mayores respuestas se observa a los tratamientos T15 (MINERAL x 12 min x 12 min), T27 (CERAMICO x 16 min x 12 min) y T9 (ORGANICO x 16 min x 12 min) con 0,26, 0,23 y 0,23, en el tercer

rango se observa los tratamientos con las menores respuestas como se observa en la Figura 3.29.

Las especificaciones técnicas para material de fricción según la empresa EGAR S.A., para el coeficiente de fricción, sus productos superan el 0,36, se observó que ningún tratamiento llega o supera este valor.

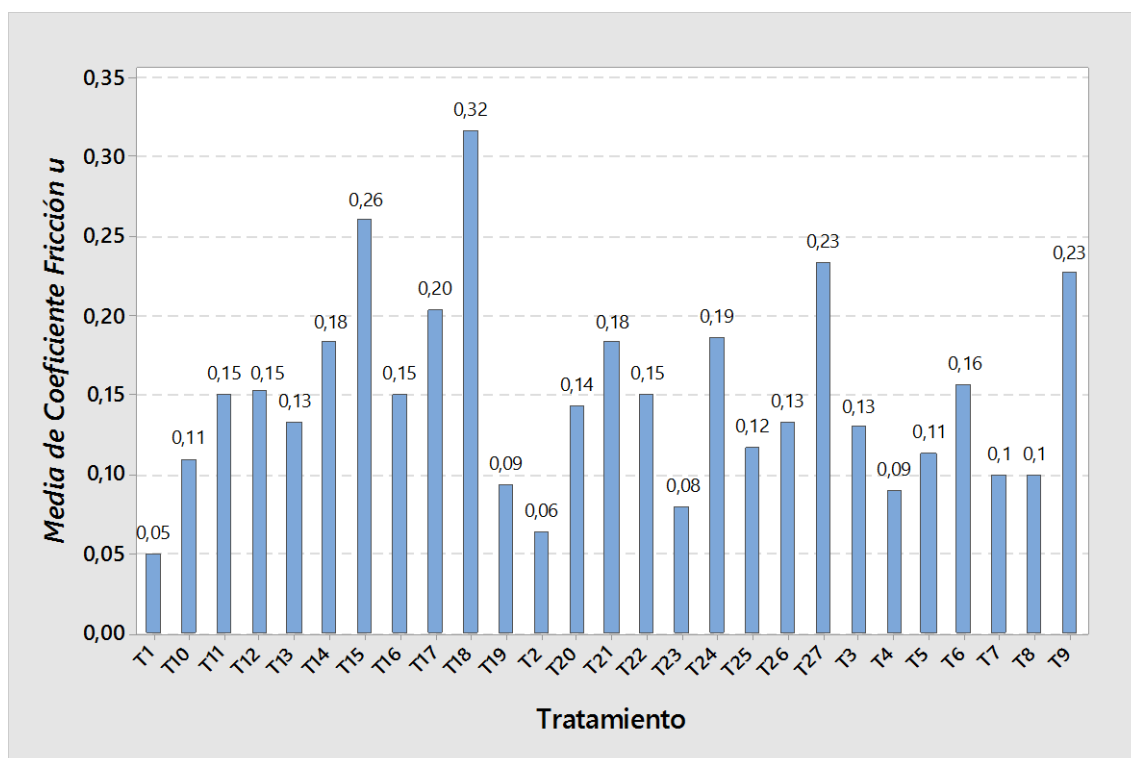


Figura 3.29. Efectos principales de los tratamientos entre los factores Material, Tiempo de Prensado y Tiempo de Curado, sobre la variable de respuesta coeficiente de fricción

3.3.4 EVALUACIÓN GENERAL DEL EXPERIMENTO

Los datos relativos a las variables de respuesta dureza, gravedad específica y coeficiente de fricción evaluados en un diseño factorial 3 x 3 x 3 se presentan en la Tabla 3.20

Tabla 3.20 Resultados promedio de las variables, dureza, gravedad específica y coeficiente de fricción en la interacción de los factores de estudio material, tiempo de presión y tiempo de curado

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	DUREZA ⁽¹⁾	Gravedad específica	Coefficiente de fricción ⁽²⁾
		(G B S)	(g/cm ³)	<i>u</i>
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	18,4 ^b	1,00	0,05 ^b
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	18,9 ^b	0,91	0,06 ^b
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	21,5 ^b	1,41	0,13 ^{ab}
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	21,1 ^b	1,31	0,09 ^{ab}
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	22,2 ^b	1,33	0,11 ^{ab}
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	19,3 ^b	1,43	0,16 ^{ab}
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	34,1 ^a	0,91	0,10 ^{ab}
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	19,7 ^b	1,06	0,10 ^{ab}
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	18,6 ^b	1,37	0,23 ^{ab}
10	MINERAL X 8 min X 6 min	18,7 ^b	1,48	0,11 ^{ab}
11	MINERAL X 8 min X 10 min	19,9 ^b	1,49	0,15 ^{ab}
12	MINERAL X 8 min X 12 min	22,0 ^b	1,30	0,15 ^{ab}
13	MINERAL X 12 min X 6 min	15,6 ^b	1,48	0,13 ^{ab}
14	MINERAL X 12 min X 10 min	19,1 ^b	1,56	0,18 ^{ab}
15	MINERAL X 12 min X 12 min	35,5 ^a	1,31	0,26 ^{ab}
16	MINERAL X 16 min X 6 min	21,1 ^b	1,20	0,15 ^{ab}
17	MINERAL X 16 min X 10 min	33,5 ^a	1,44	0,20 ^{ab}
18	MINERAL X 16 min X 12 min	35,6 ^a	1,15	0,32 ^a
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	18,7 ^b	1,39	0,09 ^{ab}
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	18,8 ^b	1,56	0,14 ^{ab}
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	18,8 ^b	1,39	0,18 ^{ab}
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	19,3 ^b	1,34	0,15 ^{ab}
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	20,0 ^b	1,68	0,08 ^b
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	19,0 ^b	1,43	0,19 ^{ab}
25	CERAMICO X 16 min X 6 min	20,1 ^b	1,26	0,12 ^{ab}
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	17,7 ^b	1,22	0,13 ^{ab}
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	18,9 ^b	1,66	0,23 ^{ab}

Medias seguidas de la misma letra no difieren significativamente ($p < 0,005$)

⁽²⁾Medias que no siguen la misma letra difieren significativamente ($p > 0,005$)

La Tabla 3.21 Ordenamiento de los tratamientos acuerdo al valor mayor o menor de las diferentes variables en estudios señalados en la Tabla 3.20.

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	DUREZA ⁽¹⁾	Gravedad específica	Coefficiente de fricción ⁽²⁾
MAYOR	MINERAL X 16 min X 12 min	T 18 ^a	T 23	T 18 ^a
	MINERAL X 12 min X 12 min	T 15 ^a	T 27	T 15 ^a
	CERAMICO X 16 min X 12 min	T 7 ^a	T 14	T 27 ^{ab}
	ORGANICO X 16 min X 12 min	T 17 ^a	T 20	T 9 ^{ab}
	MINERAL X 16 min X 10 min	T 5 ^b	T 11	T 17 ^{ab}
	CERAMICO X 12 min X 12 min	T 12 ^b	T 10	T 24 ^{ab}
	MINERAL X 12 min X 10 min	T 3 ^b	T 13	T 21 ^{ab}
	CERAMICO X 8 min X 12 min	T 16 ^b	T 17	T 14 ^{ab}
	ORGANICO X 12 min X 12 min	T 4 ^b	T 24	T 6 ^{ab}
	MINERAL X 8 min X 12 min	T 25 ^b	T 6	T 12 ^{ab}
	MINERAL X 16 min X 6 min	T 23 ^b	T 3	T 22 ^{ab}
	MINERAL X 8 min X 10 min	T 11 ^b	T 19	T 16 ^{ab}
	CERAMICO X 12 min X 6 min	T 8 ^b	T 21	T 11 ^{ab}
	CERAMICO X 8 min X 10 min	T 22 ^b	T 9	T 20 ^{ab}
	ORGANICO X 8 min X 12 min	T 6 ^b	T 22	T 26 ^{ab}
	CERAMICO X 16 min X 10 min	T 14 ^b	T 5	T 13 ^{ab}
	MINERAL X 12 min X 6 min	T 24 ^b	T 15	T 3 ^{ab}
	CERAMICO X 16 min X 6 min	T 27 ^b	T 4	T 25 ^{ab}
	ORGANICO X 12 min X 10 min	T 2 ^b	T 12	T 5 ^{ab}
	MINERAL X 8 min X 6 min	T 21 ^b	T 25	T 10 ^{ab}
	ORGANICO X 16 min X 6 min	T 20 ^b	T 26	T 8 ^{ab}
	ORGANICO X 16 min X 10 min	T 19 ^b	T 16	T 7 ^{ab}
	ORGANICO X 12 min X 6 min	T 10 ^b	T 18	T 19 ^{ab}
	CERAMICO X 8 min X 6 min	T 9 ^b	T 8	T 4 ^{ab}
	CERAMICO X 12 min X 10 min	T 1 ^b	T 1	T 23 ^b
	ORGANICO X 8 min X 10 min	T 26 ^b	T 2	T 2 ^b
MENOR	ORGANICO X 8 min X 6 min	T 13 ^b	T 7	T 1 ^b

3.4 EVALUACIÓN DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN PROPUESTAS

Para el análisis comparativo de las dos propuestas de diseños de procesos para la fabricación de pastillas de freno, se comparó los tiempos de ciclo totales para la fabricación de 80 unidades de producto terminado, la productividad de proceso, la evolución de los stocks de material en proceso. En la Tabla 3.22 se presentan los resultados de los dos diseños propuestos

Tabla 3.22. Resultados del primer y segundo diseño para la producción de pastillas de frenos simulado con el *software* Diseño procesos Diag.

Procesos para planta de Producción de Pastillas de frenos				
Producto: Pastillas de frenos para motos				
Métricas resultantes				
Métricas relevantes del diseño	1er Diseño	2do Diseño	-	-
Despilfarros	Resultados	Resultados	Diferencia	Diferencia
Tamaño del lote de producción	40,0	40,0	0	0,00%
Proceso: tiempo total de trabajo del proceso (VA + NVA)	1036,0	961,0	75	7,80%
Proceso: tiempo total de máquina (Proceso + Paros)	1944,0	1949,0	-5	-0,26%
Stock medio de materiales en proceso en toda la planta (WIP)	22,0	16,0	6	37,50%
Stock máximo en proceso (WIP) en un momento dado	40,0	30,0	10	33,33%
Esperas: Total tiempos de espera en puestos de trabajo [horas]	6,2	9,1	-2,84	-31,28%
Esperas: Paro procesos por preparaciones (misma producción total)	1680,0	1680,0	0	0,00%
Movimientos de personal y transportes movidos por personal	840,0	840,0	0	0,00%
Rechazos por calidad (promedio)	0,0	0,0	0	0,00%
Ocupación de espacio en planta	-	-	-	-
Eficiencia	-	-	-	-
Número de puestos de trabajo (finales tras la agrupación)	7,0	7,0	0	0,00%
Tiempo de trabajo extra por jornada	5,2	5,1	0,05	0,98%
Productividad: media de producto acabado por hora trabajada	1,5	1,5	0,01	0,66%
Lead Time total del lote de producción [horas]	10,0	7,4	2,57	34,64%
Lead Time total del primer lote de transferencia [horas]	5,1	2,3	2,84	124,02%

La productividad media de producto terminado del primer diseño es de 1,53 UN/hora, y la productividad del segundo diseño es de 1,52 UN/hora, con una diferencia de 0,01, lo que indica que no hay mucha variación entre los dos diseños.

El stock medio de materiales en proceso en toda planta para el primer diseño es de 22 unidades, para el segundo diseño el stock medio es de 16 unidades, con una diferencia de 6 unidades, siendo el segundo diseño más eficiente operando con un menor número de stock, al tener el segundo diseño un menor lote de transferencia en los primeros procesos no permite tiempos de espera prolongados de los semielaborados para la siguiente operación

3.5 DISCUSIÓN

3.5.1 DIAGRAMA HOMBRE-MÁQUINA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN

De los tres diagramas propuestos para las áreas de prensado, curado, pintura y embalaje, el tiempo de ciclo más largo corresponde al área de pintado y embalaje con 15 minutos como se puede observar en la Tabla 3.3 y el más corto con 12 minutos, seguido con 12.3 para el área de curado, el área con el mejor porcentaje de utilización de maquina es el área de prensado con 66% como se observa en la Tabla 3.1 y el área con el menor porcentaje es el área de pintura y empaque con 42 % seguido por el área de curado con 49%.

3.5.2 DISEÑO DE CENTROS Y PUESTOS DE TRABAJO

El diseño de la planta para la fabricación de pastillas de frenos se compone de 3 secciones principales que son la sección de logística compuesta del área de carga y descarga de materiales y producto terminado, el área del almacén, el acceso de vehículos y personas, otra sección es la de producción compuesta por el área de preparación de respaldos, prensado, curado, perfilado, cejado, pintura,

control de calidad y empaque, otra sección es la administrativa compuesta por el área de oficinas, en la Tabla 3.4 se detallan los 13 centros propuestos.

3.5.2.1 Matriz de eslabones para los centros propuestos

La matriz de eslabones nos permite visualizar las interacciones que existen entre los distintos centros y darles un peso, para los centros propuestos de la Tabla 3.4 y una producción propuesta de 80 juegos de pastillas de frenos se detallan 12 eslabones con pesos relevantes como se observa en la Figura 3.5.

3.5.2.2 Distribución en la red bidireccional de centros propuestos

De las tres distribuciones propuestas se evaluaron sus 12 eslabones relevantes dando la solución de distribución con el mejor resultado la solución 3 con 9 412,5 como se observa en la Tabla 3.5 y una distancia por recorrer de 39,5 m, seguida por la solución 1 con 10 015, 0 y una distancia por recorrer de 42 m la solución con el valor más alto es la solución 2 con 10 301,0 con una distancia por recorrer de 42 m, siendo la solución 3 la mejor distribución presentando la menor distancia por recorrer.

3.5.2.3 Cálculo del número de estaciones de trabajo para el área de producción

Para el cálculo del número de estaciones de la sección de producción se determinó una producción anual de 10 000 juegos de pastillas de frenos anuales se determinó 7 áreas de producción, para el área A (limpieza de respaldos) con 739 horas necesitando 1 estación de trabajo, para el área B (prensado) con 1 333 horas necesitando 1 estación de trabajo, para el área C (horno) con 4000 horas necesitando 3 estaciones de trabajo como se observa en la Tabla 3.7, para el área E (rectificado y cejado) con 1667 horas de trabajo con 1 estación, para el área E (pintura) con 889 horas con 1 estación, para el área F (control de calidad) con 653 horas con 1 estación, para la última estación G (embalaje) con 667 horas con 1 estación, en esta sección de producción se determinó 9 estaciones de

trabajo siendo el área C con el mayor número de puestos de trabajo con 4000 horas necesarias para producir 10 000 juegos de pastillas de frenos anuales.

3.5.2.4 Cálculo de superficies necesarias

Para el cálculo de superficies mínimas se determinó mediante el método de Guerchet, el cual determinó un área total de 115,5 m² como se observa en la Tabla 3.8 siendo el área C (horno) con la mayor superficie de 31,5 m² ya que en ella se encuentran 3 estaciones de trabajo, se sigue el área de B (prensado) con 21,0 m² le sigue el área E (pintura) con 17,5 m² luego el área D (rectificado y secado) de 14 m² y las áreas A (limpieza de respaldos), F (control de calidad) y G (Empaque) con 10,5 m² respectivamente.

3.5.2.5 Diseño e implementación del proceso de fabricación de pastillas de frenos

El primer diseño propuesto con un lote de transferencia de 10 unidades para los primeros centros de trabajo denominados inspección de respaldos metálicos, pesado de mezcla abrasiva y curado de pastillas, en el segundo diseño el lote de transferencia es estos tres primeros centros es de 2 unidades, para el centro de trabajo de curado de pastillas el lote de transferencia es de 10 unidades siendo igual para las dos propuestas, el lote de transferencia para el procesos de rectificado y pintura también es de 6 unidades, para el procesos de control de calidad y embalaje el lote de transferencia es de 2 unidades, se evidencia en los tres primeros procesos la diferencia en el tamaño de lote, observando una productividad media de producto terminado para el primer diseño de 1,53 UN/hora y para el segundo diseño es de 1,52 UN/hora no se evidencia diferencias significativas en la productividad de los procesos propuestos.

3.5.3 EVALUACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

3.5.3.1 Resultados obtenidos a partir de la variable dureza

En la Tabla 3.16 se puede observar los valores del primer grupo, de acuerdo con la dureza el mejor tratamiento es el T18 (MINERAL x 16 min x 12 min) con 35,6, dentro de este grupo se encuentran los mejores resultados con 35,5 el tratamiento T15 (MINERAL x 12 min x 12 min), le sigue 34,1 el tratamiento T7 (ORGANICO x 16 min x 6 min) siendo este tratamiento con el mayor valor de las mezclas orgánicas, los tratamientos con mejores valores son aquellos con los mayores tiempos de prensado y curado como se observa en la Figura 3.19.

3.5.3.2 Resultados obtenidos a partir de la variable gravedad específica

El tratamiento con las mayores respuestas son los tratamientos T23 (CERAMICO x 12 min X 10 min) y (CERAMICO x 16 min x 12 min) con 1,68 y 1,66 respectivamente, las especificaciones técnicas para material de fricción según la empresa EGAR S.A., para la gravedad específica de sus productos superan el 1,97, se observó que ningún tratamiento llega o supera este valor como se observa en la Figura 3.20.

3.5.3.3 Resultados obtenidos a partir de la variable coeficiente de fricción

En la Tabla 3.21 se observa los valores del primer rango de acuerdo con el coeficiente de fricción el valor con el mejor resultado es T18 (MINERAL x 16 min x 12 min) con 0.32, el segundo rango con las mejores respuestas se observa a los tratamientos T15 (MINERAL x 12 min x 12 min) con 0.26, seguido el tratamiento T27 (CERAMICO x 16 min x 12 min) con 0.23 y el tratamiento T9 (ORGANICO x 16 min x 12 min) con 0.23 como se observa en la Figura 3.25, presentando los mejores resultados los tratamientos con los mayores tiempos de prensado y curado.

3.5.4 EVALUACIÓN GENERAL DEL EXPERIMENTO

Los resultados de las tres variables en estudio (dureza, gravedad específica y coeficiente de fricción) se pueden observar en la Tabla 3.23, ubicándose con los mejores resultados para la variable dureza con 35,6 y coeficiente de fricción con

0,32 el tratamiento T18 (MINERAL x 16 min x 12 min), seguido por el tratamiento T15 (MINERAL x 12 min x 12 min) con 35,5 para la variable dureza y 0,26 para la variable coeficiente de fricción, el tercer tratamiento con el mejor resultado es el tratamiento T27 (CERAMICO x 16 min x 12 min) con 18,9 para la variable dureza, para la variable gravedad específica con 1,66 y para la variable coeficiente de fricción con 0,23, el valor más bajo lo presenta el tratamiento T1 (ORGANICO x 8 min x 6 min), con 18,4 para dureza, con 1,00 para gravedad específica y 0,05 para coeficiente de fricción lo que evidencia que los factores de tiempo de presión y tiempo de curado tiene influencia sobre las variables de estudio.

Según las especificaciones técnicas de la norma SAE (Sociedad de Ingenieros Automotores) J379 para medir dureza el rango para comercializar material de fricción para automotores es de 24 – 27, según los resultados observados en la Tabla 3.22 ningún tratamiento cumple con esta especificación registrando valores más altos los cuales desgastarían el disco de freno o muy bajos que no cumplen con el desempeño del material de fricción.

Según las especificaciones técnicas de la norma SAE J380 para medir gravedad específica, el valor mínimo para comercializar material de fricción para automotores es de 1,97, según los resultados observados en la Tabla 3.22 ningún tratamiento cumple con esta especificación.

Según las especificaciones técnicas de la norma SAE J661 para medir coeficiente de fricción el valor para comercializar material de fricción para automotores es de 0,40, según los resultados observados en la Tabla 3.22 ningún tratamiento cumple con esta especificación registrándose con el valor más alto al tratamiento T18 (MINERAL x 16 min x 12 min) lo cual indica que no soportarían las condiciones de frenado a diferentes temperaturas y se cristalizarían y quedarían obsoletos, si hay un coeficiente más alto, no hay necesidad de mucha presión del fluido para producir una fuerza de frenado alta. Si el coeficiente de fricción es muy alto, hay una sobreabundancia de fricción y hace que sea más difícil frenar, el coeficiente de fricción debe ser estable a diferentes velocidades, a 60 kilómetros por hora el coeficiente de fricción debe ser

estable, a 180 kilómetros por hora estas pastillas con un coeficiente de fricción estándar pierden su estabilidad y son peligrosos según Intuneautos (2019) (p.1).

3.5.5 EVALUACIÓN DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN PROPUESTAS

Los resultados obtenidos de los dos diseños de procesos con el *software* Diseño procesos Diag, nos permite conocer el *Lead Time* del lote de producción de 80 unidades de producto terminado para el primer diseño es de 9,99 horas y para el segundo diseño es de 7,42 horas con una diferencia de 2,57 horas, siendo más eficiente el segundo diseño, en el segundo diseño opera un tamaño de lote en los procesos Inspección de respaldos, pesado de mezcla abrasiva y prensado es de 2 unidades mientras que en el primer diseño el lote de transferencia es de 10 unidades.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La planta de fabricación de pastillas de freno para motocicletas se diseñó con una capacidad de producción de 80 juegos por día, obteniendo una producción mensual de 1 600 juegos de pastillas de frenos, se diseñó con 13 centros de trabajo, de las tres soluciones de distribución en planta propuestas con la mejor respuesta a la número tres con un puntaje de 9 412,5 ponderado y una menor distancia de recorrido total de 39,5 m.
- Para producir 1600 juegos de pastillas se determinó en el diseño de distribución en planta para la sección de producción 7 áreas productivas, con 9 estaciones de trabajo, con una superficie mínima para ubicar las 9 estaciones de trabajo de 115,5 m².
- La formulación de mezclas abrasivas para pastillas de frenos para motocicletas con el mejor resultado para la variable dureza con 35,6 y para la variable coeficiente de fricción con 0,32 es el tratamiento T18 (MINERAL x 16 min x 12 min), seguido por el tratamiento T15 (MINERAL x 12 min x 12 min) con 35,5 para la variable de salida dureza y con 0,26 para la variable de salida coeficiente de fricción, siendo la formulación con fibras minerales para mezcla de abrasivos la que obtuvo los mejores resultados.
- Según las especificaciones técnicas de las normas SAE J379 para medir dureza (24 – 27), la norma SAE J380 para medir gravedad específica (1,97) y la norma SAE J661 para medir coeficiente de fricción (0,40), ninguno de los tratamientos evaluados con tres tipos de formulación de mezclas abrasiva y con tres tiempos de prensado y tres tiempos de curado, no alcanzan los valores para ser comercializados, ya que los componentes de las mezclas abrasivas evaluadas como las resinas no se fenolizan lo suficiente requiriendo mayor tiempo de curado y prensado.

- En la implementación de los procesos de fabricación de pastillas de frenos se evaluó la productividad de los dos diseños propuestos determinando que el primer diseño obtuvo una productividad de 1,53 unidades por hora y para el segundo diseño es de 1,52 unidades por hora con una diferencia de 0,01 unidades por hora, lo que nos indica que las dos propuestas son similares en productividad utilizando 7 personas en el área productiva.
- Para el *lead time* del lote de producción diaria de 80 juegos de pastilla, el primer diseño es de 9,99 horas y el segundo diseño es de 7,42 horas con una diferencia de 2,57 horas, lo cual nos indica que el segundo diseño es más eficiente, además el segundo diseño opera con un tamaño de lote de transferencia entre las estaciones de trabajo de preparación de respaldos metálicos – pesado de mezcla abrasiva – prensado de pastillas de dos unidades mientras que el primer diseño opera con un lote de transferencia de 10 unidades.
- El stock medio de semi elaborados en proceso en toda la planta es de 22 unidades para el primer diseño, para el segundo diseño el stock medio es de 16 unidades con una diferencia de 6 unidades siendo el segundo diseño el más eficiente.
- La formulación de las mezclas abrasivas si influye en el *lead time* del producto ya que el tiempo de prensado y tiempo de curado son específicos para cada mezcla y así puedan alcanzar los requisitos como material de fricción, en cambio no influyen en la distribución de planta ya que todas las pastillas de frenos elaboradas con diferentes formulaciones deben pasar por los mismos procesos de fabricación detallados para ser comercializados.

4.2 RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos con polímeros como aditivos que mejoren el resultado de las mezclas abrasivas para las variables de salida dureza, gravedad específica y coeficiente de fricción, en la fabricación de pastillas de frenos para motocicletas.
- Realizar ensayos con nuevas formulaciones de mezclas abrasivas que permitan un menor tiempo de prensado y menor tiempo de curado para poder aumentar la capacidad de producción por día.
- Revisar otros diseños de procesos con lotes de transferencia entre estaciones de trabajo más pequeñas e implementando stock de seguridad en el área de curado de pastillas por ser el cuello de botella de este proceso.
- Revisar otro diseño con el abastecimiento de los respaldos metálicos ya inspeccionados y listos para ser utilizados en el área de prensado, de esta forma se eliminaría una estación de trabajo acortando el ciclo total de producción e implementando el justo a tiempo para esta área del proceso.
- Realizar investigaciones de mercado para identificar nuevas oportunidades de venta que se puedan incluir en el proceso productivo de fabricación de pastillas de frenos.
- Ampliar la investigación a otras áreas de producción como a la de prensado, ensayando nuevos tiempos, materiales y maquinaria de prensado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acorsa, I., Gil, F., y Suñe, A. (2004). *Manual práctico de diseño de sistemas productivos*. Madrid, España: Díaz de Santos.
2. Andrade, C. (1995). Estudio de los materiales compuestos para aplicaciones en frenos automotrices (Proyecto de titulación previo a la obtención de Ingeniero Mecánico no publicado). Escuela Politécnica Nacional.
3. Alfalla, R. García, M. Garrido, P. González, M. Sacristán, M. (2008). *Introducción a la dirección de operaciones táctico-operativa un enfoque práctico*. Madrid, España: Delta publicaciones.
4. ASIMCO. (2018). *Asimco: Proceso de producción de pastillas de freno*. Recuperado de: <https://www.asimcoglobal.com/manufacturing-process.html>. (Agosto, 2018).
5. Baquero, N. (2015). *Balance de líneas de producción*. Recuperado de <http://prof.usb.ve/nbaquero/Balance%20de%20Lineas.pdf>. (Agosto, 2018).
6. Bauzá, F. (2018). *Estudio del sistema de frenado en vehículos ligeros (turismo)*. Recuperada de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/113326/REPORT_470.pdf. (Octubre, 2018).
7. Baca, G. Cruz, M. Cristobal, M. Baca, G. Gutiérrez, J. Pacheco, A. Rivera, A. Rivera, I. (2011). *Introducción a la ingeniería industrial*. México DF, México: Grupo Editorial Patria.

8. Burgaleta, P. (2016). *¿Cómo se hacen las pastillas de frenos?*. Recuperado de: <https://www.motociclismo.es/consejos/articulo/como-se-hacen-las-pastillas-de-freno>. (Octubre, 2018).
9. Carro, R., y González D. (2007). *Diseño y selección de procesos*. Recuperado de http://nulan.mdp.edu.ar/1613/1/08_diseno_procesos.pdf. (Diciembre, 2016).
10. Castaño, E. y Domínguez, J. (2016). *Diseño de experimentos. Estrategias y ciencias e ingeniería*. (1era. Ed.). Colombia: Algaomega Colombiana.
11. Cervantes, M. y Platas, J. (2014). *Planeación, diseño y layout de instalaciones un enfoque de competencias*. (1er. ed.). México D.F., México: Grupo Editorial Patria.
12. Conduce tu empresa. (2018). *Que es un diagrama de recorrido*. Recuperado de: <https://blog.conducetuempresa.com/2018/09/diagrama-de-recorrido-del-proceso.html> (Enero, 2019).
13. Cuatrecasas, L. (2009). *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible*. Barcelona, España: Profit.
14. Departamento de Organización de Empresas, E.F. y C., (2004a), Tema 4. *Distribución en Planta en Diseño de Sistemas Productivos y Logísticos*. Valencia, España: Editorial UPV.
15. Díaz, J. (2010). *Implantación del proceso de ensamble de nuevos modelos de cocinas en una empresa de electrodomésticos* (Proyecto de titulación previo a la obtención de Ingeniero Mecánico no publicado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
16. EGAR S.A. (2015). *Egar: Frenos automotrices*. Recuperado de: <http://www.egar.com.ec/web/>, (Octubre, 2018).

17. Fernández, I. De la Fuente, D. (2005). *Distribución en planta*. (1era. ed.). España: Universidad de Oviedo.
18. Gestión de operaciones. (2015). *Proceso productivo flow-shop*. Recuperado de <http://www.gestiondeoperaciones.net/procesos/caracteristicas-de-un-proceso-productivo-flow-shop-produccion-en-masa/>. (Enero, 2018).
19. Grimolizzi, G. (2014). *Distribución en plantas*. Recuperado de: <http://www.fernandezantonio.com.ar/Documentos/G-U04-01%20Distribucion%20de%20Plantas.pdf> (Diciembre, 2018).
20. Groover, M. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing, materials processes, and systems*, (4era. ed.). EEUU, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
21. Gutiérrez, H. y De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. (3era. Ed.). México D.F., México: McGraw Hill.
22. Heizer, J. y Bender, B. (2009). *Administración de Operaciones*. (7ma. ed.). España: Pearson Educación, S.A.
23. INTUNEAUTOS. (2019). *Coefficient Of Friction: How It Works and How Manufacturers Use This Knowledge To Create Better JDM Brake Pads*. Recuperado de: <http://www.intuneautos.com/brake-pads/coefficient-of-friction-how-it-works-and-how-manufacturers-use-this-knowledge-to-create-better-jdm-brake-pads/>. (Febrero, 2019).
24. Krajewski, L. Ritzman, L. Malhotra, M. (2008). *Administración de Operaciones*. (8va ed.). México: Pearson Educación S.A.

25. Kuehl, R. (2000). *Diseño de experimentos: principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones*. (3era. Ed.). México D.F., México: S.A. Ediciones Paraninfo.
26. Leyva, M. Mauricio, D. Salas, J. (2013). *Una taxonomía del problema de distribución de plantas por procesos y sus métodos de solución*. Recuperado de: <file:///C:/Users/icesa/Downloads/11930-41587-1-PB.pdf> (Octubre, 2018).
27. Líneas de producción. (2011). *Sistemas de manufactura*. Recuperado de <https://sistemasmanufactura.files.wordpress.com/2011/08/sesion-9-02-2011.pdf>. (Febrero1 2017).
28. Luque, C. (2015). *Tipos y características de las pastillas de freno*. Recuperado de: <http://montillabierta.es/14157-2/>. (Diciembre, 2018).
29. Markel, A. (2016). *Step by step: how a brake pad is made*. Recuperados de: <https://www.tirereview.com/163702/>. (Agosto, 2018).
30. Meyers, F. y Stephens, M. P. (2006). *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. (3era ed.). México: Pearson Educación, S.A.
31. Minitab. (2018). *Introducción al Minitab* Recuperado de: https://www.minitab.com/uploadedFiles/Documents/getting-started/Minitab17_GettingStarted-es-es.pdf. (Enero, 2019).
32. Pérez, J. (2018). *Composición de las pastillas de freno*. Recuperado de: http://www.blogmecanicos.com/2018/10/composicion-de-las-pastillas-de-freno_9.html. (Diciembre, 2018).
33. Pinzón, B. (2010). *Diseño de Plantas Industriales*. Recuperado de: <http://myslide.es/documents/disenio-de-plantas-industriales.html> (Enero, 2016).

34. Ramos, E. (2012). *Balaceo de líneas*. Recuperado de: <http://baalaancedelineas.blogspot.com/2012/12/balaceo-de-lineas.html>. (Noviembre, 2018).
35. Ríos, E. (2013). *Diseño de Sistemas Productivos: Distribución en plantas industriales con ayudas multimedia*. (1era ed.). Medellín, Colombia: Reimpresos Universidad de Antioquia.
36. Ríos, C. (2012). *Estadísticas y diseño de experimentos*. (1era. Ed.). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería Editorial Universitaria.
37. Salazar, B. (2016a). *Sistemas de producción flow shop*. Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/sistema-de-produccion-flow-shop/>. (Octubre, 2018).
38. Salazar, B. (2016b). *Sistemas de producción job shop*. Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/produccion/job-shop/>. (Octubre, 2018).
39. Salazar, B. (2016c). *Métodos de distribución y redistribución en planta*. Recuperado de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/m%C3%A9todos-de-distribuci%C3%B3n-y-redistribuci%C3%B3n-en-planta/> (Noviembre, 2018).

ANEXOS

ANEXO III

REGISTRO DE RESULTADOS DE LA VARIABLE DE SALIDA DUREZA

Tabla AIII.1. Distribución de tratamientos en el estudio de un diseño multifactorial con tres factores y tres niveles cada uno con tres repeticiones.

		Tiempo de Curado								
		6 min			10 min			12 min		
Tiempo de Presión		8 min	12 min	16 min	8 min	12 min	16 min	8 min	12 min	16 min
Material de Fricción		T = 1	T = 4	T = 7	T = 2	T = 5	T = 8	T = 3	T = 6	T = 9
ORGANICO	1	10	19	4	13	22	7	16	25	
	2	11	20	5	14	23	8	17	26	
	3	12	21	6	15	24	9	18	27	
MINERAL	T = 10	T = 13	T = 16	T = 11	T = 14	T = 17	T = 12	T = 15	T = 18	
	28	37	46	31	40	49	34	43	52	
	29	38	47	32	41	50	35	44	53	
	30	39	48	33	42	51	36	45	54	
CERAMICO	T = 19	T = 22	T = 25	T = 20	T = 23	T = 26	T = 21	T = 24	T = 27	
	55	64	73	58	67	76	61	70	79	
	56	65	74	59	68	77	62	71	80	
	57	66	75	60	69	78	63	72	81	

Tabla AIII.2. Registro de resultados de la variable de salida dureza en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (GBS)
1	1	1	ORGANICO X 8 min X 6 min	19,4
2	1	2	ORGANICO X 8 min X 6 min	16,8
3	1	3	ORGANICO X 8 min X 6 min	24,3
4	2	1	ORGANICO X 8 min X 10 min	20,8
5	2	2	ORGANICO X 8 min X 10 min	26,4
6	2	3	ORGANICO X 8 min X 10 min	22,6
7	3	1	ORGANICO X 8 min X 12 min	36,7
8	3	2	ORGANICO X 8 min X 12 min	19,6
9	3	3	ORGANICO X 8 min X 12 min	16,7
10	4	1	ORGANICO X 12 min X 6 min	23,7
11	4	2	ORGANICO X 12 min X 6 min	17,9
12	4	3	ORGANICO X 12 min X 6 min	22,6
13	5	1	ORGANICO X 12 min X 10 min	12,5
14	5	2	ORGANICO X 12 min X 10 min	17,3
15	5	3	ORGANICO X 12 min X 10 min	36,4
16	6	1	ORGANICO X 12 min X 12 min	23,1
17	6	2	ORGANICO X 12 min X 12 min	34,3
18	6	3	ORGANICO X 12 min X 12 min	36,4
19	7	1	ORGANICO X 16 min X 6 min	19,6
20	7	2	ORGANICO X 16 min X 6 min	16,8
21	7	3	ORGANICO X 16 min X 6 min	21,3
22	8	1	ORGANICO X 16 min X 10 min	21,6
23	8	2	ORGANICO X 16 min X 10 min	21,5
24	8	3	ORGANICO X 16 min X 10 min	21,3
25	9	1	ORGANICO X 16 min X 12 min	21,6
26	9	2	ORGANICO X 16 min X 12 min	18,4
27	9	3	ORGANICO X 16 min X 12 min	21,4
28	10	1	MINERAL X 8 min X 6 min	17,1
29	10	2	MINERAL X 8 min X 6 min	19,5
30	10	3	MINERAL X 8 min X 6 min	18
31	11	1	MINERAL X 8 min X 10 min	22,5
32	11	2	MINERAL X 8 min X 10 min	21,3
33	11	3	MINERAL X 8 min X 10 min	15,7
34	12	1	MINERAL X 8 min X 12 min	32,1
35	12	2	MINERAL X 8 min X 12 min	20,1
36	12	3	MINERAL X 8 min X 12 min	21,4
37	13	1	MINERAL X 12 min X 6 min	18,3

Tabla AIII.2. Registro de resultados de la variable de salida dureza en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado (continuación...)

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (GBS)
38	13	2	MINERAL X 12 min X 6 min	21,8
39	13	3	MINERAL X 12 min X 6 min	24,2
40	14	1	MINERAL X 12 min X 10 min	15,1
41	14	2	MINERAL X 12 min X 10 min	22,4
42	14	3	MINERAL X 12 min X 10 min	34,2
43	15	1	MINERAL X 12 min X 12 min	22,2
44	15	2	MINERAL X 12 min X 12 min	33,4
45	15	3	MINERAL X 12 min X 12 min	31,5
46	16	1	MINERAL X 16 min X 6 min	17,4
47	16	2	MINERAL X 16 min X 6 min	19,3
48	16	3	MINERAL X 16 min X 6 min	18,2
49	17	1	MINERAL X 16 min X 10 min	19,4
50	17	2	MINERAL X 16 min X 10 min	22,1
51	17	3	MINERAL X 16 min X 10 min	18,6
52	18	1	MINERAL X 16 min X 12 min	20,4
53	18	2	MINERAL X 16 min X 12 min	15,7
54	18	3	MINERAL X 16 min X 12 min	18,3
55	19	1	CERAMICO X 8 min X 6 min	18,6
56	19	2	CERAMICO X 8 min X 6 min	20,5
57	19	3	CERAMICO X 8 min X 6 min	22,3
58	20	1	CERAMICO X 8 min X 10 min	20
59	20	2	CERAMICO X 8 min X 10 min	19
60	20	3	CERAMICO X 8 min X 10 min	19,7
61	21	1	CERAMICO X 8 min X 12 min	33,4
62	21	2	CERAMICO X 8 min X 12 min	19,3
63	21	3	CERAMICO X 8 min X 12 min	17,8
64	22	1	CERAMICO X 12 min X 6 min	14,2
65	22	2	CERAMICO X 12 min X 6 min	19,9
66	22	3	CERAMICO X 12 min X 6 min	19,2
67	23	1	CERAMICO X 12 min X 10 min	19,3
68	23	2	CERAMICO X 12 min X 10 min	17,5
69	23	3	CERAMICO X 12 min X 10 min	35,8
70	24	1	CERAMICO X 12 min X 12 min	17,9
71	24	2	CERAMICO X 12 min X 12 min	32,7
72	24	3	CERAMICO X 12 min X 12 min	38,8
73	25	1	CERAMICO X 16 min X 6 min	19,1

Tabla AIII.2. Registro de resultados de la variable de salida dureza en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado (continuación...)

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (GBS)
74	25	2	CERAMICO X 16 min X 6 min	20,2
75	25	3	CERAMICO X 16 min X 6 min	17
76	26	1	CERAMICO X 16 min X 10 min	17
77	26	2	CERAMICO X 16 min X 10 min	16,4
78	26	3	CERAMICO X 16 min X 10 min	17,1
79	27	1	CERAMICO X 16 min X 12 min	18,2
80	27	2	CERAMICO X 16 min X 12 min	18,9
81	27	3	CERAMICO X 16 min X 12 min	16,9

Tabla AIII.3. Promedio de los tratamientos de la variable de salida dureza

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (GBS)
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	18,4
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	18,9
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	21,5
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	21,1
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	22,2
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	19,3
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	34,1
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	19,7
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	18,6
10	MINERAL X 8 min X 6 min	18,7
11	MINERAL X 8 min X 10 min	19,9
12	MINERAL X 8 min X 12 min	22
13	MINERAL X 12 min X 6 min	15,6
14	MINERAL X 12 min X 10 min	19,1
15	MINERAL X 12 min X 12 min	35,5
16	MINERAL X 16 min X 6 min	21,1
17	MINERAL X 16 min X 10 min	33,5
18	MINERAL X 16 min X 12 min	35,6
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	18,7
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	18,8

Tabla AIII.3. Promedio de los tratamientos de la variable de salida dureza
(continuación...)

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (GBS)
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	18,8
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	19,3
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	20
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	19
25	CERAMICO X 16 min X 6 min	20,1
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	17,7
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	18,9

ANEXO IV

REGISTRO DE RESULTADOS DE LA VARIABLE DE

SALIDA GRAVEDAD ESPECÍFICA

Tabla AIV.1. Registro de resultados de la variable de salida gravedad específica en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (g/cm ³)
1	1	1	ORGANICO X 8 min X 6 min	0,80
2	1	2	ORGANICO X 8 min X 6 min	0,88
3	1	3	ORGANICO X 8 min X 6 min	1,55
4	2	1	ORGANICO X 8 min X 10 min	1,33
5	2	2	ORGANICO X 8 min X 10 min	1,51
6	2	3	ORGANICO X 8 min X 10 min	1,18
7	3	1	ORGANICO X 8 min X 12 min	1,02
8	3	2	ORGANICO X 8 min X 12 min	1,00
9	3	3	ORGANICO X 8 min X 12 min	1,40
10	4	1	ORGANICO X 12 min X 6 min	1,62
11	4	2	ORGANICO X 12 min X 6 min	1,29
12	4	3	ORGANICO X 12 min X 6 min	1,18
13	5	1	ORGANICO X 12 min X 10 min	1,52
14	5	2	ORGANICO X 12 min X 10 min	1,68
15	5	3	ORGANICO X 12 min X 10 min	1,37
16	6	1	ORGANICO X 12 min X 12 min	1,30
17	6	2	ORGANICO X 12 min X 12 min	1,55
18	6	3	ORGANICO X 12 min X 12 min	1,25
19	7	1	ORGANICO X 16 min X 6 min	1,44
20	7	2	ORGANICO X 16 min X 6 min	1,66
21	7	3	ORGANICO X 16 min X 6 min	1,49
22	8	1	ORGANICO X 16 min X 10 min	1,36
23	8	2	ORGANICO X 16 min X 10 min	1,62
24	8	3	ORGANICO X 16 min X 10 min	1,56
25	9	1	ORGANICO X 16 min X 12 min	1,38
26	9	2	ORGANICO X 16 min X 12 min	1,16
27	9	3	ORGANICO X 16 min X 12 min	1,72
28	10	1	MINERAL X 8 min X 6 min	1,11
29	10	2	MINERAL X 8 min X 6 min	0,94
30	10	3	MINERAL X 8 min X 6 min	1,30

Tabla AIV.1. Registro de resultados de la variable de salida gravedad específica en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado (continuación...)

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (g/cm ³)
31	11	1	MINERAL X 8 min X 10 min	1,24
32	11	2	MINERAL X 8 min X 10 min	1,54
33	11	3	MINERAL X 8 min X 10 min	1,66
34	12	1	MINERAL X 8 min X 12 min	0,91
35	12	2	MINERAL X 8 min X 12 min	1,02
36	12	3	MINERAL X 8 min X 12 min	1,35
37	13	1	MINERAL X 12 min X 6 min	1,53
38	13	2	MINERAL X 12 min X 6 min	1,63
39	13	3	MINERAL X 12 min X 6 min	1,35
40	14	1	MINERAL X 12 min X 10 min	1,44
41	14	2	MINERAL X 12 min X 10 min	1,38
42	14	3	MINERAL X 12 min X 10 min	1,28
43	15	1	MINERAL X 12 min X 12 min	1,21
44	15	2	MINERAL X 12 min X 12 min	1,37
45	15	3	MINERAL X 12 min X 12 min	1,07
46	16	1	MINERAL X 16 min X 6 min	1,41
47	16	2	MINERAL X 16 min X 6 min	1,49
48	16	3	MINERAL X 16 min X 6 min	1,24
49	17	1	MINERAL X 16 min X 10 min	1,35
50	17	2	MINERAL X 16 min X 10 min	1,72
51	17	3	MINERAL X 16 min X 10 min	1,48
52	18	1	MINERAL X 16 min X 12 min	1,15
53	18	2	MINERAL X 16 min X 12 min	1,30
54	18	3	MINERAL X 16 min X 12 min	1,62
55	19	1	CERAMICO X 8 min X 6 min	1,10
56	19	2	CERAMICO X 8 min X 6 min	0,92
57	19	3	CERAMICO X 8 min X 6 min	1,38
58	20	1	CERAMICO X 8 min X 10 min	1,36
59	20	2	CERAMICO X 8 min X 10 min	0,94
60	20	3	CERAMICO X 8 min X 10 min	1,44
61	21	1	CERAMICO X 8 min X 12 min	0,81
62	21	2	CERAMICO X 8 min X 12 min	1,16
63	21	3	CERAMICO X 8 min X 12 min	1,36
64	22	1	CERAMICO X 12 min X 6 min	1,28
65	22	2	CERAMICO X 12 min X 6 min	1,54
66	22	3	CERAMICO X 12 min X 6 min	1,38

Tabla AIV.1. Registro de resultados de la variable de salida gravedad específica en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado (continuación...)

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (g/cm ³)
67	23	1	CERAMICO X 12 min X 10 min	1,47
68	23	2	CERAMICO X 12 min X 10 min	1,61
69	23	3	CERAMICO X 12 min X 10 min	1,29
70	24	1	CERAMICO X 12 min X 12 min	1,10
71	24	2	CERAMICO X 12 min X 12 min	1,40
72	24	3	CERAMICO X 12 min X 12 min	1,14
73	25	1	CERAMICO X 16 min X 6 min	1,32
74	25	2	CERAMICO X 16 min X 6 min	1,52
75	25	3	CERAMICO X 16 min X 6 min	1,45
76	26	1	CERAMICO X 16 min X 10 min	1,31
77	26	2	CERAMICO X 16 min X 10 min	1,69
78	26	3	CERAMICO X 16 min X 10 min	1,26
79	27	1	CERAMICO X 16 min X 12 min	1,25
80	27	2	CERAMICO X 16 min X 12 min	1,21
81	27	3	CERAMICO X 16 min X 12 min	1,67

Tabla AIV.2. Promedio de los tratamientos de la variable de salida gravedad específica

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (g/cm ³)
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	1,00
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	0,91
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	1,41
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	1,31
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	1,33
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	1,43
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	0,91
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	1,06
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	1,37
10	MINERAL X 8 min X 6 min	1,48
11	MINERAL X 8 min X 10 min	1,49
12	MINERAL X 8 min X 12 min	1,3
13	MINERAL X 12 min X 6 min	1,48
14	MINERAL X 12 min X 10 min	1,56
15	MINERAL X 12 min X 12 min	1,31

Tabla AIV.2. Promedio de los tratamientos de la variable de salida gravedad específica
(continuación...)

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (g/cm³)
16	MINERAL X 16 min X 6 min	1,2
17	MINERAL X 16 min X 10 min	1,44
18	MINERAL X 16 min X 12 min	1,15
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	1,39
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	1,56
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	1,39
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	1,31
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	1,67
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	1,43
25	CERAMICO X 16 min X 6 min	1,26
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	1,22
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	1,67

ANEXO V

REGISTRO DE RESULTADOS DE LA VARIABLE DE

SALIDA COEFICIENTE DE FRICCIÓN

Tabla AV.1. Registro de resultados de la variable de salida coeficiente de fricción en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado.

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (<i>u</i>)
1	1	1	ORGANICO X 8 min X 6 min	0,07
2	1	2	ORGANICO X 8 min X 6 min	0,04
3	1	3	ORGANICO X 8 min X 6 min	0,11
4	2	1	ORGANICO X 8 min X 10 min	0,07
5	2	2	ORGANICO X 8 min X 10 min	0,14
6	2	3	ORGANICO X 8 min X 10 min	0,19
7	3	1	ORGANICO X 8 min X 12 min	0,09
8	3	2	ORGANICO X 8 min X 12 min	0,11
9	3	3	ORGANICO X 8 min X 12 min	0,21
10	4	1	ORGANICO X 12 min X 6 min	0,10
11	4	2	ORGANICO X 12 min X 6 min	0,15
12	4	3	ORGANICO X 12 min X 6 min	0,18
13	5	1	ORGANICO X 12 min X 10 min	0,14
14	5	2	ORGANICO X 12 min X 10 min	0,16
15	5	3	ORGANICO X 12 min X 10 min	0,25
16	6	1	ORGANICO X 12 min X 12 min	0,18
17	6	2	ORGANICO X 12 min X 12 min	0,23
18	6	3	ORGANICO X 12 min X 12 min	0,34
19	7	1	ORGANICO X 16 min X 6 min	0,09
20	7	2	ORGANICO X 16 min X 6 min	0,17
21	7	3	ORGANICO X 16 min X 6 min	0,22
22	8	1	ORGANICO X 16 min X 10 min	0,11
23	8	2	ORGANICO X 16 min X 10 min	0,09
24	8	3	ORGANICO X 16 min X 10 min	0,19
25	9	1	ORGANICO X 16 min X 12 min	0,14
26	9	2	ORGANICO X 16 min X 12 min	0,13
27	9	3	ORGANICO X 16 min X 12 min	0,26
28	10	1	MINERAL X 8 min X 6 min	0,04
29	10	2	MINERAL X 8 min X 6 min	0,05
30	10	3	MINERAL X 8 min X 6 min	0,12

Tabla AV.1. Registro de resultados de la variable de salida coeficiente de fricción en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado (continuación...)

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (<i>u</i>)
31	11	1	MINERAL X 8 min X 10 min	0,08
32	11	2	MINERAL X 8 min X 10 min	0,10
33	11	3	MINERAL X 8 min X 10 min	0,17
34	12	1	MINERAL X 8 min X 12 min	0,08
35	12	2	MINERAL X 8 min X 12 min	0,12
36	12	3	MINERAL X 8 min X 12 min	0,22
37	13	1	MINERAL X 12 min X 6 min	0,13
38	13	2	MINERAL X 12 min X 6 min	0,12
39	13	3	MINERAL X 12 min X 6 min	0,14
40	14	1	MINERAL X 12 min X 10 min	0,13
41	14	2	MINERAL X 12 min X 10 min	0,17
42	14	3	MINERAL X 12 min X 10 min	0,24
43	15	1	MINERAL X 12 min X 12 min	0,13
44	15	2	MINERAL X 12 min X 12 min	0,22
45	15	3	MINERAL X 12 min X 12 min	0,32
46	16	1	MINERAL X 16 min X 6 min	0,08
47	16	2	MINERAL X 16 min X 6 min	0,14
48	16	3	MINERAL X 16 min X 6 min	0,17
49	17	1	MINERAL X 16 min X 10 min	0,19
50	17	2	MINERAL X 16 min X 10 min	0,10
51	17	3	MINERAL X 16 min X 10 min	0,18
52	18	1	MINERAL X 16 min X 12 min	0,12
53	18	2	MINERAL X 16 min X 12 min	0,16
54	18	3	MINERAL X 16 min X 12 min	0,20
55	19	1	CERAMICO X 8 min X 6 min	0,05
56	19	2	CERAMICO X 8 min X 6 min	0,08
57	19	3	CERAMICO X 8 min X 6 min	0,16
58	20	1	CERAMICO X 8 min X 10 min	0,12
59	20	2	CERAMICO X 8 min X 10 min	0,10
60	20	3	CERAMICO X 8 min X 10 min	0,11
61	21	1	CERAMICO X 8 min X 12 min	0,12
62	21	2	CERAMICO X 8 min X 12 min	0,08
63	21	3	CERAMICO X 8 min X 12 min	0,26
64	22	1	CERAMICO X 12 min X 6 min	0,11
65	22	2	CERAMICO X 12 min X 6 min	0,17
66	22	3	CERAMICO X 12 min X 6 min	0,14

Tabla AV.1. Registro de resultados de la variable de salida coeficiente de fricción en el estudio de tres materiales de fricción sometidos a tres tiempos de presión y tres tiempos de curado (continuación...)

N°	TRATAMIENTO	REPETICIÓN	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (<i>u</i>)
67	23	1	CERAMICO X 12 min X 10 min	0,13
68	23	2	CERAMICO X 12 min X 10 min	0,22
69	23	3	CERAMICO X 12 min X 10 min	0,30
70	24	1	CERAMICO X 12 min X 12 min	0,14
71	24	2	CERAMICO X 12 min X 12 min	0,16
72	24	3	CERAMICO X 12 min X 12 min	0,31
73	25	1	CERAMICO X 16 min X 6 min	0,10
74	25	2	CERAMICO X 16 min X 6 min	0,12
75	25	3	CERAMICO X 16 min X 6 min	0,15
76	26	1	CERAMICO X 16 min X 10 min	0,14
77	26	2	CERAMICO X 16 min X 10 min	0,06
78	26	3	CERAMICO X 16 min X 10 min	0,19
79	27	1	CERAMICO X 16 min X 12 min	0,11
80	27	2	CERAMICO X 16 min X 12 min	0,11
81	27	3	CERAMICO X 16 min X 12 min	0,22

Tabla AV.2. Promedio de los tratamientos de la variable de salida coeficiente de fricción

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (<i>u</i>)
1	ORGANICO X 8 min X 6 min	0,05
2	ORGANICO X 8 min X 10 min	0,06
3	ORGANICO X 8 min X 12 min	0,13
4	ORGANICO X 12 min X 6 min	0,09
5	ORGANICO X 12 min X 10 min	0,11
6	ORGANICO X 12 min X 12 min	0,16
7	ORGANICO X 16 min X 6 min	0,10
8	ORGANICO X 16 min X 10 min	0,10
9	ORGANICO X 16 min X 12 min	0,23
10	MINERAL X 8 min X 6 min	0,11
11	MINERAL X 8 min X 10 min	0,15
12	MINERAL X 8 min X 12 min	0,15
13	MINERAL X 12 min X 6 min	0,13
14	MINERAL X 12 min X 10 min	0,18
15	MINERAL X 12 min X 12 min	0,26

Tabla AV.2. Promedio de los tratamientos de la variable de salida coeficiente de fricción
(continuación....)

TRATAMIENTO	NIVEL DE REEMPLAZO	MEDIA (<i>u</i>)
16	MINERAL X 16 min X 6 min	0,15
17	MINERAL X 16 min X 10 min	0,20
18	MINERAL X 16 min X 12 min	0,32
19	CERAMICO X 8 min X 6 min	0,09
20	CERAMICO X 8 min X 10 min	0,14
21	CERAMICO X 8 min X 12 min	0,18
22	CERAMICO X 12 min X 6 min	0,15
23	CERAMICO X 12 min X 10 min	0,08
24	CERAMICO X 12 min X 12 min	0,19
25	CERAMICO X 16 min X 6 min	0,12
26	CERAMICO X 16 min X 10 min	0,13
27	CERAMICO X 16 min X 12 min	0,23

ANEXO VI

CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS PARA LA PRODUCCIÓN DE PASTILLAS DE FRENOS

Tabla AVI.1. Características de los equipos para la producción de pastillas de frenos



PRENSA HIDRAULICA	
	<p>Máquina de prensa hidráulica con una carga nominal de hasta 250 toneladas.</p> <p>Con capacidad para elevar los moldes.</p> <p>Equipado con una mesa deslizante para carga y descarga del material.</p> <p>Voltaje de 220V.</p> <p>Control automático de tiempos de presión.</p> <p>Estructura en acero</p>
MOLDES DE PASTILLAS DE FRENOS	
	<p>Moldes diseñados para el moldeo en positivo con dos cavidades.</p> <p>Equipados con resistencias térmicas para realizar el moldeo en caliente.</p> <p>Estructura en acero inoxidable.</p>

Tabla AVI.1. Características de los equipos para la producción de pastillas de frenos (continuación...)

HORNO PARA CURACIÓN DEL MATERIAL DE FRICCIÓN	
	<p>Horno a diesel</p> <p>Con capacidad de 0 – 2500 pastillas de frenos colocados en estanterías metálicas</p> <p>Temperatura de 0 – 200 °C</p> <p>Equipado con chimenea para absorber los gases de combustión y gases del material de fricción</p> <p>Equipado con PLC para control de curva de temperatura</p>
RECTIFICADO DE PASTILLAS DE FRENOS	
	<p>Máquina para perfilar y rectificar las pastillas de frenos</p> <p>Con capacidad de 200 unidades por hora</p> <p>Limpia las rebabas del material de fricción producidas en el área de prensado</p> <p>Voltaje de 220 V.</p>
CABINA DE PINTURA ELECTROSTÁTICA	
	<p>Cabina de pulverización de pintura</p> <p>Con PLC para programar la velocidad y cantidad de pintura para cada modelo</p> <p>Pistolas de pulverización automáticas</p> <p>Sistema de rotación de 90 a 180 °</p> <p>Sistema de transmisión continuo</p>
ROTULADO DE PASTILLAS DE FRENOS	
	<p>Máquina para rotulado y etiquetado de las pastillas de freno</p> <p>Equipado con marcador laser que permite rotular el producto con el modelo, fecha de fabricación, lote.</p> <p>Capacidad para 300 piezas por hora</p> <p>Voltaje de 220 V.</p>

ANEXO VII

CÁLCULO DE LA MATRIZ DE TRÁNSITO DETALLANDO LOS VALORES PARA CADA CELDA

Caso: PASTILLAS DE FRENOS

Producción diaria en base al producto terminado: 80 unidades

Unidades de producto a trasladar: 10

Unidades de materiales a trasladar: 40

Tabla AVII.1. Centros de Origen-Destino de tránsito y N° de personas

Centros de Origen-Destino de tránsito	N° de personas
1. Almacén de MP y partes	1
2. Preparación de respaldos metálicos	1
3. Prensado de pastillas	1
4. Curado de pastillas	1
5. Rectificación de pastillas	1
6. Pintado de pastillas	1
7. Control de calidad	1
8. Embalaje de pastillas	1
9. Muelle de carga	0
10. Muelle de descarga	0
11. Oficinas administrativas	3
12. Acceso de vehículos	0
13. Acceso de personas	0

Tabla AVII.2. Matriz de interacciones entre centros detallando los valores por cada tránsito más relevantes.

Tránsito entre: 1. Almacén de MP y partes – 2. Preparación de respaldos	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 1 y 2 no se mueven semielaborados (P) = 0	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 1 y 2 se mueven 80 respaldos metal. (M) = 80
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 1 y 2 se mueven 2 trabajadores (PM) = 2	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 1 y 2 no hay personas que muevan herr(PO)=0
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 1 y 2 se mueven con 2 medios (TM) = 2	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 1 y 2 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 1. Almacén de MP y partes – 3. Prensado de pastillas	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 1 y 3 no se mueven semielaborados (P) = 0	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 1 y 3 se mueven 10 kg de mezcla abras.M =10
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 1 y 3 se mueve 1 trabajador (PM) = 1	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 1 y 3 no hay personas que muevan herr(PO)=0
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 1 y 3 se mueven con 1 medio (TM) = 1	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 1 y 3 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 1. Almacén de MP y partes – 10. Muelle de descarga	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 1 y 10 no se mueven semielaborados (P) = 0	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 1 y 10 se entregan 80 respaldos metálicos + 10 kg de mezcla abrasiva (M) = 90
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 1 y 10 se mueven 2 trabajadores (PM) = 2	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 1 y 10 no hay personas que muevan he(PO)=0
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 1 y 10 se mueven con 2 medios (TM) = 2	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 1 y 10 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 2. Preparación de respaldos – 3. Prensado de pastillas	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 2 y 3 no se mueven semielaborados (P) = 0	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 2 y 3 se mueven 80 respaldos metal. (M) = 80
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 2 y 3 se mueven 2 trabajadores (PM) = 2	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 2 y 3 no hay personas que muevan herr(PO)=0
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 2 y 3 se mueven con 2 medios (TM) = 2	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 2 y 3 no hay personas con medios (TO) = 0

Tabla AVII.2. Matriz de interacciones entre centros detallando los valores por cada tránsito más relevantes. (**Continuación....**)

Tránsito entre: 3. Prensado de pastillas – 4. Curado de pastillas	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 3 y 4 se mueven semielaborados (P) = 80	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 3 y 4 no mueven materiales comprado (M) = 0
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 3 y 4 se mueven 8 trabajadores (PM) = 8	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 3 y 4 si personas que muevan herr/doc (PO)=1
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 1 y 2 se mueven con 2 medios (TM) = 8	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 3 y 4 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 4. Curado de pastillas – 5. Rectificación de pastillas	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 4 y 5 se mueven semielaborados (P) = 80	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 4 y 5 no mueven materiales comprado (M) = 0
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 4 y 5 se mueven 8 trabajadores (PM) = 8	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 4 y 5 si personas que muevan herr/doc (PO)=1
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 4 y 5 se mueven con 2 medios (TM) = 8	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 4 y 5 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 5. Rectificación de pastillas – 6. Pintado de pastillas	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 5 y 6 se mueven semielaborados (P) = 80	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 5 y 6 no mueven materiales comprado (M) = 0
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 5 y 6 se mueven 8 trabajadores (PM) = 8	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 5 y 6 si personas que muevan herr/doc (PO)=1
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 5 y 6 se mueven con 2 medios (TM) = 8	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 5 y 6 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 6. Pintado de pastillas – 7. Control de calidad	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 6 y 7 se mueven semielaborados (P) = 80	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 6 y 7 no mueven materiales comprado (M) = 0
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 6 y 7 se mueven 8 trabajadores (PM) = 8	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 6 y 7 si personas que muevan herr/doc (PO)=1
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 6 y 7 se mueven con 2 medios (TM) = 8	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 6 y 7 no hay personas con medios (TO) = 0

Tabla AVII.2. Matriz de interacciones entre centros detallando los valores por cada tránsito más relevantes. (**Continuación...**)

Tránsito entre: 7. Control de calidad – 8. Embalaje de pastillas	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 7 y 8 se mueven semielaborados (P) = 80	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 7 y 8 no mueven materiales comprado (M) = 0
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 7 y 8 se mueven 8 trabajadores (PM) = 8	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 7 y 8 si personas que muevan herr/doc (PO)=1
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 7 y 8 se mueven con 2 medios (TM) = 8	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 7 y 8 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 8. Embalaje de pastillas – 9. Muelle de carga	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 8 y 9 se mueven producto terminado (P) = 80	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 8 y 9 no mueven materiales comprado (M) = 0
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 8 y 9 se mueven 8 trabajadores (PM) = 8	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 8 y 9 si personas que muevan herr/doc (PO)=1
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 8 y 9 se mueven con 2 medios (TM) = 8	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 8 y 9 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 9. Muelle de carga – 12. Acceso de vehículos	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 9 y 12 se mueven producto terminado (P) = 40	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 9 y 12 no mueven materiales (M) = 0
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 9 y 12 no se mueven trabajadores (PM) = 0	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 9 y 12 no personas que muevan doc (PO)=0
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 9 y 12 se mueven con 1 medios (TM) = 1	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 9 y 12 no hay personas con medios (TO) = 0
Tránsito entre: 10. Muelle de descarga – 12. Acceso de vehículos	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 10 y 12 no se mueven semielaborados (P) = 0	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 10 y 12 si se mueven materiales comprados (M) = 90
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 10 y 12 no se mueven trabajadores (PM) = 0	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 10 y 12 no personas que muevan doc (PO) = 0
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 10 y 12 se mueven con 1 medio (TM) = 1	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 10 y 12 no hay personas con medios (TO) = 0

Tabla AVII.2. Matriz de interacciones entre centros detallando los valores por cada tránsito más relevantes. **(Continuación....)**

Tránsito entre: 11. Oficinas – 13. Acceso de personas	
Cantidad diaria de: Productos Semielaborados o Producto terminado (P) Entre 11 y 13 no se mueven semielaborados (P) = 0	Cantidad diaria de: Materiales o componentes comprados (M) Entre 11 y 13 no se mueven materiales (M) = 0
Cantidad diaria de: Personas que mueven productos, materiales (PM) Entre 11 y 13 no se mueven trabajadores (PM) = 0	Cantidad diaria de: Personas que mueven herr/equi/doc (PO) Entre 11 y 13 si personas que muevan doc (PO) = 3
Cantidad diaria de: Medios de Transporte de productos, materiales (TM) Entre 11 y 13 no se mueven con medios (TM) = 0	Cantidad diaria de: Medios de transportes para herr/equi/doc (TO) Entre 11 y 13 no hay personas con medios (TO) = 0

Cálculos del Factor Base de los datos más relevantes de la matriz de tránsitos, tomando en cuenta los siguientes coeficientes:

Coeficiente para valorar traslados de personas: $k_p = 5$

Coeficiente para valorar traslados de materiales: $k_m = 3$

Coeficiente para valorar traslados de medios de transporte: $k_t = 2$

El Factor Base se calculó con la Ecuación 1.12

$$FB = n [K_p (PM + PO) + K_m (P + M) + K_t (TM + TO)]$$

Para la interacción 1 – 2 se calculó con los siguientes datos

$$FB = 1[3 (0 + 80) + 5 (2 + 0) + 2 (2 + 0)]$$

$$FB = 254$$

Para la interacción 2 – 3

$$FB = 1[3 (0 + 80) + 5 (2 + 0) + 2 (2 + 0)]$$

$$FB = 254$$

Para las interacciones 3 – 4; 4 – 5; 5 – 6; 6 – 7; 7 – 8; 8 – 9;

$$FB = 1[3 (0 + 80) + 5 (8 + 1) + 2 (8 + 0)]$$

$$FB = 301$$

Para la interacción 1 – 10

$$FB = 1[3 (0 + 90) + 5 (2 + 0) + 2 (2 + 0)]$$

$$FB = 284$$

Para la interacción 9 – 12

$$FB = 1[3 (40 + 0) + 5 (0 + 0) + 2 (1 + 0)]$$

$$FB = 122$$

Para la interacción 10 - 12

