



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES DE LA EMPRESA
ARTINDUSTRIA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA,
DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**

Luis Manuel de Jesús Tucubal Rangel

Asesorado por el M.A. Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel

Guatemala, febrero de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES DE LA EMPRESA
ARTINDUSTRIA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA,
DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS MANUEL DE JESÚS TUCUBAL RANGEL
ASESORADO POR EL M.A. ING. JAIME HUMBERTO BATTEN ESQUIVEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Juan José Peralta Dardón
EXAMINADORA	Inga. Sindy Massiel Godínez Bautista
EXAMINADOR	Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES DE LA EMPRESA ARTINDUSTRIA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 18 de agosto de 2017.



Luis Manuel de Jesús Tucubal Rangel



Guatemala, 09 de octubre de 2018.
REF.EPS.DOC.837.10.18.

Ingeniera
Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Inga. Classon de Pinto:

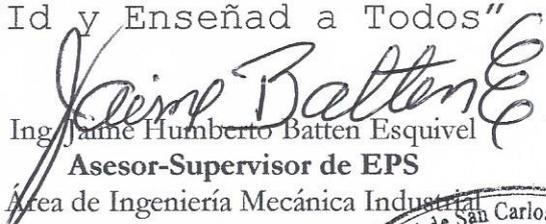
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería, **Luis Manuel de Jesús Tucubal Rangel, Registro Académico No. 201020475** procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES DE LA EMPRESA ARTINDUSTRIA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel

Asesor-Supervisor de EPS

Área de Ingeniería Mecánica Industrial



JHBE/ra



REF.REV.EMI.160.018

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES DE LA EMPRESA ARTINDUSTRIAL, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO,** presentado por el estudiante universitario **Luis Manuel de Jesús Tucubal Rangel,** apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Juan José Peralta Dardón
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2018.

/mgp



Guatemala, 09 de octubre de 2018.
REF.EPS.D.386.10.18

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Presente

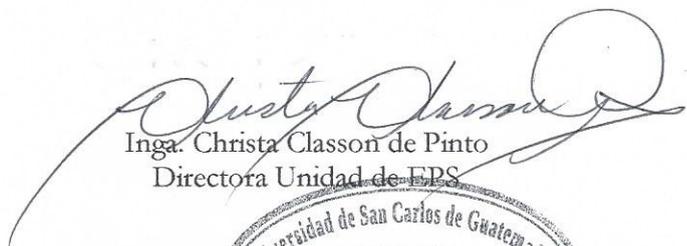
Estimado Ingeniero Urquizú Rodas.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES DE LA EMPRESA ARTINDUSTRIA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**, que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Luis Manuel de Jesús Tucubal Rangel** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Jaime Humberto Batten Esquivel.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor-Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora, apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS

CCdP/ra





REF.DIR.EMI.015.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES DE LA EMPRESA ARTINDUSTRIA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO**, presentado por el estudiante universitario **Luis Manuel de Jesús Tucubal Rangel**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, enero de 2019.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial del trabajo de graduación titulado: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN Y MEJORA DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES DE LA EMPRESA ARTINDUSTRIA, UBICADA EN EL MUNICIPIO DE TECPÁN GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE CHIMALTENANGO”** presentado por el estudiante universitario: **Luis Manuel de Jesús Tucubal Rangel** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, Febrero de 2019

/echm

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por prestarme la vida, brindarme salud y ser mi fuente de conocimiento, sabiduría, entendimiento y fortaleza que me hacen una mejor persona y por proveerme de paciencia en los momentos más difíciles de mi vida.

Virgen de Guadalupe

Por ser mi patrona a quién me he encomendado todos los días de mi vida. Gracias madre mía por tu intercesión, bendición y protección hacia mí y mi familia.

Mi padre

Luis Alberto Tucubal, por sus enseñanzas, regaños y lecciones de vida que me han hecho la persona que soy; por compartir conmigo cada una de mis madrugadas de viaje y por todo el apoyo que siempre me ha brindado durante estos años de estudio. Siempre te estaré agradecido.

Mi madre

Esther Rangel, por su apoyo incondicional, amor, dedicación, valores que me ha inculcado y consejos que me ha brindado a lo largo de mi vida. Gracias por estar conmigo en las buenas y malas y escucharme en los momentos difíciles de mi vida.

Mi novia

Melina Alacán, por ser mi compañera de viaje y de vida, ella me ha acompañado, apoyado y ha luchado junto a mí día con día compartiendo conmigo los momentos más dichosos y difíciles que he vivido durante esta carrera, gracias a todo su apoyo he podido alcanzar ésta primer meta.

Mis hermanas

Luisa y Catherine, por darme ánimos y brindarme su apoyo en todo momento a lo largo de mi vida.

Mis abuelas

Bertha Moreira y María Alejandra Sacbajá, por tenerme presente en sus oraciones y brindarme sus sabias palabras de aliento para siempre luchar por mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mí segundo hogar durante los años de mi formación profesional.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos técnicos necesarios para formarme en esta profesión.

**Mis amigos y
compañeros de la
Facultad**

Quienes compartieron conmigo las aulas de esta casa de estudios, con los que compartimos momentos de mucha alegría y también etapas difíciles.

**Catedráticos de
la Facultad**

Quienes me brindaron los conocimientos necesarios y parte de su experiencia para poderme formar en esta carrera.

Ing. Jaime Batten

Por el apoyo, asesoría, conocimientos, experiencias y tiempo dedicado para orientarme, corregirme y ayudarme a mejorar el desarrollo de este proyecto.

Ing. Juan Carlos Bregni

Por brindarme sus conocimientos y solventar algunas de dudas que surgieron durante el desarrollo de este proyecto.

Luis Fernando García

Por darme la oportunidad de desarrollar el proyecto en su empresa.

Edwin Galindo

Por todo su apoyo y colaboración en la realización de este proyecto.

**Los colaboradores
de Artindustria**

Por el apoyo y la disposición que tuvieron para el desarrollo del programa.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	1
1.1. Datos generales	1
1.1.1. Nombre.....	1
1.1.2. Ubicación.....	1
1.1.3. Antecedentes.....	2
1.1.4. Misión	3
1.1.5. Visión.....	3
1.1.6. Valores	3
1.1.7. Política.....	4
1.1.8. Recursos.....	4
1.1.8.1. Físicos	4
1.1.8.2. Humanos	7
1.2. Estructura organizacional	7
1.2.1. Organigrama.....	8
1.2.2. Actividades actuales.....	9
1.2.2.1. Productos que fabrican.....	9
1.2.2.2. Presencia a nivel nacional	10
1.2.2.3. Presencia a nivel internacional	10

2.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MUEBLES DE LA EMPRESA ARTINDUSTRIA.....	11
2.1.	Condiciones actuales	11
2.1.1.	Descripción de la situación actual de la planta de producción de Artindustria.....	11
2.1.1.1.	Análisis de la situación actual mediante diagrama de causa y efecto.....	13
2.1.2.	Forma de suministro actual de aire comprimido.....	15
2.1.2.1.	Estado actual de los compresores	16
2.1.2.1.1.	Caudal teórico de aire comprimido suministrado por los compresores.	20
2.1.2.1.2.	Relación entre compresores y equipos.....	21
2.2.	Propuesta de mejora	24
2.2.1.	Herramienta neumática	24
2.2.1.1.	Especificaciones técnicas de cada herramienta neumática.....	25
2.2.1.2.	Consumo individual de la herramienta neumática en metros cúbicos/minuto	29
2.2.1.3.	Cálculo de caudal a abastecer para la herramienta neumática	29
2.2.2.	Maquinaria neumática	30

2.2.2.1.	Especificaciones técnicas de la maquinaria neumática	30
2.2.2.2.	Consumo individual de cada máquina neumática en metros cúbicos por minuto.....	36
2.2.2.3.	Cálculo de caudal a abastecer para la maquinaria neumática.....	39
2.2.3.	Caudal necesario para alimentar al sistema.....	40
2.2.4.	Presión de trabajo para el circuito neumático	41
2.2.5.	Selección de la tubería para el circuito neumático..	42
2.2.5.1.	Tipo de material para tubería.....	42
2.2.5.2.	Cálculo del diámetro de la tubería	43
2.2.5.3.	Aislamiento de la tubería	45
2.2.6.	Selección del tipo de circuito para la red de aire comprimido	46
2.2.7.	Número de tomas de aire comprimido.....	47
2.2.8.	Distribución de las unidades de mantenimiento.....	48
2.2.9.	Diagrama neumático del circuito.....	49
2.2.10.	Ambiente de trabajo.....	51
2.2.11.	Selección de la maquinaria para el circuito neumático	55
2.2.11.1.	Selección del tipo de compresor.....	55
2.2.11.2.	Selección de la potencia del compresor.....	57
2.2.11.3.	Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento	58
2.2.11.4.	Selección del tipo de secador	61
2.2.12.	Cuarto de máquinas	62

2.2.12.1.	Cálculo de la cimentación para el cuarto de máquinas.....	63
2.2.12.2.	Diseño del cuarto de máquinas y distribución de la maquinaria neumática.....	65
2.2.12.3.	Diagrama de distribución de maquinaria.....	66
2.2.12.4.	Cálculo del material eléctrico para el funcionamiento del cuarto de máquinas.....	67
2.2.13.	Descripción sobre el funcionamiento del circuito neumático.....	69
2.2.14.	Mantenimiento del circuito neumático	70
2.2.14.1.	Ventajas del mantenimiento en una red de aire comprimido.....	71
2.2.14.2.	Programación de mantenimiento.....	71
2.2.14.3.	Controles de mantenimiento.....	73
2.2.14.3.1.	Control de mantenimiento para la herramienta neumática.....	73
2.2.14.3.2.	Control de mantenimiento para la maquinaria neumática...	75
2.2.14.3.3.	Control de mantenimiento para la tubería	76

	2.2.14.3.4.	Control de mantenimiento para el compresor.....	77
	2.2.15.	Costos	78
	2.2.15.1.	Material, equipo, herramientas y cuarto de máquinas	78
	2.2.15.2.	Mano de obra.....	78
3.		PROPUESTA DE MEJORA AL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES	81
	3.1.	Edificio industrial.....	81
	3.1.1.	Dimensiones de la planta	81
	3.1.2.	Tipo de edificio.....	82
	3.1.3.	Techo industrial	83
	3.1.4.	Ventilación industrial.....	85
	3.1.5.	Piso industrial	88
	3.1.6.	Pintura industrial	89
	3.1.7.	Iluminación industrial	90
	3.1.8.	Control de ruido	97
	3.2.	Diagramas actuales.....	100
	3.2.1.	Diagrama de operaciones actual	100
	3.2.2.	Diagrama de flujo de operaciones actual.....	102
	3.3.	Estudio de tiempos	104
	3.3.1.	Selección del operario	104
	3.3.2.	Calificación del operario	104
	3.3.3.	Método para la toma de tiempos	107
	3.3.4.	Determinar el número de observaciones	107
	3.3.5.	Cálculo del tiempo promedio	110
	3.3.6.	Cálculo del tiempo estándar	112

	3.3.6.1.	Tiempo normal	112
	3.3.6.2.	Tiempo estándar	115
3.4.		Diagramas mejorados	118
	3.4.1.	Diagrama de operaciones mejorado	118
	3.4.2.	Diagrama de flujo de operaciones mejorado	120
3.5.		Distribución de planta.....	122
	3.5.1.	Tipo de distribución de planta.....	122
	3.5.2.	Distribución de maquinaria	124
	3.5.3.	Distribución de los lugares de trabajo	127
3.6.		Indicadores.....	127
	3.6.1.	Productividad.....	127
3.7.		Balance de líneas.....	129
	3.7.1.	Cálculo de eficiencia	129
	3.7.2.	Número de personas	131
	3.7.3.	Producción	133
4.		CAPACITACIÓN AL PERSONAL	137
	4.1.	Diagnóstico de las necesidades de capacitación	137
	4.2.	Plan de capacitación	139
	4.2.1.	Seguridad en instalaciones neumáticas	140
		4.2.1.1. Normas y recomendaciones de seguridad y salud ocupacional	141
		4.2.1.2. Señalización	142
		4.2.1.3. Normas para aplicación de colores	145
		4.2.1.4. Colores para tubos de aire comprimido.....	146
	4.2.2.	Programa de actividades.....	147
	4.2.3.	Contenido de la capacitación	148
	4.2.4.	Metodología.....	149

4.3.	Evaluación	150
4.4.	Resultados.....	154
CONCLUSIONES		155
RECOMENDACIONES		157
BIBLIOGRAFÍA.....		159
APÉNDICES		163
ANEXOS.....		175

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de ubicación de planta de producción de Artindustria	2
2.	Organigrama de Artindustria	8
3.	Diagrama de causa y efecto.....	14
4.	Compresor Ingersoll Rand T-30	17
5.	Compresor Dari trend.....	18
6.	Compresor Campbell Hausfeld VT6183.....	19
7.	Clavadora Dewalt DWFP12231	25
8.	Clavadora de rollo Senco PalletPro 57FXP.....	26
9.	Lijadora orbital Dynabrade 56826	27
10.	Pistola de aire Asturo E70.....	28
11.	Ensambladora QUICK.....	31
12.	Espigadora Balestrini 2-TAO.....	32
13.	Escopleadora Greda MDA	33
14.	Pantógrafo Cosmec 1000.....	34
15.	Calibradora SCM sandya CL110.....	35
16.	Especificaciones técnicas para la tubería de aluminio	45
17.	Cinta adhesiva una cara conductora-disipadora 3M 425	46
18.	Configuración de circuito abierto de aire comprimido.....	47
19.	Unidad de mantenimiento	48
20.	Diagrama del circuito neumático planta de producción	50
21.	Atlas climatológico niveles de humedad relativa promedio anual	52
22.	Atlas climatológico isotermas de temperatura promedio anual	53
23.	Atlas climatológico velocidad del viento promedio anual.....	54

24.	Compresor de tornillo serie SFC 45S	56
25.	Especificaciones técnicas serie SFC 45S.....	56
26.	Tanque de almacenamiento	59
27.	Especificaciones técnicas tanques de almacenamiento	60
28.	Secador serie SECOTEC TD 44.....	61
29.	Datos técnicos secador serie SECOTEC TD 44.....	62
30.	Dimensiones y emparrillado para la cimentación del cuarto de máquinas	64
31.	Dimensiones del cuarto de máquinas.....	66
32.	Distribución de equipos en el cuarto de máquinas.....	67
33.	Formato control de mantenimiento herramienta neumática.....	74
34.	Formato control para mantenimiento maquinaria neumática	75
35.	Formato de control para mantenimiento de la tubería	76
36.	Formato de control para mantenimiento del compresor.....	77
37.	Dimensiones de la planta de producción de muebles de la empresa Artindustria.....	82
38.	Planta de producción	83
39.	Techo industrial de una sola agua	84
40.	Techo de industrial de dos aguas	84
41.	Dimensiones de la planta baja de producción	86
42.	Dimensiones de la planta alta de producción	87
43.	Distribución de luminarias en la planta baja.....	93
44.	Distribución de luminarias en la planta alta.....	96
45.	Sonometro Radioshack 33-2055	97
46.	Orejeras y tapones.....	99
47.	Diagrama de operaciones actual para la elaboración de sillas	101
48.	Diagrama flujo de operaciones actual elaboración de sillas	103
49.	Sistema Westinghouse para calificar las habilidades	105
50.	Sistema Westinghouse para calificar el esfuerzo	105

51.	Sistema Westinghouse para calificar las condiciones	106
52.	Sistema Westinghouse para calificar las consistencias	106
53.	Número recomendado de ciclos de observación	108
54.	Calificación del desempeño	112
55.	Diagrama de operaciones mejorado para la elaboración de sillas	119
56.	Diagrama flujo de operaciones mejorado de elaboración de sillas	121
57.	<i>Layout</i> distribución de planta.....	123
58.	Distribución de equipos	126
59.	Diagrama de causa y efecto para determinar las necesidades de capacitación	138
60.	Forma de aplicación de color básico y complementario en tubería industrial.....	143
61.	Señalización de la dirección de flujo	144
62.	Visibilidad de la tubería	145
63.	Tabla de colores para tuberías industriales.....	147
64.	Encuesta básica previa a capacitación	151
65.	Formato de evaluación realizada a los colaboradores	153

TABLAS

I.	Máquinas y herramientas que utilizan aire comprimido.....	12
II.	Compresores utilizados actualmente	13
III.	Especificaciones técnicas de compresor Ingersoll Rand T-30	17
IV.	Especificaciones técnicas de compresor Dari Trend.....	18
V.	Especificaciones técnicas compresor Campbell Hausfeld VT6183.....	19
VI.	Caudal de aire comprimido suministrado por los compresores.....	20
VII.	Consumo individual y relación entre compresores y máquinas/herramientas.....	21
VIII.	Especificaciones técnicas de la clavadora Dewalt DWFP12231	25

IX.	Especificaciones técnicas de clavadora de rollo Senco PalletPro 57FXP	26
X.	Especificaciones técnicas de lijadora orbital Dynabrade 56826	27
XI.	Especificaciones técnicas de pistola de aire Asturo E70	28
XII.	Consumo individual de cada herramienta neumática	29
XIII.	Especificaciones técnicas ensambladora QUICK	31
XIV.	Especificaciones técnicas de espigadora Balestrini 2-TAO	32
XV.	Especificaciones técnicas de escopleadora Greda MDA.....	33
XVI.	Especificaciones técnicas de pantógrafo COSMEC 1000	34
XVII.	Especificaciones técnicas de calibradora SCM sandya CL110	35
XVIII.	Resumen de consumo individual de máquinas neumáticas	39
XIX.	Presiones de trabajo para herramienta neumática	41
XX.	Presiones de trabajo para maquinaria neumática.....	41
XXI.	Accesorios necesarios para el circuito neumático	49
XXII.	Material eléctrico necesario para el cuarto de compresores.....	69
XXIII.	Programación de mantenimiento para cada elemento que conforma el circuito neumático	72
XXIV.	Costos del circuito neumático	78
XXV.	Costos de mano de obra.....	79
XXVI.	Alturas ideales y niveles de reflectancia para planta baja.....	90
XXVII.	Alturas ideales y niveles de reflectancia para planta alta.....	94
XXVIII.	Niveles de ruido en las diferentes áreas de trabajo	98
XXIX.	Número de observaciones en los procesos para cada área	109
XXX.	Tiempo promedio para la elaboración de sillas.....	111
XXXI.	Tiempo normal para la elaboración de sillas.....	114
XXXII.	Suplementos asignables en la elaboración de sillas.....	115
XXXIII.	Tiempo estándar para la elaboración de sillas.....	117
XXXIV.	Valores para coeficiente K	125
XXXV.	Valores para superficies método de Guerchet.....	125

XXXVI.	Tiempo estándar para cada estación de trabajo	130
XXXVII.	Tiempo estándar permitido.....	130
XXXVIII.	Número de trabajadores por operación.....	133
XXXIX.	Operación más lenta	134
XL.	Capacitación	148
XLI.	Contenido de la capacitación	148

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
w	Ancho
HP	Caballo de fuerza
Q_h	Caudal de aire comprimido de herramientas
Q_M	Caudal de aire comprimido de máquinas
Q_S	Caudal de aire comprimido del sistema
Db	Decibeles
gal	Galón
gal/min	Galones por minuto
°	Grados
kg	Kilogramo
kW	Kilowatt
L	Largo
Psi	Libras por pulgada cuadrada
l	Litro
NI/min	Litros normales por minuto
l/min	Litros por minuto
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
m³/h	Metro cúbico por hora
m³/min	Metro cúbico por minuto
m/s	Metro por segundo

min	Minutos
mm	Milímetro
π	Pi
'	Pies
cfm	Pies cúbicos por minuto
%	Porcentaje
"	Pulgada
Q	Quetzales
R_q	Requerimiento
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
TE	Tiempo estándar
TN	Tiempo normal
Te	Tiempo promedio
V	Volts

GLOSARIO

Aire comprimido	Masa de aire que se encuentra a una presión mayor que la atmosférica cuyo volumen se ha disminuido por compresión mediante un compresor.
Aislante	Material que tiene la capacidad de impedir la transmisión de energía en cualquiera de sus formas.
Calibradora	Máquina utilizada para lijar y homogenizar el espesor de la madera con la que se está trabajando.
Caudal	Es la cantidad de flujo líquido o gaseoso que circula por una tubería por unidad de tiempo.
Cavidad zonal	Método utilizado para realizar cálculos de iluminación interior y determinar el número necesario de luminarias para proveer iluminación uniforme en un espacio de trabajo.
CFM	Unidad inglesa que significa pies cúbicos por minuto (en inglés cubic feet per minute), mide el caudal o flujo de un gas o líquido, indicando el volumen en pies cúbicos que pasa por una sección determinada por unidad de tiempo.

Circuito neumático	Instalación que utiliza el aire comprimido para generar, mover y transmitir fuerzas para hacer funcionar un mecanismo.
Clavadora	Herramienta neumática utilizada en la fabricación de muebles para la inserción de clavos a presión de diferentes medidas.
Compresor	Máquina que reduce el volumen de un fluido compresible para incrementar la presión.
Consumo	Es la cantidad de aire que necesita una instalación neumática para hacer funcionar máquinas y herramientas.
Corrosión	Deterioro de un material a causa de un alto impacto electroquímico de carácter oxidativo en su entorno.
Cuarto de máquinas	Espacio físico donde se ubican los equipos que producen y suministran aire comprimido al circuito neumático.
Diagrama de flujo	Es una representación gráfica de todas las operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenamientos que ocurren durante un proceso. El diagrama incluye información que se considera deseable para el análisis, como el tiempo que se requiere y la distancia que se debe recorrer.

Diagrama de operaciones	Es la representación gráfica de todas las operaciones e inspecciones que forman parte de un proceso. En este diagrama no se representan ni las demoras, ni los transportes, ni los almacenamientos.
Ensambladora	Máquina utilizada para ensamblar a presión múltiples partes de madera de igual grosor para formar tableros o unir piezas.
Escopleadora	Máquina que permite efectuar huecos dentro de las piezas de madera que se quiere trabajar.
Espigadora	Máquina que realiza calados para espigas sobre piezas de madera necesarias para acoplarlas con otras piezas.
Estudio de tiempos	Técnica utilizada para determinar con mayor exactitud el tiempo necesario para llevar a cabo una tarea u operación determinada.
Flujo luminoso	Cantidad de lúmenes que emite una lámpara.
Hormigón	Material utilizado en la construcción que se compone de rocas, cemento, aditivos y agua.
HP	Unidad del sistema anglosajón que es utilizado para medir potencia con el nombre de <i>horsepower</i> .

Lijadora orbital	Son herramientas motorizadas portátiles que se emplean para lijar y darle el acabado superficial deseado.
Luxes	Es la unidad del sistema internacional de medidas para medir el nivel de iluminación.
Mantenimiento	Conjunto de actividades que se llevan a cabo para preservar el buen funcionamiento de equipos y herramientas para garantizar su disponibilidad y prolongar su vida útil.
Mantenimiento preventivo	Es el mantenimiento que tiene como misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones en el momento más oportuno. Suele ser de carácter sistemático, es decir, se interviene, aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de falla.
Neumática	Es la técnica que se dedica al estudio y aplicaciones prácticas del aire comprimido.
Pantógrafo	Máquina empleada para la realización de molduras y diferentes diseños rústicos en marcos de puerta, ventana y frentes de gaveta.
Pistola de aire	Herramienta utilizada para el proceso de barnizado donde pulveriza el barniz a través del aire comprimido.

Potencia	Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo. Puede indicarse en KW o en HP según especificaciones del fabricante.
PSI	Libras por pulgada cuadrada (Pounds per Square Inch, por sus siglas en inglés), es la unidad de presión del sistema inglés definida como la fuerza en “libras-fuerza” dividida el área en “pulgadas cuadradas”.
Secador refrigerativo	Equipo utilizado para eliminar la humedad del aire comprimido que se va a utilizar.
Suplementos	Son ajustes que se aplican en el estudio de tiempos al tiempo normal, en el cual se consideran las demoras personales de trabajo y factores ambientales.
Tanque de almacenamiento	Depósitos generalmente cilíndricos que se utilizan para contener una reserva suficiente de aire comprimido para su posterior utilización.
Tiempo estándar	Tiempo requerido para que un operario lleve a cabo una operación trabajando a un ritmo normal.
Tiempo normal	Tiempo requerido por el operario estándar para realizar la operación cuando trabaja con velocidad estándar, sin ninguna demora por razones personales o circunstancias inevitables.

Tiempo promedio	Es el empleado para llevar a cabo una tarea, con el fin de obtener el tiempo que se requiere para que un operario calificado realice la tarea si trabaja a un ritmo estándar.
Tubería de servicio	Son las que alimentan a las máquinas y herramientas neumáticas en el punto de manipulación.
Tubería principal	Es la línea de aire que sale del depósito o tanque de almacenamiento y canaliza la totalidad del caudal de aire.
Tubería secundaria	Son las que toman el aire de la tubería principal, ramificándose por las zonas de trabajo.
Unidad de mantenimiento	Accesorio que realiza las funciones de filtro, regulación de presión y lubricación para controlar el paso y la presión de aire del sistema neumático para que se mantenga constante.
Volumen	Es la cantidad de espacio que ocupa un cuerpo. En el sistema internacional se mide en m ³ .

RESUMEN

El diseño y construcción de un circuito neumático para la planta de producción de muebles de la empresa Artindustria, permitirá cumplir con la demanda actual de aire comprimido. Esto se realizará mediante el cálculo de consumo actual de todas las máquinas y herramientas neumáticas con las que cuenta la empresa, la selección del compresor que permita cumplir con lo demandado, el material y diámetro para la tubería del circuito, la presión adecuada para el correcto funcionamiento de todas las máquinas y herramientas, equipos para el cuarto de máquinas y demás accesorios que se emplearán.

En la fase de investigación de llevo a cabo un análisis del edificio industrial, estudio de ruidos, ventilación e iluminación industrial para plantear mejoras que puedan ser desarrolladas posteriormente y que permitan un buen desarrollo de todo el proceso productivo.

Se realizó un estudio de tiempos donde se eligió el proceso de elaboración de sillas, para determinar los tiempos de fabricación y los mismos puedan ser documentados para realizarle mejoras futuras, dado que los tiempos son muy extensos.

Para la fase de docencia, se capacitó al personal sobre temas relacionados con el circuito neumático, esto con la finalidad de que posean los conocimientos básicos como la presión de funcionamiento y consumo de cada máquina y herramienta, además es fundamental que lo dominen para poder operarlos de forma correcta, la falta de conocimiento ha provocado que los

equipos sufran constantes averías y esto eleve el costo de mantenimiento. De igual manera se les instruyó sobre el equipo de protección personal que están obligados a utilizar durante la operación y las precauciones que deben tomar al manipular aire comprimido para evitar cualquier accidente en el área de trabajo.

OBJETIVOS

General

Realizar diseño y construcción de un circuito neumático que permita abastecer de aire comprimido a la planta de producción de muebles de la empresa Artindustria.

Específicos

1. Determinar el consumo de aire para cada una de las máquinas y herramientas utilizadas en el proceso productivo.
2. Determinar la capacidad, tipo y potencia del compresor.
3. Determinar el tamaño óptimo del tanque de almacenamiento para el circuito neumático.
4. Determinar el tipo de material y diámetro de la tubería a utilizar para el diseño del circuito neumático.
5. Diseñar y desarrollar formatos de control y programación de mantenimiento para el circuito neumático.
6. Identificar cada una de las operaciones, transportes, demoras y demás elementos que retrasan el proceso productivo de muebles, a través de un estudio de tiempos y el diagrama de flujo de operaciones.

7. Realizar un programa de capacitación al personal sobre el funcionamiento y cuidados que deben considerar, para el correcto funcionamiento del circuito neumático.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el crecimiento de la competencia en la elaboración de muebles y artículos en madera ha provocado que la empresa Artindustria busque alternativas para mantener su competitividad en el mercado, por ello ha expandido su cartera de productos y servicios que se ajusten a las exigencias del cliente, buscando mayor agilidad en sus procesos.

En base a recomendaciones y estudios técnicos elaborados con anterioridad, el propietario y gerente general de la empresa da la autorización, para que se pueda llevar a cabo la recopilación de datos que permita darle solución al proceso de producción actual, este radica en la manera de suministrar aire comprimido a las máquinas y herramientas neumáticas que son utilizadas.

Ante lo expuesto, se plantea el diseño de un circuito neumático, que tendrá la capacidad de suministrar aire comprimido a todas las máquinas y herramientas de forma simultánea, esto permitirá un proceso más eficiente en los tiempos de fabricación. La construcción del circuito neumático le permitirá a la empresa abastecer y cubrir con las necesidades de la planta a mediano y largo plazo.

A fin de cumplir con la mejora continua de la empresa, se elaboró un análisis sobre las condiciones actuales de diseño que incluyó todo lo relacionado al edificio industrial como ventilación y estudio de ruidos, con el objetivo de realizar mejoras posteriores que permitan mejorar las condiciones de trabajo para los colaboradores.

Por medio de un estudio de tiempos se logró determinar el tiempo estándar para el proceso de elaboración de sillas, dato que la empresa no tiene hasta la fecha y que servirán de base para realizar cambios a corto plazo.

Artindustria siendo una empresa que se compromete con el bienestar de los trabajadores, aprobó la capacitación a su personal sobre temas relacionados con el circuito neumático, como la correcta utilización de los equipos neumáticos y los cuidados que deben tener al operarlos, como la señalización correspondiente para que tengan la capacidad de identificar la tubería del circuito.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1. Datos generales

Se presenta una descripción general de la empresa dando a conocer la historia desde sus inicios, la ubicación, misión, visión, valores, políticas, recursos, estructura organizacional, organigrama y las actividades que actualmente realizan tanto a nivel nacional como internacional.

1.1.1. Nombre

La empresa tiene por nombre Artindustria, de esta forma es conocida a nivel local, nacional y en Estados Unidos.

1.1.2. Ubicación

La empresa tiene su ubicación en la 3ra. avenida 4-13 zona 1 del municipio de Tecpán Guatemala, que está en el kilómetro 88,5 ruta CA-1 de la carretera interamericana.

Figura 1. **Mapa de ubicación de planta de producción de Artindustria**



Fuente: elaboración propia.

1.1.3. **Antecedentes**

Artindustria comienza sus operaciones en el año de 1990 fabricando sus primeros muebles con láminas de madera rústica como materia prima principal, modelando cada una de las piezas siguiendo y respetando las líneas orgánicas que solo la naturaleza puede proporcionar.

A lo largo de los años, ha incorporado otros materiales de primera calidad, siempre teniendo en cuenta un desarrollo sostenible y un equilibrio ecológico en su producción.

La empresa ha sumado a su equipo de trabajo arquitectos, ingenieros y Artistas, para llevar a cabo cada proyecto de construcción, diseño y decoración de cabañas, hoteles, restaurantes y oficinas gerenciales.

Todos los productos que elabora la empresa están desarrollados con un alto estándar de calidad ya que sus materiales y materias primas reciben los mejores acabados, barnices, selladores y agentes impermeabilizantes disponibles. Cada pieza, mueble o construcción, es supervisada por profesionales especializados, lo que garantiza calidad y durabilidad.

Actualmente Artindustria con más de 25 años de experiencia se ha convertido en el principal fabricante de muebles y cabañas en el país, ello se ve reflejado en grandes proyectos como las residencias San Carlos, Laguna del Pino, Tikal, Lago

de Atitlán, Lago de Panajachel, San Lucas Tolimán, Antigua Guatemala y Tecpán Guatemala.¹

1.1.4. Misión

“Somos una empresa competitiva a nivel nacional e internacional, con tradición artesanal que conserva al máximo las formas naturales de sus materias primas, para la elaboración de nuestros productos a través del recurso humano competente con una cultura de servicio y calidad”.²

1.1.5. Visión

“Llevar los productos artesanales a mercados internacionales”.³

1.1.6. Valores

- Desarrollo humano: nuestra gente es el mayor y recurso más importante.
- Calidad en el servicio: enfocamos nuestro compromiso y responsabilidad a servir con eficiencia y amabilidad a fin de captar y mantener la satisfacción de nuestros clientes.
- Honestidad: actuamos con integridad.
- Respeto: reconocemos los derechos innatos de los individuos y de la sociedad.
- Lealtad: sentido de identificación con nuestros objetivos y los de la empresa.
- Justicia: elegimos actuar siempre con base a la verdad dando a cada uno lo que le corresponde, incluyéndonos a nosotros mismos.
- Austeridad: vigilamos y controlamos los gastos para así disponer de mayores recursos en beneficio de la gente.

¹ Artindustria. <https://artindustria.com.gt/tecpan-guatemala.html>. Consulta: 25 de febrero de 2018.

² *Ibíd.*

³ *Ibíd.*

- Creatividad: respeto a la iniciativa como agente de cambio.⁴

1.1.7. Política

“Brindar artículos, muebles y cabañas de la mejor calidad y confort, garantizando la completa satisfacción del cliente a quien se le hace sentir rodeado de la naturaleza gracias a los diseños artísticos que respetan la forma orgánica de la madera”.⁵

1.1.8. Recursos

“Se toman como recursos de la empresa: maquinaria, equipo, vehículos, materia prima, herramientas, encargados de tienda, jefe de área y el personal que labora en la misma”.⁶

1.1.8.1. Físicos

Los recursos físicos son los que se encuentran dentro de la empresa y planta de producción para ser utilizados en el proceso productivo.

- Maquinaria
 - Sierras de banco
 - Cepillo
 - Sierra radial (escuadradora)
 - Re-aserradora industrial
 - Sierra de cinta

⁴ Artindustria. <https://artindustria.com.gt/tecpan-guatemala.html>. Consulta: 25 de febrero de 2018.

⁵ Ibíd.

⁶ Ibíd.

- Ensambladora
- Calibradora
- Pantógrafo (pin router)
- Compresores
- Cabina de barnizado
- Canteadoras
- Escopleadora
- Espigadora
- Trompo
- Lijadoras de rodillo
- Tennon cutter
- Lijadoras max
- Aserradero
- Afiladora de sierras de cinta
- Taladro de banco

- Equipo
 - Clavadoras neumáticas
 - Lijadoras orbitales eléctricas y neumáticas
 - Atornilladores eléctricos
 - Sierras caladoras
 - Motosierras
 - Sierra circular
 - Ingletadora compuesta
 - Rotomartillos
 - Bancos de trabajo

- Vehículos
 - Pick ups
 - Camión

- Materia prima
 - Madera de ciprés
 - Cubetas de barniz
 - Garrafas de thinner
 - Galones de pegamento
 - Galones de tinte de diferentes colores
 - Tornillos de diferentes tipos y tamaños
 - Lijas de diferente grano y tamaños
 - Clavos de diferentes medidas
 - Bisagras de distintos estilos y tamaños
 - Rieles telescópicos de diversos tamaños

- Herramientas
 - Martillos
 - Alicates
 - Pinzas
 - Sargentos
 - Serruchos
 - Ensambladoras manuales
 - Juegos de copas
 - Juegos de llaves
 - Juego de fresas para router

1.1.8.2. Humanos

La empresa cuenta con personal operativo para la producción, no están divididos por áreas puesto que todos tienen la habilidad de utilizar cada una de las máquinas y de apoyarse entre sí. En general una persona es la encargada de distribuir el trabajo, misma que recibe las indicaciones del propietario y gerente general.

Se cuenta con el área administrativa formada por un contador y un administrador, quienes son los encargados de llevar el control del personal operativo y de la compra de materia prima e insumos necesarios para la producción.

El alto mando está constituido por el gerente general y propietario, quien es el encargado de establecer la relación directa con el cliente para la venta de los productos y de realizar cada uno de los diseños para los diferentes amueblados que se fabrican en producción.

El área de ventas en las diferentes tiendas está a cargo de las hijas del propietario, quienes llevan el control de cada venta realizada y son las responsables de llevar los pedidos con las especificaciones del cliente a la administración.

1.2. Estructura organizacional

La estructura organizacional de Artindustria se basa en una combinación de organización lineal y organización funcional, siendo entonces lineofuncional, porque de la organización lineal se conserva la autoridad y responsabilidad que se transmite a través de un solo jefe para cada función, se ve reflejado

claramente ya que la decisión final la toma el gerente general y propietario quien luego da las indicaciones correspondientes a cada jefe de área; de la organización funcional se mantiene la especialización de cada actividad en una función, como se aprecia con los jefes administrativo, de producción y de ventas, quienes tienen personal a su cargo al que le delegan funciones específicas.

1.2.1. Organigrama

La siguiente imagen muestra la forma en que está constituida la estructura organizacional de Artindustria.

Figura 2. Organigrama de Artindustria



Fuente: Artindustria. <https://artindustria.com.gt/tecpan-guatemala.html>. Consulta: 25 de mayo de 2017.

1.2.2. Actividades actuales

En la actualidad la empresa tiene sus proveedores de madera quienes la llevan en forma de trozas para ser cortadas en el aserradero, según las necesidades e indicaciones del propietario a fin de aprovecharla al máximo.

1.2.2.1. Productos que fabrican

Atendiendo a las exigencias del mercado Artindustria se ha preocupado por ofrecer productos únicos que se adaptan a los gustos del cliente, cuidando factores como ergonomía, la forma orgánica de la madera, barnices de alta calidad haciendo de sus productos piezas únicas en el mercado. La empresa actualmente ofrece los siguientes productos y servicios:

- Elaboración de juegos completos de:
 - Salas
 - Comedores
 - Dormitorios
 - Cocinas
 - Puertas y ventanas

- Planificación y elaboración de cabañas de todo tipo según los gustos de cliente.

- Accesorios para el hogar, oficinas y centros comerciales.

1.2.2.2. Presencia a nivel nacional

A nivel nacional la empresa cuenta con tres salas de venta que están ubicadas en los siguientes lugares:

- Portal Paulinos, km 87,5 carretera interamericana, Tecpán Guatemala.
- Pueblo Real, km 82 carretera interamericana, Tecpán Guatemala.
- Centro comercial Deco City, km 22,5 carretera a El Salvador.

1.2.2.3. Presencia a nivel internacional

La empresa ha participado desde hace varios años en la feria más importante del oeste de los Estados Unidos que es Las Vegas Market, en donde ha dado a conocer toda su cartera de productos para los clientes más exigentes del mercado.

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CIRCUITO NEUMÁTICO PARA LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE MUEBLES DE LA EMPRESA ARTINDUSTRIA

2.1. Condiciones actuales

Se presenta la forma en que la empresa ha operado desde sus inicios hasta la actualidad, las actividades que se desarrollaron para determinar el estado en que se encuentra cada uno de los equipos y la forma de producir, suministrar y utilizar aire comprimido.

2.1.1. Descripción de la situación actual de la planta de producción de Artindustria

La empresa no cuenta con ningún antecedente sobre diseño y funcionamiento de un circuito neumático para abastecer máquinas y herramientas neumáticas utilizadas en la línea de producción de muebles, el presente partirá de cero.

En primer lugar, se realizó un recorrido e inspección visual de toda la planta de producción, donde se identificaron cinco máquinas que utilizan aire comprimido para desarrollar parte de su funcionamiento, y tres tipos de herramientas neumáticas con las que cuenta la empresa actualmente (tabla I), las máquinas y herramientas restantes son alimentadas únicamente por electricidad y no son objeto directo de estudio.

Tabla I. **Máquinas y herramientas que utilizan aire comprimido**

Máquinas		Herramienta	
Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
Pantografo (Pin Router)	1	Lija orbital	2
Calibradora	1	Clavadora	3
Espigadora	1	Pistola de aire	1
Escopladora	1		
Ensambladora	1		
Totales	5	Totales	6

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el estado en el que se encuentran la maquinaria y herramienta neumática de la empresa se utilizó una lista de verificación donde se evaluó el funcionamiento, la presencia de ruidos extraños, fugas, almacenaje, condiciones de servicio, lubricación, estado general y condiciones de limpieza, (ver apéndice 1).

El suministro de aire se lleva a cabo con tres compresores que se enlistaron en la tabla II, clasificándolos de mayor a menor de acuerdo con la potencia, nombrándolos compresor 1, compresor 2 y compresor 3, respectivamente.

Tabla II. **Compresores utilizados actualmente**

Compresores	Potencia	
	HP	kW
Compresor 1 (Ingersoll rand t-30)	10	7,5
Compresor 2 (Campbell Hausfeld VT6183)	2	1,5
Compresor 3 (Dari Trend)	2	1,5

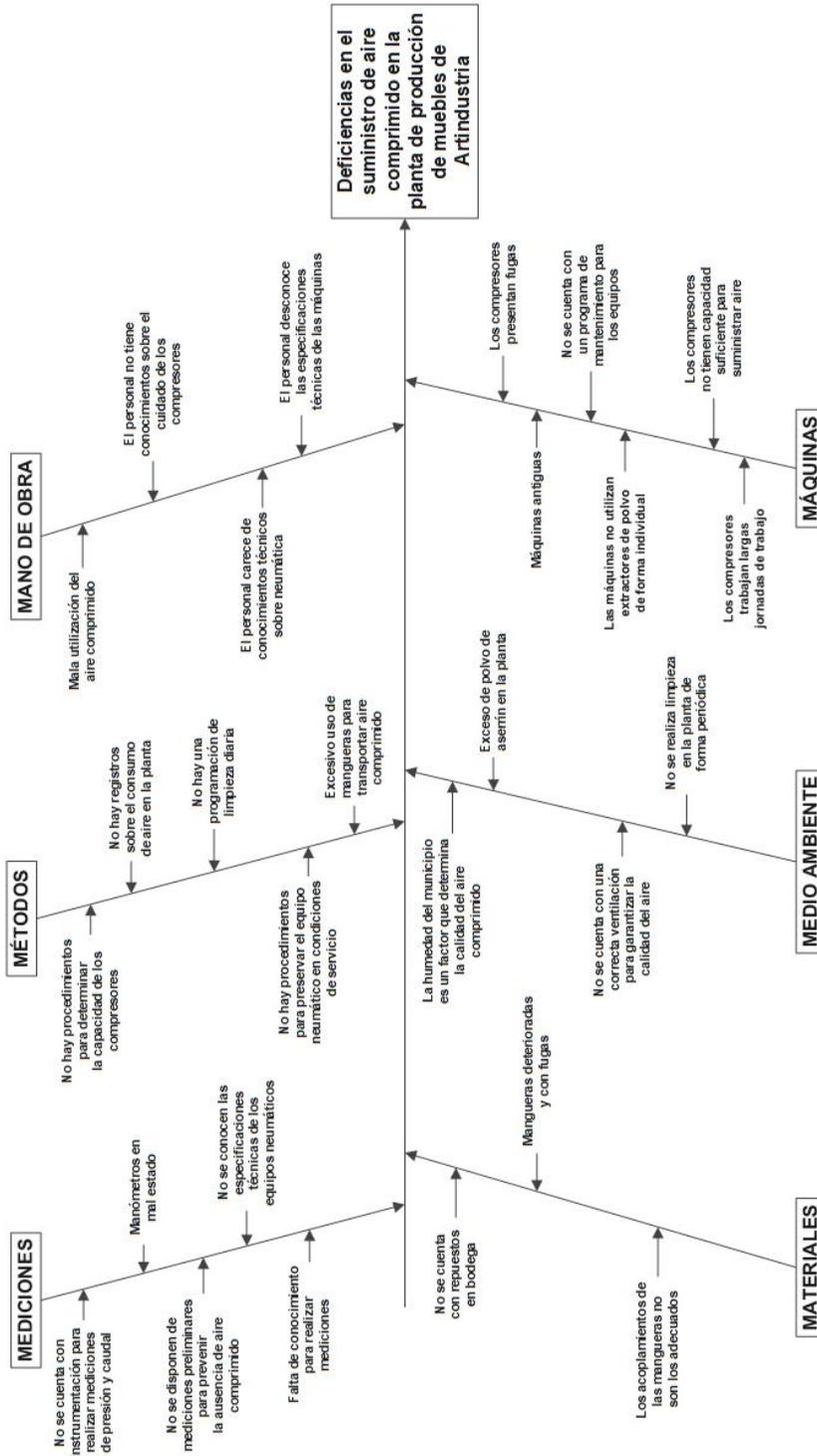
Fuente: elaboración propia.

2.1.1.1. Análisis de la situación actual mediante diagrama de causa y efecto

Para analizar la situación actual se empleó el diagrama de causa y efecto (Ishikawa o espina de pescado), para relacionar el problema central que es la deficiencia en el suministro de aire comprimido en la planta de producción de la empresa, con las posibles causas que lo provocan directa o indirectamente.

Para su construcción se realizó una lluvia de ideas en la que participó el personal operativo y se empleó el método de las 6 M: mano de obra, métodos de trabajo, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente para determinar las diferentes causas que originan el problema central. El formato utilizado para la lluvia de ideas se encuentra en el apéndice 2.

Figura 3. Diagrama de causa y efecto



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2016.

En la figura 3, se muestran las causas que dan lugar al efecto (problema central), también se puede concluir lo siguiente: la deficiencia en el suministro de aire comprimido radica en que los compresores trabajan en un ambiente inadecuado, debido al polvo de aserrín que se acumula por la falta de limpieza en la planta, y que los trabajadores al hacer mal uso del aire utilizándolo en labores de limpieza personal, máquinas y herramientas, provocan un ambiente sucio para la aspiración de aire de calidad, los trabajadores por su parte carecen de conocimientos técnicos sobre el buen uso de aire comprimido y de las especificaciones técnicas de cada máquina y herramienta neumática, al operarlas no se tiene la certeza de que trabajen de acuerdo a las especificaciones técnicas, porque la falta de métodos para determinarlo y equipo para medirlo hacen que se desconozca estos factores importantes. Las fugas están presentes tanto en los compresores como en las mangueras, en los primeros porque carecen de un buen plan de mantenimiento y por las largas jornadas de trabajo, mientras que en las segundas se debe a que están muy deterioradas o que se adquieren otras de mala calidad.

2.1.2. Forma de suministro actual de aire comprimido

En la actualidad el suministro de aire comprimido a cada máquina y herramienta es de forma directa, por medio de mangueras que son conectadas a la salida de la toma de aire de cada compresor y luego conectadas a cada máquina y herramienta que se vaya a utilizar en el proceso, esta forma de operar de la empresa no garantiza que se trabaje bajo las condiciones necesarias de servicio, ya que a una presión mayor de lo recomendado se corre el riesgo de dañar los equipos de forma parcial o permanente,

Cabe mencionar que las máquinas no cuentan con especificaciones técnicas y el personal operativo tampoco tiene conocimiento de ello, esto

provoca que se pongan en marcha y las operen sin tener la certeza de que se esté trabajando bajo el rango de presión de operación que indica el fabricante, tampoco se sabe si los compresores entregan el caudal suficiente para que las máquinas realicen los trabajos correspondientes.

2.1.2.1. Estado actual de los compresores

Para determinar el estado en el que se encuentran los compresores en la empresa, se utilizó una hoja de verificación (ver apéndice 3), con la que se evaluaron diversos aspectos como la limpieza, estado físico, condiciones de servicio, fugas entre otros, con esto se determinó que presentan un deterioro muy notable, debido a los largos periodos de trabajo y las reparaciones correctivas que se les han hecho, el ambiente de trabajo al que están expuestos no es el adecuado para su funcionamiento, la gran cantidad de polvo de aserrín que ocasionan la pérdida de capacidad para generar aire comprimido que se ve reflejado al momento de operar las máquinas y herramientas neumáticas, donde claramente se ve reducida la capacidad de trabajo.

Además, se ha identificado que los compresores presentan fugas de aire en cada una de las tomas, esto provoca que la máquina o herramienta que se esté utilizando no reciba el caudal y presión necesaria para su funcionamiento.

Figura 4. **Compresor Ingersoll Rand T-30**



Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Especificaciones técnicas de compresor Ingersoll Rand T-30**

Modelo	Cabeza de compresión	Motor		Presión máxima bar g	Calderín Litros	Desplazamiento l/min	Revoluciones por minuto rpm	Dimensiones L x An x Al cm
		kW	Hp					
Sin Aceite								
OL5F55	OL5	4.0	5.5	8.6	270	690	820	146 x 64 x 112
OL5X55	OL5	4.0	5.5	8.6	-	690	820	106 x 54 x 59
OL5F75	OL5	5.5	7.5	8.6	270	930	1100	146 x 64 x 112
OL5X75	OL5	5.5	7.5	8.6	-	930	1100	106 x 54 x 59
OL10H100	OL10	7.5	10	8.6	500	1430	1135	187 x 70 x 129
OL10X100	OL10	7.5	10	8.6	-	1430	1135	128 x 66 x 65
OL15H200	OL15	15	20	8.6	500	1900	945	187 x 70 x 129
OL15X200	OL15	15	20	8.6	-	1900	945	128 x 66 x 65
OL25VH300	OL25	22	30	8.6	500	3300	1100	220 x 115 x 216
OL25X300	OL25	22	30	8.6	-	3300	1100	185 x 94 x 116

Fuente: CAGI. *Ingersoll Rand Industrial Technologies*. p.10.

Figura 5. **Compresor Dari trend**



Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Especificaciones técnicas de compresor Dari Trend**

Nome Name	Codice Code	Gruppo Pump	Serbatoio Tank	Potenza Power	Cilindri Cylinder	Press. max Max. press.	Lubrificato Lubricated	N. Giri RPM	Aria Aspirata Air Displaca.	Tensione freq. Voltage freq.	Peso Weight	Dimensione Dimensions	Codice a barre Ean code
			L.	HP/kw	n.	bar/PSI			l/min./CFM	Volts/Hz	kg/lbs	LxPxA/WxDxH	
DEC 50/2800-2M	28DC404FDR095	B2800	50	2/1,5	2	10/145	YES	1250	255/9	230/50	48/105,8	800x390x750	8017750259512
DEC 100/2800-2M	28FC404FDR096	B2800	100	2/1,5	2	10/145	YES	1250	255/9	230/50	62/138/7	1105x420x800	8017750259529
DEC 150/2800-2M	28HC404FDR137	B2800	150	2/1,5	2	10/145	YES	1250	255/9	230/50	85/187	1390x430x895	8017750260136
DEC 50/2800B-3M	28DC504FDR138	B2800B	50	3/2,2	2	10/145	YES	1570	330/11,6	230/50	50/110	875x375x790	8017750260143
DEC 100/2800B-3M	28FC504FDR139	B2800B	100	3/2,2	2	10/145	YES	1570	330/11,6	230/50	64/141	1105x420x800	8017750260150
DEC 100/2800B-3T	28FC541FDR140	B2800B	100	3/2,2	2	10/145	YES	1570	330/11,6	400/50	64/141	1105x420x800	8017750260167
DEC 150/2800B-3M	28HC504FDR105	B2800B	150	3/2,2	2	10/145	YES	1570	330/11,6	230/50	87/192	1390x430x895	8017750259628
DEC 200/2800B-3M	28LC504FDR097	B2800B	200	3/2,2	2	10/145	YES	1570	330/11,6	230/50	96/211,6	1520x445x1000	8017750259536
DEC 200/2800B-3T	28LC541FDR141	B2800B	200	3/2,2	2	10/145	YES	1570	330/11,6	400/50	96/211,6	1520x445x1000	8017750260174
DEC 200/3800B-4T	36LC601FDR142	B3800B	200	4/3	2	10/145	YES	1400	480/16,9	400/50	125/275,6	1520x445x1015	8017750260181
DEC 270/3800B-3M	36NC504FDR099	B3800B	270	3/2,2	2	10/145	YES	1100	390/13,8	230/50	146/322	1530x590x1175	8017750259550
DEC 270/3800B-4T	36NC601FDR100	B3800B	270	4/3	2	10/145	YES	1400	480/16,9	400/50	156/344	1530x590x1175	8017750259567

Fuente: Product Directory. *Dari Air Compressors. Piston air compressors. p.9.*

Figura 6. **Compresor Campbell Hausfeld VT6183**



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Especificaciones técnicas compresor Campbell Hausfeld VT6183**

Specifications	Resources	Also Viewed	How To Article	How To Video	Reviews
Air Compressor					
Compressor Tank Style			Horizontal		
Compressor Tank (Gallons)			20		
Compressor Horsepower			2.00		
Max PSI			135		
Compressor SCFM@40PSI			6.50		
Compressor SCFM@90PSI			5.50		
Compressor CFM@Max PSI			4.80		
Compressor Voltage			120/240		
Compressor Amps			15/7.5		
Compressor Phase			1		
Pump Type			Single Stage		
Compressor Wheel			10" Semi-Pneumatic		
Lubrication			Oil Lube		
Special Features			Metal Belt guard		
Compressor Duty Cycle			80/20		
dBa @ 3ft			82		

Fuente: Hokaido. <https://campbellhausfeld.com/air-compressor-20-gallon-horizontal-portable-single-stage-5-5cfm-2hp-120-240v-1ph-vt6183.html>. Consulta: 10 de junio de 2017.

2.1.2.1.1. Caudal teórico de aire comprimido suministrado por los compresores

El caudal teórico de aire comprimido que los compresores pueden entregar de forma individual según las especificaciones del fabricante se presenta a continuación:

- Compresor 1 = 1,43 m³/min
- Compresor 2 = 0,16 m³/min
- Compresor 3 = 0,25 m³/min

Se asume una reducción del 20% de la capacidad teórica de los compresores esto debido a las fugas presentes en cada compresor que han surgido por la falta de mantenimiento, las condiciones actuales de operación y la forma en que los colaboradores hacen uso de ellos, quedando los valores como se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. **Caudal de aire comprimido suministrado por los compresores**

Compresores	Caudal	
	Teórico	Real
	m ³ /min	m ³ /min
Compresor 1	1,43	1,14
Compresor 2	0,16	0,13
Compresor 3	0,25	0,20
Total	1,84	1,47

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.1.2. Relación entre compresores y equipos

Se ha establecido una relación entre compresores y máquinas/herramientas que permite tener una mejor comprensión de cómo opera la empresa en la actualidad y la forma en la que se está suministrando aire comprimido, en la cual se pudo determinar que la mayor carga de trabajo está asignada al compresor de mayor capacidad que es el compresor 1, el compresor 2 y compresor 3 únicamente tienen asignado una máquina o herramienta para distribución de aire.

Tabla VII. **Consumo individual y relación entre compresores y máquinas/herramientas**

Máquinas / herramientas	Consumo individual [m/min]	Cantidad	Subtotal	Compresor 1	Compresor 2	Compresor 3
Pantógrafo	0,73	1,00	0,73			
Calibradora	0,20	1,00	0,20			
Escopladora	0,19	1,00	0,19			
Espigadora	0,20	1,00	0,20			
Lijadora Orbital	0,51	2,00	1,02			
Clavadora Dewalt	0,08	1,00	0,08			
Clavadora Senco	0,23	1,00	0,23			
Ensambladora	0,15	1,00	0,15			
Pistola de barnizado	0,23	1,00	0,23			

Fuente: elaboración propia.

Claramente se puede observar que, el compresor 1 es utilizado para alimentar prácticamente el 90 % de los equipos, por ello es necesario

determinar si se está cumpliendo con el caudal demandado, para ello se hará uso de los datos mostrados en la tabla VII, con los cuales se podrá determinar si los compresores actualmente están cumpliendo con la demanda de aire comprimido para cada equipo, haciendo uso de la siguiente expresión:

$$R = Q_C - Q_E$$

Donde:

R = requerimiento de consumo

Q_C = caudal entregado por los compresores

Q_E = caudal utilizado por los equipos (máquinas/herramientas)

- Para el compresor 1 se conocen los siguientes datos:
 - $Q_{C1} = 1,14 \text{ m}^3/\text{min}$ (dato obtenido de la tabla VI)
 - $Q_E = 2,65 \text{ m}^3/\text{min}$

Requerimiento

- $R = Q_{C1} - Q_E$
- $R = 1,14 \text{ m}^3/\text{min} - 2,65 \text{ m}^3/\text{min}$
- $R = -1,51 \text{ m}^3/\text{min}$

El resultado negativo indica que la demanda de aire de los equipos es mayor a la cantidad entregada por el compresor 1, lo que significa que únicamente se podrán alimentar dos o a lo sumo tres máquinas o herramientas para desarrollar determinada tarea.

- Para el compresor 2 se conocen los siguientes datos:
 - $Q_{C2} = 0,13 \text{ m}^3/\text{min}$ (dato obtenido de la tabla VI)

- $Q_E = 0,15 \text{ m}^3/\text{min}$

Requerimiento

- $R = Q_{C2} - Q_E$
- $R = 0,13 \text{ m}^3/\text{min} - 0,15 \text{ m}^3/\text{min}$
- $R = -0,02 \text{ m}^3/\text{min}$

El resultado obtenido también es negativo esto indica que el compresor 2 no es capaz de proporcionar el caudal de aire comprimido necesario para que el equipo que alimenta pueda trabajar correctamente.

- Para el compresor 3 se conocen los siguientes datos:
 - $Q_{C3} = 0,20 \text{ m}^3/\text{min}$ (dato obtenido de la tabla VI)
 - $Q_E = 0,23 \text{ m}^3/\text{min}$

Requerimiento

- $R = Q_{C3} - Q_E$
- $R = 0,20 \text{ m}^3/\text{min} - 0,23 \text{ m}^3/\text{min}$
- $R = -0,03 \text{ m}^3/\text{min}$

El resultado es de valor negativo, esto indica que el compresor 3 tampoco tiene la capacidad de proporcionar el aire comprimido necesario para que funcione correctamente la pistola de barnizado, sin embargo, este compresor no suele ser empleado para atender la demanda de otro equipo.

En conclusión, la forma actual de alimentación presenta muchas deficiencias y no satisface la demanda de aire comprimido para todos los equipos utilizados, principalmente cuando existe una demanda elevada de fabricación de muebles y es necesario disponer de aire comprimido de calidad

en un momento determinado, se debe considerar la opción de adquirir un compresor de mayor capacidad para la generación de aire comprimido.

2.2. Propuesta de mejora

Luego de conocer las condiciones actuales de operación, los compresores utilizados, las máquinas y herramientas neumáticas, la forma de distribución de aire comprimido, las deficiencias con las que se han trabajado por años son notables, para contrarrestarlas se propone el diseño y construcción de un circuito neumático que abastecerá los equipos neumáticos de la planta de producción de muebles con la ventaja de poder realizar futuras ampliaciones y de incorporar maquinaria con mayor tecnología para agilizar sus procesos.

Para que el diseño del circuito neumático sea el adecuado es necesario realizar los cálculos correspondientes para determinar el consumo de herramientas y máquinas utilizadas, puesto que no se tiene contemplado a corto plazo renovar o hacer la compra de alguna otra máquina neumática para el proceso productivo. Con los datos obtenidos se podrá determinar la demanda de aire comprimido, el tipo y diámetro de tubería a utilizar, tipo y potencia del compresor y demás equipos que conformarán el circuito.

2.2.1. Herramienta neumática

La herramienta neumática que es utilizada cuenta con los datos necesarios para determinar el consumo de aire y la presión de operación. La herramienta neumática utilizada se encuentra en las siguientes áreas:

- Ensamble: clavadoras
- Lijado y pulido: lijadoras orbitales

- Acabado: pistola de aire

2.2.1.1. Especificaciones técnicas de cada herramienta neumática

Las herramientas que se utilizan actualmente corresponden a las marcas Dewalt, Senco, Dynabrade y Asturo ya que cuentan con una amplia variedad de productos, ofreciendo garantía, durabilidad y confiabilidad.

Figura 7. Clavadora Dewalt DWFP12231



Fuente: Dewalt Industrial Tool Co. *Instrucciones de operación Dewalt DWFP12231*. p. 1.

Tabla VIII. Especificaciones técnicas de la clavadora Dewalt DWFP12231

TOOL SPECIFICATIONS • CARACTÉRISTIQUES DE L'OUTIL • ESPECIFICACIONES DE LA HERRAMIENTA	
DWFP12231	
Height / Hauteur / Altura	9.8" (249 mm) / 249 mm (9,8 po) / 249 mm (9,8 pulg.)
Width / Largeur / Anchura	2.68" (68 mm) / 68 mm (2,68 po) / 68 mm (2,68 pulg.)
Length / Longueur / Longitud	10.24" (260 mm) / 260 mm (10,24 po) / 260 mm (10,24 pulg.)
Weight / Poids / Peso	2.65 lbs. (1,20 kg) / 1,20 kg (2,65 lb) / 2,65 lb (1,20 kg)
Recommended Operating Pressure / Pression de fonctionnement recommandée / Presión de funcionamiento recomendada	70 - 120 psig (5 to 8,4 kg/cm ²) / de 5 à 8,4 kg/cm ² (70 à 120 lb/po ²) / 70 - 120 psi (5 a 8,4 kg/cm ²)
Air Consumption per 100 cycles / Consommation d'air par 100 cycles / Consumo de aire por cada 100 ciclos	2.83 cfm @ 80 psi / 2,83 pi ³ /mn à 80 lb/po ² / 2,83 cfm a 80 psi
Loading capacity / Capacité de chargement / Capacidad óptima	100 Nails / 100 clous / 100 clavos

Fuente: Dewalt Industrial Tool Co. *Instrucciones de operación Dewalt DWFP12231*. p. 6.

Figura 8. **Clavadora de rollo Senco PalletPro 57FXP**



Fuente: Senco Brands, Inc. *Instrucciones de operación Senco PalletPro 57FXP*. p. 1.

Tabla IX. **Especificaciones técnicas de clavadora de rollo Senco PalletPro 57FXP**

Español ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	PAL57FXP		PAL100		PAL130	
Presión de operación mínima y máxima	4,9 - 8,4 bar	70 - 120 psi	4,9 - 8,4 bar	70 - 120 psi	4,9 - 8,4 bar	70 - 120 psi
Consumo de aire (60 ciclos por minuto)	86,94 liter	3,07 scfm	322,80 liter	11,40 scfm	322,80 liter	11,40 scfm
Entrada de aire	3/8 in. NPT	3/8 in. NPT	3/8 in. NPT	3/8 in. NPT	3/8 in. NPT	3/8 in. NPT
Velocidad máxima (ciclos por segundo)	3	3	2	2	2	2
Peso	2,67 kg	5,8 lbs.	5,24 kg	11,5 lbs.	5,8 kg	12,7 lbs.
Capacidad de clavos por cargador	ø2,1mm = 350 ø2,3mm = 300	ø.083 = 350 ø.090 = 300	225-300	225-300	120-225	120-225
Longitudes de los clavos	25 - 57 mm	1 in. - 2 1/4 in.	55 - 100 mm	2 1/4 in. - 4 in.	75 - 130 mm	3 in. - 5 1/8 in.
Mango del clavo	2,1 - 2,3 mm	.083 - .090	2,5 - 3,8 mm	.099 - .148	3,05 - 3,8 mm	.120 - .148
Tamaño de la herramienta: Altura	286 mm	11 1/4 in.	338 mm	13 1/4 in.	338 mm	13 1/4 in.
Tamaño de la herramienta: Longitud	302 mm	11 7/8 in.	418 mm	16 1/2 in.	479 mm	18 7/8 in.
Tamaño de la herramienta: Ancho (Cuerpo)	133 mm	5 1/4 in.	153 mm	6 in.	154 mm	6 in.

Fuente: Senco Brands, Inc. *Instrucciones de operación Senco PalletPro 57FXP*. p. 10.

Figura 9. Lijadora orbital Dynabrade 56826



Fuente: Dynabrade, Inc. *Instrucciones de operación Dynorbital Supreme*. p. 1.

Tabla X. Especificaciones técnicas de lijadora orbital Dynabrade 56826

<i>Especificaciones de la máquina</i>										
Número de modelo	Motor cv (W)	Motor RPM	Diámetro orbital Pulg. (mm)	Nivel de sonido dB(A)	Caudal de aire CFM/SCFM (LPM)	Presión del aire PSIG (bares)	Paso del husillo	Peso Libras (kg)	Longitud Pulg. (mm)	Altura Pulg. (mm)
56800	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	76 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1,0)	6 (152)	3-3/4 (95)
56803	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	83 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1,0)	8-1/4 (210)	3-3/4 (95)
56804	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	76 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1,0)	7 (178)	3-3/4 (95)
56815	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	78 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1,0)	6-1/2 (165)	3-5/8 (92)
56818	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	81 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1,0)	8-1/2 (216)	3-5/8 (92)
56819	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	78 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,2 (1,0)	7-1/4 (184)	3-5/8 (92)
56826	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	79 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,2 (1,0)	7 (178)	3-1/2 (89)
56829	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	79 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,2 (1,0)	9 (229)	3-1/2 (89)
56830	0,28 (209)	12.000	3/16 pulg. (5)	79 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,2 (1)	7-3/4 (197)	3-1/2 (89)
56840	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	76 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1)	6 (152)	3-3/4 (95)
56843	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	83 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1)	8-1/4 (210)	3-3/4 (95)
56844	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	76 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1)	7 (178)	3-3/4 (95)
56850	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	78 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1,0)	6-1/2 (165)	3-5/8 (92)
56853	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	81 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,1 (1)	8-1/2 (216)	3-5/8 (92)
56854	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	78 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,2 (1,0)	7-1/4 (184)	3-5/8 (92)
56859	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	79 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,2 (1)	7 (178)	3-1/2 (89)
56862	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	79 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,2 (1)	9 (229)	3-1/2 (89)
56863	0,28 (209)	12.000	3/32 pulg. (2)	79 dB(A)	3/18 (510)	90 (6,2)	5/16 pulg.-24 hembra	2,2 (1)	7-3/4 (197)	3-1/2 (89)

Especificaciones adicionales: Paso de entrada de aire de 1/4 pulg. NPT • Tamaño del diámetro interno de la manguera: 1/4 pulg. o 8 mm

Fuente: Dynabrade, Inc. *Instrucciones de operación Dynorbital Supreme*. p. 8.

Figura 10. **Pistola de aire Asturo E70**



Fuente: Sirca by Asturo. *Manual spray gun*. p. 4.

Tabla XI. **Especificaciones técnicas de pistola de aire Asturo E70**

TECHNICAL DATA	
Body weight:	15.3 oz.
Air consumption:	4.5-8 c.f.m.
Operating pressure:	50÷71 psi
Max pressure:	71 psi
Air inlet:	1/4 M

Fuente: Sirca by Asturo. *Manual spray gun*. p. 4.

2.2.1.2. Consumo individual de la herramienta neumática en metros cúbicos/minuto

El consumo individual para cada herramienta neumática está indicado en la tabla de las especificaciones técnicas de la sección anterior. En la tabla XII se presenta únicamente el consumo que servirá de base para cálculos posteriores.

Tabla XII. Consumo individual de cada herramienta neumática

Herramientas	Consumo
	m ³ /min
Lijadora orbital	0,51
Clavadora dewalt	0,08
Clavadora senco	0,23
Pistola de aire	0,22

Fuente: elaboración propia.

2.2.1.3. Cálculo de caudal a abastecer para la herramienta neumática

El cálculo del caudal de aire comprimido [Q_h] que consume toda la herramienta neumática actual se presenta a continuación:

- 2 lijadoras orbitales= 2 x 0,51 m³/min = 1,02 m³/min
- 2 clavadora dewalt= 2 x 0,08 m³/min = 0,16 m³/min
- 1 clavadora senco= 1 x 0,23 m³/min = 0,23 m³/min
- 1 pistola de aire= 1 x 0,22 m³/min = 0,22 m³/min

La sumatoria de los caudales individuales dará el total en m³/min de aire comprimido necesario para hacer funcionar todas las herramientas neumáticas, cuyo valor será:

- $Q_h = (1,02 \text{ m}^3/\text{min}) + (0,16 \text{ m}^3/\text{min}) + (0,23 \text{ m}^3/\text{min}) + (0,22 \text{ m}^3/\text{min})$
- $Q_h = 1,63 \text{ m}^3/\text{min}$

2.2.2. Maquinaria neumática

Dentro del grupo de máquinas neumáticas que utiliza la empresa para realizar sus operaciones se encuentran:

- Ensambladora, que se encuentra en el área de corte
- Espigadora, que se encuentran ubicada en el área de ensamble
- Escopleadora, que se encuentran en el área de ensamble
- Calibradora, que se encuentra en el área de ensamble
- Pantógrafo, está ubicado en el área de afiladuría

2.2.2.1. Especificaciones técnicas de la maquinaria neumática

Las especificaciones técnicas para cada máquina se han recopilado de diversas fuentes en la web, ya que los datos necesarios para realizar los cálculos correspondientes no se hallaban en ninguna de las plaquetas de las máquinas, ya que al ser relativamente antiguas no cuentan con manuales físicos en la empresa y tampoco de forma digital. Además, algunos modelos de máquinas han sido discontinuados por el fabricante o sustituidos por otros que emplean mayor tecnología.

Figura 11. **Ensambladora QUICK**



Fuente: QUICK machinery company. *Installation and operation manual*. p. 9.

Tabla XIII. **Especificaciones técnicas ensambladora QUICK**

Especificaciones técnicas	
Presión de operación	7 bar
Potencia del motor	1,0 HP
Peso	500 kg

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Espigadora Balestrini 2-TAO**



Fuente: *Espigadora Balestrini*. <http://maqgimeno.com/shop/item/mu150125-espigadora-balestrini-mod-2-tao>. Consulta: 10 de junio de 2017.

Tabla XIV. **Especificaciones técnicas de espigadora Balestrini 2-TAO**

Especificaciones técnicas	
Presión de operación	6 - 8 bar
Motor cabeza de la herramienta de rotación	3 Hp
Motor cabeza de la herramienta de desplazamiento	0,5 Hp
Peso neto	800 kg.
Dimensiones totales	1 500 x 1 100 x 1 200 mm

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Escopleadora Greda MDA**



Fuente: *Escopleadora Greda MDA*. https://www.afacerilemn.ro/rom/Anunturi/MASINA-AUTOMATA-DE-SCOBIT-PROFESIONALA-GREDA-MDA_id-360754.html. Consulta: 10 de julio de 2017.

Tabla XV. **Especificaciones técnicas de escopleadora Greda MDA**

Especificaciones técnicas	
Presión de operación	6 - 8 bar
Potencia del motor principal	3 hp
Potencia del motor de oscilación	1 hp
Peso	500 kg
Dimensiones totales	1 500 x 1 300 x 1 300 mm

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Pantógrafo Cosmec 1000**



Fuente: *Maquinaria*. <http://www.imallsnc.es/es/maquina?id=2aa2e4c2-c6fc-4302-ba6c-76ef0053bdfe>. Consulta: 10 de julio de 2017.

Tabla XVI. **Especificaciones técnicas de pantógrafo COSMEC 1000**

Especificaciones técnicas	
Presión de operación	7 bar
Velocidades de trabajo	12 000 / 18 000 rpm
Potencia del motor	4.5 HP
Peso	2 900 kg

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Calibradora SCM sandya CL110



Fuente: *Maquinaria*. https://www.wotol.com/1-scm-sandya-cl-110-wide-belt-sander/second-hand-machinery/prod_id/1170180. Consulta: 10 de julio de 2017.

Tabla XVII. Especificaciones técnicas de calibradora SCM sandya CL110

		CL92	CL110	CL130
Working width	mm	920	1100	1300
Max. working height	mm	160	160	160
Abrasive belt dimensions	mm	930x1900	1150x2150	1315x2150
Roller diameter	mm	220	320	320
Abrasive belt speed(calibrating unit)	m/s	18	22	22
Abrasive belt speed(sanding unit)	m/s	18	18	18
Calibrating unit motor	kW	11	15	15
Sanding unit motor	kW	7,5	11	11
Feed belt motor	kW	0,56/0,9	1,5	1,5
Feed belt speed .	m/min	4,5/9	4,5/23	4,5/23
Intervention of padsynchronized		at 2 speeds	at every speed	at every speed
Working pressure	bar	6	6	6
Compressed air consumption	NI/min	200	200	200
Sucked air consumption(each hood)	m ³ /h	1500	2000	2500
Net weight (standard model)	kg	2100	2550	2970
Gross weight (sea packing)	kg	2400	2970	3420

Fuente: SCM Group. *Operation and Maintenance CL 110*. p. 9.

2.2.2.2. Consumo individual de cada máquina neumática en metros cúbicos por minuto

El consumo de la maquinaria neumática se ha realizado de forma experimental, excepto la calibradora, puesto que este dato en particular no se encuentra disponible en ninguna de las fuentes consultadas. Se hará uso de la siguiente expresión:

$$C = \frac{V(P_1 - P_2)}{T \cdot P_a}$$

Donde:

C= consumo de aire en m³/min

V= volumen del tanque de almacenamiento del compresor

P₁= presión inicial en bar

P₂= presión final en bar

P_a= presión atmosférica (valor equivalente al municipio de Tecpán Guatemala)

T= tiempo transcurrido en minutos entre P₁ y P₂

- Consumo de aire comprimido para ensambladora Quick

Datos conocidos:

- V= 0,076 m³/min
- P₁= 8,2 bar
- P₂= 6 bar
- P_a= 0,7629 bar
- T= 1,5 min

Sustituyendo los valores en la formula se tendrá:

$$C = \frac{(0,076 \text{ m}^3/\text{min}) (8,2 \text{ bar} - 6 \text{ bar})}{(1,5 \text{ min}) (0,7629 \text{ bar})}$$

$$C = 0,146 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Consumo de aire comprimido para espigadora Balestrini

Datos conocidos:

- $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{min}$
- $P_1 = 10 \text{ bar}$
- $P_2 = 8 \text{ bar}$
- $P_a = 0,7629 \text{ bar}$
- $T = 6,5 \text{ min}$

Sustituyendo los valores en la formula se tendrá:

$$C = \frac{(0,5 \text{ m}^3/\text{min}) (10 \text{ bar} - 8 \text{ bar})}{(6,5 \text{ min}) (0,7629 \text{ bar})}$$

$$C = 0,20165 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Consumo de aire comprimido para escopleadora Greda MDA

Datos conocidos:

- $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{min}$

- $P_1 = 7 \text{ bar}$
- $P_2 = 5 \text{ bar}$
- $P_a = 0,7629 \text{ bar}$
- $T = 6,82 \text{ min}$

Sustituyendo los valores en la formula se tendrá:

$$C = \frac{(0,5 \text{ m}^3/\text{min}) (7 \text{ bar} - 5 \text{ bar})}{(6,82 \text{ min}) (0,7629 \text{ bar})}$$

$$C = 0,19219 \text{ m}^3/\text{min}$$

- Consumo de aire comprimido para Pantógrafo COSMEC

Datos conocidos:

- $V = 0,5 \text{ m}^3/\text{min}$
- $P_1 = 8,2 \text{ bar}$
- $P_2 = 6,2 \text{ bar}$
- $P_a = 0,7629 \text{ bar}$
- $T = 1,8 \text{ min}$

Sustituyendo los valores en la formula se tendrá:

$$C = \frac{(0,5 \text{ m}^3/\text{min}) (8,2 \text{ bar} - 6,2 \text{ bar})}{(1,8 \text{ min}) (0,7629 \text{ bar})}$$

$$C = 0,728 \text{ m}^3/\text{min}$$

Todos los valores de consumo de cada máquina que se han obtenido serán utilizados en la siguiente sección para conocer el consumo del sistema.

2.2.2.3. Cálculo de caudal a abastecer para la maquinaria neumática

El caudal necesario $[Q_M]$ para abastecer a toda la maquinaria neumática de la empresa será la sumatoria de caudales individuales presentados en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Resumen de consumo individual de máquinas neumáticas

Máquinas	Consumo
	m ³ /min
Ensambladora	0,146
Espigadora	0,202
Escopleadora	0,192
Pantógrafo	0,728
Calibradora	0,200

Fuente: elaboración propia.

EL consumo total de las máquinas será la sumatoria de los valores presentados en la tabla, pues únicamente se cuenta con una sola máquina de cada tipo y no es necesario multiplicarlo por la unidad.

Entonces, al realizar la sumatoria se tendrá:

- $Q_M = (0,146 \text{ m}^3/\text{min}) + (0,202 \text{ m}^3/\text{min}) + (0,192 \text{ m}^3/\text{min}) + (0,728 \text{ m}^3/\text{min}) + (0,200 \text{ m}^3/\text{min})$
- $Q_M = 1,468 \text{ m}^3/\text{min}$

2.2.3. Caudal necesario para alimentar al sistema

El caudal necesario de aire comprimido para alimentar al sistema $[Q_S]$, será la suma del caudal total consumido por máquinas $[Q_M]$, y el consumo de las herramientas neumáticas $[Q_H]$, para ello se presentan los datos correspondientes.

Donde:

Q_S = es el caudal total que consume el sistema

$Q_H = 1,63 \text{ m}^3/\text{min}$, (dato obtenido de la sección 2.2.1.3)

$Q_M = 1,468 \text{ m}^3/\text{min}$, (dato obtenido de la sección 2.2.2.3)

Entonces se tendrá:

$$Q_S = Q_M + Q_H$$

$$Q_S = 1,468 \text{ m}^3/\text{min} + 1,63 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q_S = 3,098 \text{ m}^3/\text{min}$$

Al resultado obtenido se le adicionará un porcentaje del 15 % por posibles fugas, este valor se debe a la falta de mantenimiento de los equipos utilizados actualmente y a las condiciones en las que son operados, el porcentaje es 5 % menor que el citado anteriormente (20 %) ya que no se utilizarán los compresores actuales que presentan excesivas fugas y falta de mantenimiento, sino que serán sustituidos por uno de mayor tecnología, además también se añadirá un 30 % para futuras ampliaciones, quedando de la siguiente manera:

$$Q_S = 3,098 \text{ m}^3/\text{min} * [1 + (\% \text{ perdidas por fugas} + \% \text{ futuras ampliaciones})]$$

$$Q_S = 3,098 \text{ m}^3/\text{min} * 1,45$$

$$Q_s = 4,492 \text{ m}^3/\text{min}$$

2.2.4. Presión de trabajo para el circuito neumático

Para determinar la presión de trabajo del sistema se debe considerar tanto la presión de herramientas como para máquinas, esto con la finalidad de identificar la presión ideal de operación que pueda garantizar un correcto funcionamiento del todo el circuito neumático.

Tabla XIX. Presiones de trabajo para herramienta neumática

Herramientas	Presiones			
	Mínima		Máxima	
	bar	psi	bar	psi
Lijadora orbital	----	-----	6,20	90
Clavadora dewalt	4,80	70	8,30	120
Clavadora senco	4,80	70	8,30	120
Pistola de aire	3,45	50	4,90	71

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Presiones de trabajo para maquinaria neumática

Herramientas	Presiones			
	Mínima		Máxima	
	bar	psi	bar	psi
Ensambladora	5,52	80,00	9,66	140,00
Espigadora	6,00	87,00	8,00	116,00
Escopleadora	6,00	87,00	8,00	116,00
Pantógrafo	7,00	101,50	10,00	145,00
Calibradora	6,00	87,00	----	----

Fuente: elaboración propia.

Con los datos de las tablas XIX y XX se puede determinar que la presión de operación del sistema será de 8 bar, ya que a este valor la mayoría de las máquinas y herramientas presentan un correcto desempeño, por otra parte, los equipos restantes que operan a una presión menor no se verán afectados, porque se instalarán unidades de mantenimiento para cada toma de aire.

2.2.5. Selección de la tubería para el circuito neumático

Para una correcta selección de la tubería a utilizar para el circuito neumático se tomará en cuenta el tipo de material, el diámetro también debe poseer las ventajas según el diseño, el diámetro debe ser el adecuado a fin de permitir el flujo de aire requerido para poder abastecer el área de producción tomando en consideración la posibilidad de expansión a mediano plazo.

2.2.5.1. Tipo de material para tubería

El aluminio se ha seleccionado como material para la tubería del circuito neumático, ya que es el material que mayor desarrollo tecnológico ha experimentado en la actualidad y posee ventajas que lo hacen superior a otros materiales comúnmente utilizados.

- Reduce los costos de instalación, ya que es un material mucho más ligero y fácil de modificar, esto debido a que no requieren de roscado ni soldadura. Con ello se puede alcanzar hasta un 50 % de ahorro en mano de obra.
- El aluminio no se corroe, pero, permite un flujo óptimo y mejora la calidad del aire.

- Los accesorios utilizados encajan de forma segura y tienen menos fugas que los sistemas de rosca.
- Ofrece una mayor velocidad en el caudal y reduce las caídas de presión.

2.2.5.2. Cálculo del diámetro de la tubería

Para el cálculo del diámetro de la tubería principal se utilizarán los valores ya conocidos del caudal del sistema cuyo valor es de 4,492 m³/min, y la presión de trabajo que es de 8 bar. Realizándolo mediante la expresión:

$$S_{\min} = \frac{Q * 10^4}{60 * p * v}$$

Donde:

S_{\min} =sección mínima

Q=caudal en m³/min

p=presión de trabajo, en bar

v=velocidad del flujo, en m/s

De igual forma la sección mínima es igual a:

$$S = \frac{\pi * d^2}{4}, \text{ donde } d = \text{diámetro}$$

La velocidad del aire comprimido para la tubería principal y secundaria oscila entre valores de 3 m/s y 10 m/s.

Igualando ambas expresiones y despejando para el diámetro se tiene:

$$S = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{Q * 10^4}{60 * p * v}, \text{ para } d \qquad d = \sqrt{\frac{4Q * 10^4}{60\pi * p * v}}$$

Sustituyendo los valores para Q, p y v:

$$d = \sqrt{\frac{4(4,492) * 10^4}{60\pi * (8) * (8)}}$$

$$d = 3,45 \text{ cm}$$

El equivalente en pulgadas para el diámetro obtenido sería de 1,36", redondeado a uno comercial entonces sería de 1 1/2" o de 40 mm.

Figura 16. **Especificaciones técnicas para la tubería de aluminio**

<p>■ Gama de aluminio</p> <p>Tuberías de aluminio calibradas Pintura Qualicoat</p> <p>Diámetros (en mm) 16,5 - 25 - 40 - 50 - 63 - 76 - 100 - 168</p> <p>Numerosos colores Disponible en azul - gris - verde Otros colores, previa solicitud</p> <p>Presión máxima de trabajo 16 bar (de -20°C a +45°C) - hasta 100 mm 13 bar (de -20°C a +60°C) todos los diámetros 7 bar (de -20°C a +85°C) todos los diámetros</p> <p>Nivel de vacío 99% (10 mbar de presión absoluta)</p> <p>Temperatura de servicio -20°C a 85°C</p> <p>Juntas NBR</p> <p>Compatibilidades Aire comprimido lubricado o sin aceite, vacío industrial, nitrógeno (pureza 99,99 %), gases inertes.</p>

Fuente: Parker. *Transair: el original sistema de tuberías de aluminio para fluidos industriales*
p. 10.

2.2.5.3. Aislamiento de la tubería

Para el aislamiento de la tubería del circuito neumático se utilizará cinta adhesiva una cara conductora-disipadora 3M 425 que está fabricada con soporte de aluminio recocido, es altamente efectiva para la disipación de calor ya que trabaja a temperaturas de hasta 150 °C, es resistente a la intemperie, sella y protege de la humedad, disolvente y polvo.

Figura 17. **Cinta adhesiva una cara conductora-disipadora 3M 425**

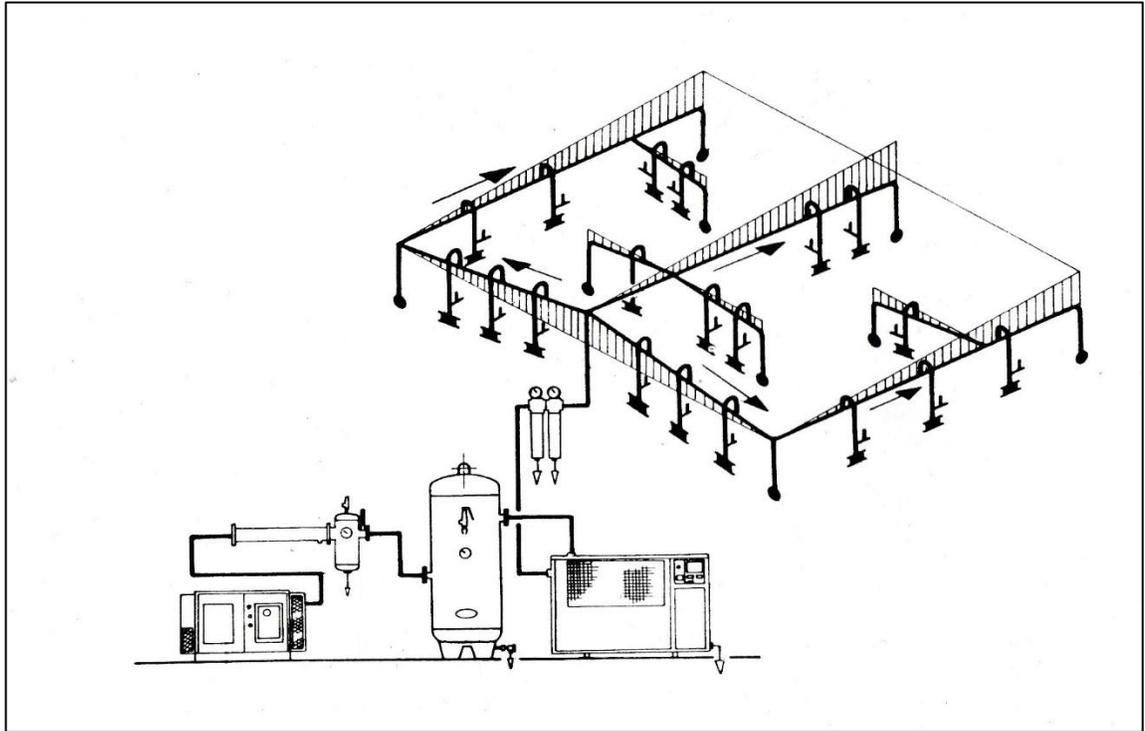


Fuente: 3M. *Catálogo cintas y adhesivos industriales*. p. 35.

2.2.6. Selección del tipo de circuito para la red de aire comprimido

La configuración que tendrá el circuito neumático será la de circuito abierto en donde la línea principal estará distribuida en los costados de la planta de producción con una leve inclinación del 2 % para facilitar la evacuación de condensado. Dentro de las principales ventajas que presenta este tipo de configuración está la de minimizar el costo de materiales y mano de obra, además de que el flujo de aire se mueve en una sola dirección.

Figura 18. **Configuración de circuito abierto de aire comprimido**



Fuente: CARNICER ROYO, Enrique. *Aire Comprimido. Teoría y cálculo de las instalaciones.*
p. 214.

2.2.7. Número de tomas de aire comprimido

El número necesario de tomas de aire comprimido está determinado según la cantidad de equipos neumáticos que se utilicen en el proceso productivo, que para este caso serán once, una para cada equipo, sin embargo se debe considerar que las clavadoras son herramientas que no solamente se utilizan en el área de ensamble, en ocasiones son utilizadas en el área de corte, por ello se colocaran cuatro tomas de aire en el área de corte y seis en el área de ensamble para que no haya dificultad al utilizarlas y riesgo de reventar o desacoplar las mangueras.

2.2.8. Distribución de las unidades de mantenimiento

Las unidades de mantenimiento realizan las funciones de filtro, regulación de presión y lubricación, permitiendo el paso necesario de aire que utilizará cada máquina y herramienta. Se colocarán 16 unidades distribuidas en toda la planta de la siguiente manera:

- 04 en el área de corte
- 06 en el área de ensamble
- 04 en el área de lijado
- 02 en acabado

Figura 19. **Unidad de mantenimiento**



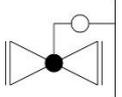
Fuente: *Neumática*. <http://neumatica-es.timmer-pneumatik.de/artikel/WH-Wartungseinheiten/wh-wartungseinheiten-5510.html>. Consulta: 10 de julio de 2017.

2.2.9. Diagrama neumático del circuito

El circuito neumático de la planta de producción de muebles tendrá un diámetro para la tubería principal de 1 ½" (40 mm) de aluminio. En cada salida de aire para máquinas y herramientas tendrá una unidad de mantenimiento para facilitar el uso de las herramientas de forma segura.

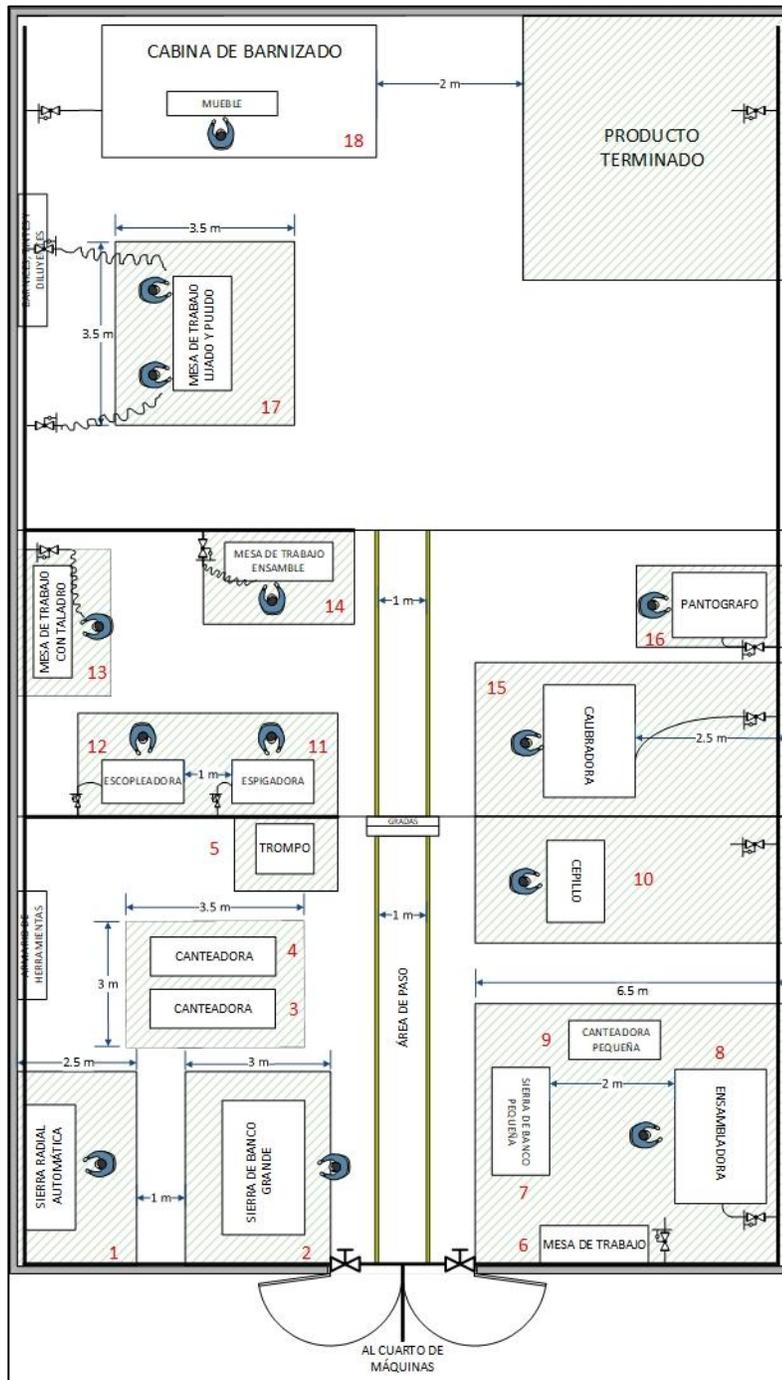
El caudal necesario para abastecer a las máquinas y herramientas es de 4,492 m³/min a una presión de trabajo de 8 bar. Los accesorios que se incorporarán al diseño del circuito neumático se enlistan a continuación:

Tabla XXI. **Accesorios necesarios para el circuito neumático**

Figura en el diagrama	Nombre	Cantidad	Longitud equivalente [m]
	Codo R=d	2	1,2
	Válvula de paso	2	72
	Válvula reductora	13	9,1
	Manguera en espiral	4	-----
	T	2	4,8

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Diagrama del circuito neumático planta de producción



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2016.

2.2.10. Ambiente de trabajo

Es importante conocer las condiciones medioambientales a las que está expuesto el lugar donde se desarrollan las operaciones de la empresa, porque la humedad, velocidad del viento, temperatura son factores que pueden determinar la calidad del aire comprimido que producirán los compresores.

Para determinar el ambiente de trabajo se tomará la referencia de humedad relativa (promedio anual), temperatura (promedio anual) y la velocidad del viento (promedio anual) que serán las correspondientes al municipio de Tecpán Guatemala.

Los datos de la humedad relativa, temperatura y la velocidad del viento fueron tomados del atlas climatológico anual publicado por el Insivumeh donde se utilizó información proveniente de la operación de la red meteorológica del país con datos hasta el año 2003, los valores son los siguientes:

- Humedad relativa, promedio anual: 80 % (figura 21)
- Temperatura, promedio anual: 12° - 20° (figura 22)
- Velocidad del viento, promedio anual: 5 - 10 km/h (figura 23)

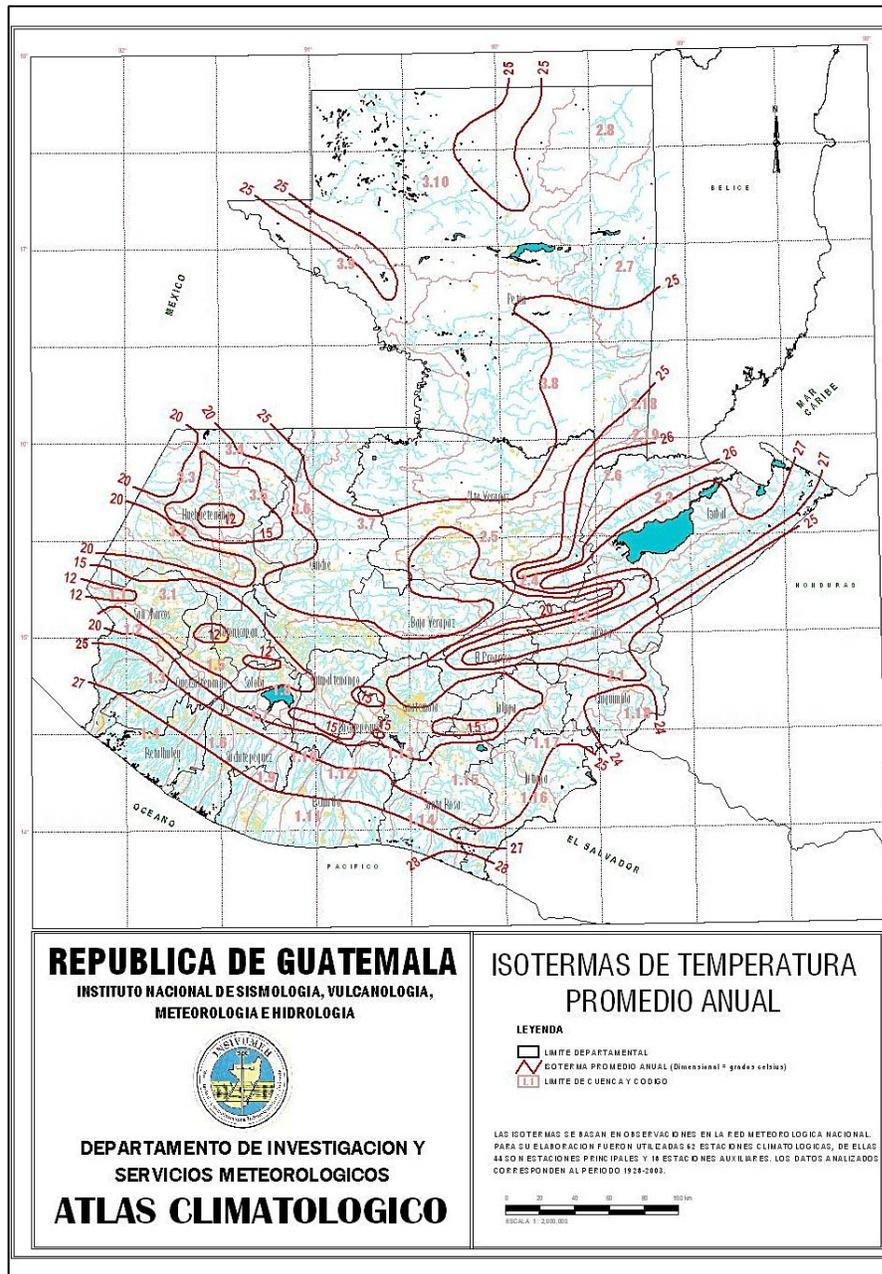
Figura 21. Atlas climatológico niveles de humedad relativa promedio anual



Fuente: Insivumeh. *Atlas climatológico*.

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/hum-rel.jpg. Consulta: 29 de agosto de 2017.

Figura 22. Atlas climatológico isotermas de temperatura promedio anual



Fuente: Insivumeh. Atlas climatológico.

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/hum-rel.jpg. Consulta: 29 de agosto de 2017.

Figura 23. Atlas climatológico velocidad del viento promedio anual



Fuente: Insivumeh. *Atlas climatológico*.

http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/hum-rel.jpg. Consulta: 29 de agosto de 2017.

2.2.11. Selección de la maquinaria para el circuito neumático

La maquinaria que será utilizada para el funcionamiento del circuito neumático y que estará dentro del cuarto de máquinas deberá proporcionar un caudal mínimo de 4,492 m³/min (dato de la sección 2.2.3) para el correcto funcionamiento de los equipos neumáticos.

2.2.11.1. Selección del tipo de compresor

Para determinar el tipo de compresor a utilizar se tomarán de referencia las condiciones de diseño (presión de 8 bar y caudal de 4,492 m³/min) a las cuales los equipos neumáticos prestarán un servicio confiable.

El compresor seleccionado será de tornillo de la marca Kaeser serie DSD SFC este provee una presión constante, bajas velocidades de rotación, un económico accionamiento y arranque suave, es económico visto desde el punto de vista energético, es silencioso y necesita poco mantenimiento y lo más importante es que producen aire comprimido de calidad que es lo que la empresa busca para su proceso.

Figura 24. **Compresor de tornillo serie SFC 45S**



Fuente: Kaeser Compresores. *Manual de compresores de tornillo serie BSD*. p. 10.

Figura 25. **Especificaciones técnicas serie SFC 45S**

Modelo	Presión de operación	Capacidad*)	Máxima presión de operación	Potencia nominal del motor	Dimensiones L x A x H	Conexión	Nivel de presión acústica **)	Peso
	psig	cfm	psig	kW	pulg		dB(A)	lbs
SFC 37	110	54 - 255	125	37	65 ½ x 40 ½ x 67	1 ½	72	2354
	125	54 - 242	125					
	175	42 - 199	175					
SFC 45S	110	69 - 290	125	45	65 ½ x 40 ½ x 67	1 ½	73	2354
	175	52 - 227	175					
	217	40 - 194	217					

Fuente: Kaeser Compresores. *Manual de compresores de tornillo serie BSD*. p. 14.

2.2.11.2. Selección de la potencia del compresor

La potencia del compresor se determina por medio del caudal mínimo de 4,492 m³/min y la presión de operación de 8 bar (116 psi aproximadamente), relacionándolos mediante la expresión:

$$\text{Potencia (hp)} = \frac{\text{Presión (psi)} * \text{caudal (gal/min)}}{1714}$$

Primero se hará la conversión de m³/min a gal/min, usando el factor de conversión siguiente:

$$1 \text{ m}^3/\text{min} = 264,2 \text{ gal/min}$$

$$\text{Caudal (gal/min)} = 4,492 \text{ m}^3/\text{min} * \frac{264,2 \text{ gal/min}}{1 \text{ m}^3/\text{min}} = 1186,78 \text{ gal/min}$$

$$\text{Potencia (hp)} = \frac{120 * 1186,78}{1714} = 83,08 \text{ hp}$$

El dato obtenido para la potencia es teórico, puesto que se debe tener en consideración el caudal y presión a la que trabajará el sistema. Entonces como primer paso se hará la comparación de requisitos del sistema y las especificaciones técnicas del compresor a utilizar.

En la figura 25 se puede apreciar claramente que el compresor de tornillo serie SFC 45S tiene la capacidad de satisfacer la demanda de aire requerido por el sistema ya que opera a un rango de presión de 110 psi (7,5 bar) a 217 psi (14,9 bar) y la presión del sistema es de 8 bar (116 psi). Mientras que el caudal

que entrega el compresor, varía de 40 cfm (1,13 m³/min) hasta 290 cfm (8,21 m³/min), contra los 4,492 m³/min que necesita el sistema.

En conclusión, la potencia que se seleccionará para el compresor será de 45 kW equivalente a 60 HP, ya que provee el caudal y presión necesarios para el buen funcionamiento del circuito neumático de la planta de producción.

2.2.11.3. Cálculo de la capacidad del tanque de almacenamiento

La capacidad del tanque de almacenamiento depende de la función de separar el condensado por medio de la gravedad, a continuación, se utilizará la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad del tanque (m}^3\text{)} = \frac{\text{Caudal del compresor en m}^3\text{/min}}{3}$$

Sustituyendo datos tendremos:

$$\text{Capacidad del tanque (m}^3\text{)} = \frac{4,492}{3} = 1,492 \text{ m}^3$$

Convirtiendo el dato obtenido a litros multiplicando el resultado por 1 000, se tendrá:

$$\text{Capacidad del tanque (Litros)} = 1\ 492 \text{ m}^3 * \frac{1\ 000 \text{ l}}{1\text{m}^3} = 1\ 492 \text{ l}$$

Según las especificaciones técnicas para los tanques de almacenamiento mostrados en la figura 27, la empresa opta por la opción del tanque con

capacidad para 2 000 litros, para así tener un margen de utilización para futuras ampliaciones.

Figura 26. **Tanque de almacenamiento**



Fuente: Kaeser compresores. *Manual de tanques de almacenamiento de aire comprimido*. p. 3.

Figura 27. Especificaciones técnicas tanques de almacenamiento

Capacidad del tanque	Sobrepresión máxima admisible	Versiones posibles		Versión vertical				Versión horizontal			
		vertical	horizontal	Altura mm	Ø mm	Tubos de entrada/salida	Peso kg	Altura mm	Ø mm	Tubos de entrada/salida	Peso kg
90 / 24	160	sl	—	1160	350	2 x G 1/2 detels	37	—	—	—	—
150 / 40	160 232	sl	sl	1190	450	2 x G 3/4 detels	55 75	1080	450	2 x G 2	55 45
250 / 70	160 232	sl	sl	1540 1545	500	2 x G 3/4 detels	78 100	1461 1410	500	2 x G 2	84 100
350 / 90	160 232	sl	sl	1905 1910	550	2 x G 1 detels	90 150	1630 1640	550	2 x G 2	75 75
500 / 130	160 232	sl	sl	1925 1919	600	2 x G 1 detels	120 220	1790 1775	600	2 x G 2	130 220
	—		1925	420			—	—			—
900 / 230	160	sl	—	2170	800	2 x G 2; 2 x G 1 1/2	215	—	—	—	—
1000 / 270	160 230	sl	sl	2265 2255	900	2 x G 1 1/2; 2 x G 2	215 370	2190 2160	900	G 2; 1 x G 1 1/2	240 360
	653	sl	—	2245			4 x G 1 1/2	500			—
2000 / 530	160 230	sl	sl	2375 2490	1190 1100	4 x G 2 1/2	367 500	2190	1190	2 x G 2	470 600
	653		—	2430	1100	4 x DN 90	1600	—	—	—	
3000 / 800	160 230	sl	sl	2705 2645	1290	4 x G 2 1/2	605 890	2610 3040	1290 1190	2 x G 2 1/2 2 x G 2	690 1090
5000 / 1350	160 230	sl	sl	3570	1400	5 x DN 100	835 1430	3470 3700	1400	4 x DN 100	1100 1900
8000 / 2100	160 230	sl	sl	4400	1600	4 x DN 200, DN 100	1850 2350	4440	1600	4 x DN 100	1990 2300
10000 / 2650	160 230	sl	sl	5415	1600	4 x DN 200, DN 100	2200 2650	5400	1600	4 x DN 100	2200 2690

Fuente: Kaeser compresores. *Manual de tanques de almacenamiento de aire comprimido*. p. 6.

2.2.11.4. Selección del tipo de secador

Para la selección del secador se tomó en cuenta tanto las necesidades de la empresa, como el caudal mínimo de 4,492 m³/min que deberá suministrarse al circuito neumático, partiendo de ello, se seleccionó un secador refrigerativo de la serie SECOTEC modelo TD44, que utiliza el refrigerante R 134^a.

Figura 28. Secador serie SECOTEC TD 44



Fuente: Kaeser compresores. *Manual secadores de aire comprimido SECOTEC*. p. 1.

Figura 29. Datos técnicos secador serie SECOTEC TD 44

Modelo	Flujo volumétrico	Pérdida de presión	Potencia eléctrica consumida al 100 %	Potencia eléctrica consumida al 50 %	Peso	Dimensiones	Conexión aire comprimido	Conexión drenaje de condensado	Alimentación eléctrica	Masa agente refrigerante	Masa agente refrigerante equivalente en kg CO ₂
	cfm	psi	kw	kw	kg	L x A x A				kg	t
TA 5	20	1	0,29	0,16	70	484 x 630 x 779	G ¾	G ¾	115 V/60 Hz/1 Pz	0,27	0,39
TA 8	30	2	0,27	0,15	80					0,22	0,31
TA 11	45	3	0,28	0,15	85					0,36	0,51
TB 19	75	2,6	0,55	0,3	108	540 x 620 x 963	G 1	G ¾	115 V/60 Hz/1 Pz	0,6	0,86
TB 26	95	2,6	0,62	0,34	116					0,58	0,83
TC 31	115	2,1	0,75	0,41	155	764 x 660 x 1009	G 1 ¾	G ¾	115 V/60 Hz/1 Pz	0,76	1,09
TC 36	135	2,3	0,88	0,48	170					0,97	1,39
TC 44	170	2,1	0,89	0,49	200					1,13	1,62
TD 51	200	1,5	0,86	0,47	251		G 1 ½	Pz	1,25	1,79	
TD 61	250	2,1	1,1	0,61					1,28	1,83	
TD 76	290	2,5	1,4	0,77	287				G 2	1,5	2,15

Fuente: Kaeser compresores. *Manual secadores de aire comprimido SECOTEC*. p. 14.

2.2.12. Cuarto de máquinas

La construcción para el cuarto de máquinas se hará en la parte frontal externa de la planta de producción; con la finalidad de proporcionar la ventilación adecuada al tipo de compresor, un correcto flujo de aire libre de partículas y polvo de aserrín, reducir la temperatura para que los equipos operen bajo las condiciones recomendadas, una correcta distribución de los equipos para un fácil acceso al momento de realizar rutinas de mantenimiento.

2.2.12.1. Cálculo de la cimentación para el cuarto de máquinas

Para realizar el cálculo del área que se va a cimentar, se debe tener en consideración que son varios equipos los que serán colocadas dentro del cuarto de máquinas y se asumirá que la separación entre cada uno será de la misma proporción. Se utilizará la siguiente expresión:

$$A_C = \frac{20 (1+k) V_p * P}{f_s}$$

Donde:

A_C = área de cimentación

k = coeficiente de restitución que varía entre 0 a 0,5

$V_p = \sqrt{2gh}$ donde $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ (valor de la gravedad)

P = peso de los elementos en kg

f_s = presión permisible en el suelo (15 ton/m², para la grava)

h = altura máxima de los componentes (2 m aproximadamente)

Sustituyendo datos tendremos:

$$V_p = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9,8)(2)} = 6,26 \text{ m/s}$$

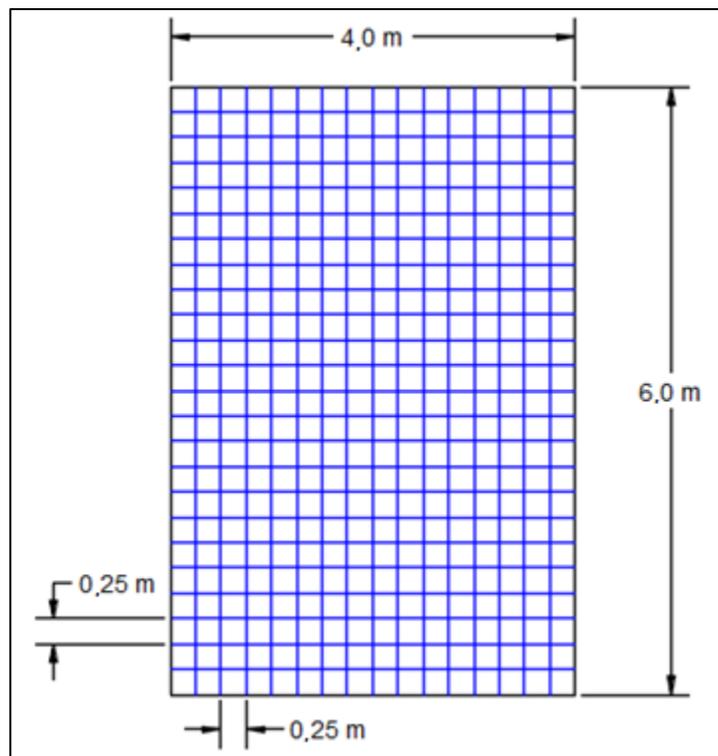
$$P = 1770 \text{ kg} \approx 1,95 \text{ ton}$$

$$A_C = \frac{20 (1+0,5) 6,26 * 1,95}{15} = 24,4 \text{ m}^2$$

El resultado obtenido se redondeará a 24 m² para facilitar las mediciones correspondientes. Para cubrir el área de cimentación la empresa deberá disponer de un espacio de 4 metros de ancho en la parte externa de la planta y 6 de largo.

Para asegurar que el cimiento soporte la carga de las máquinas se hará de un espesor de 20 cm y se reforzará con varillas de acero de 3/4" en forma de emparrillado a una distancia entre varillas de 25 cm, tal como se muestra en la figura 30.

Figura 30. **Dimensiones y emparrillado para la cimentación del cuarto de máquinas**



Fuente: elaboración propia, empleando el software AutoCAD 2015.

2.2.12.2. Diseño del cuarto de máquinas y distribución de la maquinaria neumática

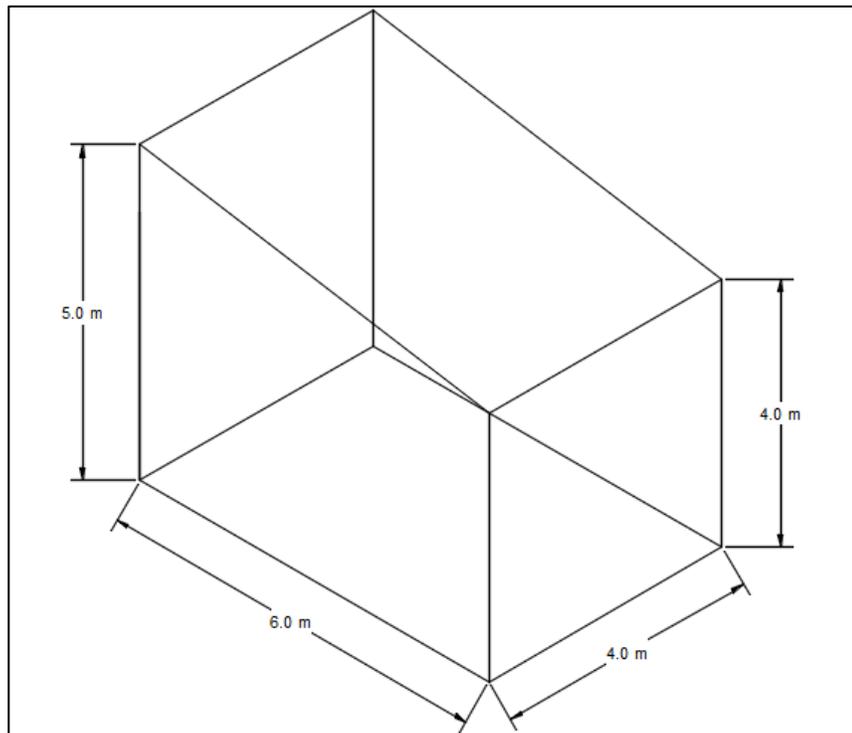
El diseño del cuarto de máquina no solo implica calcular la cimentación, sino que comprende toda su estructura, altura de las paredes, tipo de techo, las dimensiones de las ventanas para el paso de aire que permitan una correcta ventilación de cada equipo.

La estructura del cuarto de máquinas será de madera esto con la finalidad de reducir costos de material y de mano de obra, pues la construcción será elaborada por los empleados de la empresa.

Las paredes y el techo serán de láminas de 12' con recubrimiento de zinc y pintadas de color azul anticorrosivo para prolongar su vida útil y evitar un temprano deterioro debido a las condiciones climáticas del municipio.

Las dimensiones del cuarto de máquinas serán de 6,0 m de largo, 4,0 m de ancho y una altura en la parte más alta de 5,0 m y de 4,0 m en la parte baja, puesto que será un techo de una sola agua.

Figura 31. Dimensiones del cuarto de máquinas

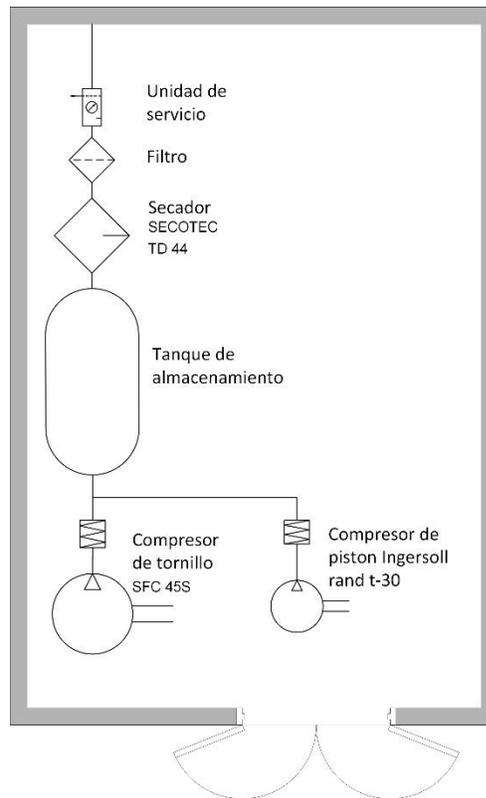


Fuente: elaboración propia, empleando el software AutoCAD 2015.

2.2.12.3. Diagrama de distribución de maquinaria

La distribución de los equipos en el cuarto de máquinas se hará iniciando por el fondo de 4 metros de ancho donde se colocarán los compresores de Pistón (Ingersoll Rand t-30) y de tornillo (SFC45S), el compresor de pistón se seguirá utilizando según las indicaciones de la gerencia, entre ambos compresores habrá una separación de 0,8m-1,0m, luego se colocarán los elementos restantes a lo largo del cuarto de máquinas (6,0 m), iniciando con el secador SECOTEC TD44 a una distancia de 2m por delante del compresor de tornillo, seguidamente se colocarán los filtros y demás componentes del sistema como se ve en la siguiente figura.

Figura 32. **Distribución de equipos en el cuarto de máquinas**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2016.

2.2.12.4. Cálculo del material eléctrico para el funcionamiento del cuarto de máquinas

La empresa actualmente tiene conexión monofásica y trifásica de 220 v. A continuación, se hará el cálculo para determinar el calibre del cable que se utilizará para realizar la conexión del compresor y secador al tablero de distribución eléctrica.

Para conocer el calibre del cable a utilizar se hará uso de los siguientes datos que fueron obtenidos de las especificaciones técnicas de cada equipo:

Potencia del compresor: 45 kW

Consumo energético del secador: 0,89 kW

Se hace uso del método de corrientes para calcular el calibre del cable a utilizar, mediante la expresión:

$$I = \frac{P}{V * 0.9}$$

Donde:

I = corriente que pasa por los conductores

P = potencia de trabajo en watts

V = voltaje de trabajo

0.9 = factor de potencia, que se debe a la combinación de cargas resistivas e inductivas existentes en la instalación eléctrica.

Aplicando la expresión y sustituyendo datos se tendrá:

$$I = \frac{45\,890}{220 * 0,9} = 231,76 \text{ A}$$

Al resultado obtenido se le debe aplicar el factor de demanda que está indicado por la norma NOM-SEDE-001 para obtener la corriente corregida, siendo el valor de 0,70

$$I.C = I * f.d$$

$$I.C = 231,76 * 0,70 = 162,232 \text{ A}$$

En la tabla de calibres del anexo 12, se selecciona el calibre del cable que se utilizará para la instalación eléctrica para los componentes del circuito neumático, el calibre que soporta el amperaje obtenido es el # 3/0. Este cable será colocado dentro de tubos tipo *Conduit* para ocultarlos y mantenerlos aislados, sin que exista riesgo para algún trabajador.

Tabla XXII. **Material eléctrico necesario para el cuarto de compresores**

Descripción del material	Cantidad
Cable 3/0 color negro	20 m
Cable 3/0 color verde	20 m
Cable 3/0 color blanco	20 m
Tubo galvanizados <i>conduit</i>	12 unid
Abrazaderas	25 unid
Coplas <i>conduit</i>	25 unid
Niples <i>bushing</i>	25 unid
Tuercas	50 unid
Vueltas <i>conduit</i>	20 unid

Fuente: elaboración propia.

2.2.13. Descripción sobre el funcionamiento del circuito neumático

El circuito neumático de la planta de producción de muebles de Artindustria tiene como objetivo suministrar la cantidad necesaria de aire comprimido para el correcto funcionamiento de las máquinas y herramientas que son utilizadas en el proceso productivo, se seleccionó la configuración de circuito abierto que contribuirá con las tareas de mantenimiento y drenado de condensado además de que provee un flujo en una sola dirección.

El circuito neumático trabajará con un caudal de 4,492 m³/min mismo que necesita el conjunto de equipos de la planta de producción para poder funcionar de forma simultánea y con ello contribuir a que el proceso sea eficiente. La tubería del circuito será de aluminio ya que por sus propiedades físicas evita la corrosión interna además que necesita de poco mantenimiento, el diámetro de la tubería principal será de 1 ½" (40 mm) ya que trabajará con una presión de 8 bar, los diferentes ramales de derivación se harán con reductores *bushing* de 1 ½" a ¾" y de ¾" a 3/8".

Las conexiones para la toma de aire entre el circuito y las herramientas se harán con mangueras en espiral ya que facilitan el trabajo a los operarios y se evita que puedan sufrir averías tempranas, éstas se adaptarán a las unidades de mantenimiento en cada salida de aire comprimido y posteriormente a las herramientas neumáticas que se han de utilizar; mientras que para las maquinas se utilizarán mangueras flexibles que soportan una presión máxima de 20 bar (300 psi) las cuales son de Pliovic negro con refuerzo de hilo en espiral sintético y recubrimiento externo de Pliovic liso lo que la hace resistente a la abrasión, aceite e intemperie.

2.2.14. Mantenimiento del circuito neumático

El tipo de mantenimiento que se le dará al circuito neumático será preventivo, mediante la aplicación de listas de verificación de fácil comprensión que se realizarán conforme a la programación. Esto con la finalidad de reducir la probabilidad de fallas, paros imprevistos y evitar el mantenimiento correctivo periódico.

2.2.14.1. Ventajas del mantenimiento en una red de aire comprimido

La calidad del aire comprimido entregado desempeña un papel fundamental dentro de las actividades de producción, ya que contribuye a incrementar la calidad de los productos como por ejemplo en el área de barnizado durante el proceso de acabado en muebles y accesorios.

El mantenimiento en la red de aire comprimido además de contribuir con los aspectos de calidad presenta otras ventajas tales como:

- Eliminación de impurezas, mediante una correcta inspección de los filtros de aspiración del compresor.
- Se conservan por más tiempo los filtros del aire comprimido, ya que al ser revisados periódicamente se evita que el nivel de agua condensada supere la altura marcada.
- Se evitan fugas en el sistema y con ello un ahorro de energía.
- Se eliminan las condiciones inseguras para los trabajadores.
- Se incrementa la vida útil de las máquinas y herramientas utilizadas en el proceso.

2.2.14.2. Programación de mantenimiento

La programación del mantenimiento para la herramienta y maquinaria neumática, tubería y compresor se desarrollará de la siguiente forma:

Tabla XXIII. **Programación de mantenimiento para cada elemento que conforma el circuito neumático**

Elemento del circuito	Frecuencia de mantenimiento				
	Diario	Quincenal	Mensual	Semestral	Anual
Herramientas					
Máquinas					
Tubería					
Compresor					

Fuente: elaboración propia.

- El mantenimiento diario que corresponde a la limpieza superficial de los elementos del circuito se debe realizar quince minutos antes de finalizar la jornada de labores, esto lo realizarán dos personas que las designará el encargado de planta.
- El mantenimiento anual se desarrollará en el mes de diciembre de cada año, en especial la última quincena del año, puesto que es cuando baja el ritmo de producción a razón de los asuetos de fin de año.
- Para el mantenimiento semestral se llevará a cabo en los meses de diciembre y junio de cada año con un margen de 10 días dependiendo de las actividades de producción.

2.2.14.3. Controles de mantenimiento

Estos se deberán de realizar mediante registros para cada elemento del circuito neumático utilizando para ello listas de verificación, las cuales deben de contener las diferentes actividades de mantenimiento en forma detallada y de fácil comprensión para el trabajador que las ejecute, estos registros serán archivados en la administración.

Los formatos de control que se desarrollaron son específicamente para la herramienta, maquinas, tubería y compresor, puesto que son los involucrados en el circuito neumático de la planta de producción.

2.2.14.3.1. Control de mantenimiento para la herramienta neumática

Luego de establecer la frecuencia de mantenimiento para la herramienta neumática, se desarrolló el siguiente formato para llevar a cabo los registros correspondientes de las actividades que se realizarán, dicho formato será el que se presenta a continuación:

2.2.14.3.2. Control de mantenimiento para la maquinaria neumática

El control de la maquinaria neumática utilizada en producción se hará de forma semestral, donde se hará la revisión general de todos los componentes neumáticos de cada máquina, a fin de garantizar un correcto funcionamiento y evitar la pérdida de aire comprimido a causa de posibles fugas.

Figura 34. Formato control para mantenimiento maquinaria neumática

		CONTROL DE MANTENIMIENTO MAQUINARIA NEUMÁTICA							
		CÓDIGO	ÁREA						
		ENCARGADO	MES / AÑO						
DÍAS	TAREAS						OTROS		A. Rutina de limpieza B. Inspección de la entrada de aire C. Velocidad de operación D. Revisión de válvulas neumáticas E. Revisión de manómetros F. Inspección de fugas I. Reparación correctiva II. Reemplazar pieza OBSERVACIONES
	A	B	C	D	E	F	I	II	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									

F. _____
Jefe de área

F. _____
Facilitador de Producción

Fuente: elaboración propia.

2.2.14.3.4. Control de mantenimiento para el compresor

El mantenimiento del compresor se desarrollará por parte de un técnico de Kaeser Compresores de Guatemala a las 1 500 y 2 500 horas de servicio, este mantenimiento será de tipo predictivo. Las rutinas de mantenimiento que desarrollara la empresa serán solo actividades de limpieza, inspección de piezas, verificación de posibles fugas y del sistema eléctrico, estas actividades se harán quincenalmente para períodos de cuatro meses con el formato siguiente.

Figura 36. Formato de control para mantenimiento del compresor

CONTROL DE MANTENIMIENTO DEL COMPRESOR										
		No. ORDEN				CUATRIMESTRE				
		ENCARGADO				AÑO				
QUINCENAS	TAREAS					OTROS				A. Rutina de limpieza general B. Inspección de la entrada de aire C. Inspección de fugas D. Inspección de componentes E. Inspección del sistema eléctrico I. Reparación correctiva II. Otro tipo de problema III. Problema Eléctrico IV. Problema Mecánico
	A	B	C	D	E	I	II	III	IV	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
Fin cuatrimestre										
OBSERVACIONES										
F. _____ Jefe de área					F. _____ Facilitador de Producción					

Fuente: elaboración propia.

2.2.15. Costos

Los costos que estarán relacionados con el proyecto del circuito neumático comprenden: material neumático, equipos neumáticos, material eléctrico, cuarto de máquinas, herramienta neumática y mano de obra.

2.2.15.1. Material, equipo, herramientas y cuarto de máquinas

El costo del cuarto de máquinas incluye mano de obra y materiales que se utilizarán durante la construcción. En el costo de herramientas neumáticas únicamente se incluye el de las mangueras de conexión con la tubería.

Tabla XXIV. **Costos del circuito neumático**

Descripción	Costo
Material neumático	Q45 000,00
Equipo neumático	Q265 000,00
Cuarto de máquinas	Q10 000,00
Material eléctrico	Q12 000,00
Herramienta neumática	Q6 000,00
Total	Q338 000,00

Fuente: elaboración propia, empleando datos proporcionados por la administración.

2.2.15.2. Mano de obra

La mano de obra que estará involucrada en el proyecto será la siguiente:

- Supervisor, quien será el encargado de monitorear la instalación y posterior funcionamiento del circuito.
- Mano de obra de instalación, serán cuatro personas según datos de la administración.
- Mano de obra para el control de mantenimiento, se asignará una persona que conozca todas las máquinas y herramientas para que lleve a cabo los registros en las hojas de control.
- Mano de obra cuarto de máquinas, comprende un electromecánico, un asistente y dos empleados de la empresa, según datos proporcionados por la administración.

Tabla XXV. **Costos de mano de obra**

Descripción	Costo
Supervisor	Q6 500,00
Mano de obra de instalación de tubería	Q11 650,00
Mano de obra para el control de mantenimiento	Q2 999,00
Mano de obra cuarto de máquinas	Q5 200,00
Total	Q26 349,00

Fuente: elaboración propia, empleando datos proporcionados por la administración.

En conclusión, al hacer la sumatoria de los costos totales de las tablas XXIV y XXV el valor aproximado para la instalación completa del circuito neumático será de:

Total de costos = Q 338 000,00 (dato tabla XXIV) + Q 26 349,00 (dato tabla XXV)

Total de costos = Q 364 349,00

3. PROPUESTA DE MEJORA AL PROCESO PRODUCTIVO DE MUEBLES

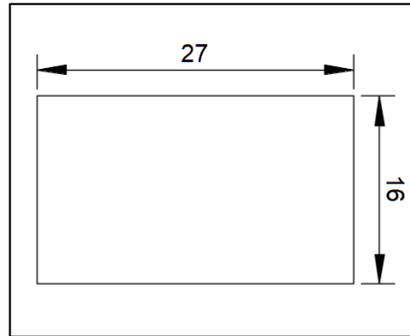
3.1. Edificio industrial

El edificio industrial para la planta de producción de Artindustria está dividido en dos subniveles, esto debido a la geografía del lugar donde está ubicada, además presenta pendiente en el terreno. Además, se realizaron los estudios de: techo, ventilación, nivel de ruidos e iluminación industrial, esto para identificar si los trabajadores están laborando bajo condiciones adecuadas y poder realizar alguna mejora que fuera necesaria.

3.1.1. Dimensiones de la planta

La planta de producción de la empresa Artindustria cuenta con dimensiones totales de 16 m de frente y 27 m de largo, dentro de la planta se encuentra distribuida toda la maquinaria que es utilizada para la elaboración de muebles, también las diferentes áreas que la componen y el producto terminado.

Figura 37. **Dimensiones de la planta de producción de muebles de la empresa Artindustria**



Fuente: elaboración propia, empleando Auto CAD 2015.

3.1.2. Tipo de edificio

El edificio donde se ubica la planta de producción de muebles de la empresa Artindustria se encuentra clasificado dentro de un edificio de tercera categoría puesto que, techo de lámina galvanizada y lamina transparente para aprovechar la iluminación natural, las paredes son de lámina con una estructura combinada de costanera metálica y madera, piso de concreto armado.

Las oficinas administrativas se encuentran ubicadas fuera de la planta y se catalogan como edificio de segunda categoría, con paredes de block reforzadas con columnas de concreto y hierro armado, techo de lámina con forro de madera y piso de cemento líquido pulido. Lo antes mencionado se determinó con el formato utilizado se encuentra en el apéndice 4.

Figura 38. **Planta de producción**



Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Techo industrial

La nave industrial de la planta de producción está dividida en dos partes, la primera será denominada planta baja de aquí en adelante, además, cuenta con un techo de una sola agua soportado por vigas y columnas de madera (figura 39) con alturas de 5,0 m en la parte más alta y 4,0 m en la parte baja lo que provoca un ángulo de inclinación de 4° , la segunda será denominada planta alta a partir de esta sección, cuenta con techo de dos aguas soportado por vigas y columnas elaboradas con costanera (figura 40) con altura máxima de 6,0 m. Ambas partes de la nave industrial cuentan con láminas galvanizadas y lamiluz para aprovechar la iluminación natural.

Figura 39. **Techo industrial de una sola agua**



Fuentes: elaboración propia.

Figura 40. **Techo de industrial de dos aguas**



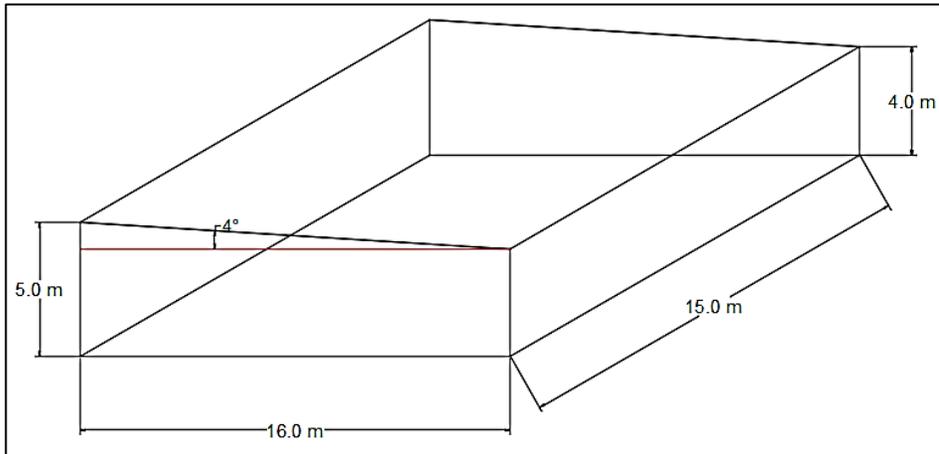
Fuente: elaboración propia.

- La lámina de ambas plantas (baja y alta) se encuentra en óptimas condiciones, ya que la vida útil de la lámina galvanizada es superior a 40 años y la colocada en la empresa tiene alrededor de 15 años de haber sido instalada. Pero se recomienda aplicarle pintura anticorrosiva por lo menos cada 5 años en la cara externa para prevenir la oxidación.

3.1.4. Ventilación industrial

Para la ventilación industrial los cálculos que se realizarán serán para conocer el número de renovaciones por hora del aire que circula dentro de la planta de producción. Para efectos de cálculo se tomará la nave industrial en dos partes tal como se ha mencionado anteriormente.

Figura 41. Dimensiones de la planta baja de producción



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Dimensiones para la planta baja
 - Base: 16 m
 - Ancho: 15 m
 - Altura: 4 m

Volumen 1= volumen A + volumen B

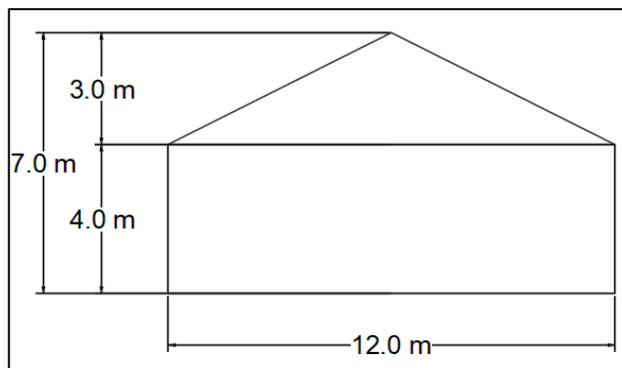
Donde el volumen A corresponde al triángulo formado por el techo de una sola agua con las dimensiones siguientes:

- Base: 16 m
- Ancho: 15 m
- Altura: 1 m

$$\text{Volumen 1} = [1/2(16*1) * 15] + (15*16*4)$$

Volumen 1= 1 080 m³

Figura 42. **Dimensiones de la planta alta de producción**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Dimensiones para la planta alta
 - Base: 12 m
 - Ancho: 16 m
 - Altura: 4 m

Volumen 2= volumen C + volumen D

Donde el volumen C corresponde al volumen del triángulo formado por el techo de dos aguas con las medidas siguientes:

- Base: 12 m
- Altura: 3 m
- Ancho: 16 m

$$\text{Volumen 2} = [1/2(12*3) * 16] + (12*16*4)$$

$$\text{Volumen 2} = 1\ 056\ \text{m}^3$$

La suma de los volúmenes 1 y 2 dará el volumen total para toda la planta de producción, cuyo valor será:

$$\text{Volumen total} = \text{volumen 1} + \text{volumen 2}$$

$$\text{Volumen total} = 1\ 080\ \text{m}^3 + 1\ 056\ \text{m}^3$$

$$\text{Volumen total} = 2\ 136\ \text{m}^3$$

Renovaciones de aire por hora: 3 a 4, según la tabla del anexo 3

CA= volumen total en la planta de producción*renovaciones por hora

$$\text{CA} = 2\ 136\ \text{m}^3 * 4\ \text{renovaciones/h}$$

$$\text{CA} = 8\ 544\ \text{m}^3/\text{h}$$

3.1.5. Piso industrial

El piso del área de producción está elaborado de hormigón, esto para soportar el peso de las diferentes máquinas que son utilizadas en el proceso productivo.

En la parte de las oficinas administrativas el piso es de cemento liquido pulido para una mejor presentación.

- El piso presenta algunas fisuras en la entrada a la planta que han sido ocasionadas por impactos producidos al manipular madera de grandes dimensiones, esto debe corregirse para evitar que se extiendan hacia el interior.

- La parte restante del piso se encuentra en buenas condiciones, pero se recomienda limpiarlo del exceso de aserrín para evitar que se produzcan condiciones inseguras para los trabajadores.

3.1.6. Pintura industrial

Actualmente la planta de producción en su planta baja no tiene aplicado ningún tipo de pintura en el techo, mientras que en las paredes tiene aplicado pintura de color rojo óxido, este color no aporta un buen porcentaje de reflectancia además de que incrementa la sensación térmica dentro de la misma especialmente en época calurosa.

En la planta alta se tiene aplicado color negro únicamente en las paredes, ya que el techo no cuenta con ningún tipo de pintura, este color también reduce de forma drástica el porcentaje de reflectancia, especialmente cuando se laboran turnos extraordinarios por la noche.

Toda la información sobre los colores que tienen aplicados en la planta de producción se encuentra resumida en el apéndice 5, donde también se indican los porcentajes de reflectancia que se emplearán para el estudio de iluminación.

Las áreas de trabajo, espacio de máquinas y el área de paso están indicadas con pintura de aceite.

- Se recomienda la aplicación de un color más claro en las paredes de la planta (color blanco, por ejemplo), para mejorar la iluminación interior y reducir la sensación térmica en época calurosa.

3.1.7. Iluminación industrial

La planta de producción cuenta con una buena iluminación natural durante el día, gracias a las láminas transparentes que están distribuidas en el techo y la puerta de entrada que es amplia y permite la entrada de una mayor iluminación natural. Para la iluminación artificial que se utiliza para jornadas extraordinarias se calculara el flujo luminoso y la cantidad de luminarias necesarias con las que debería de contar la empresa, para ello se utilizará el método de cavidad zonal.

- Dimensiones de la planta baja de producción
 - Largo (L): 15 m
 - Ancho (A): 16 m
 - Altura (h): 5 m

Tabla XXVI. **Alturas ideales y niveles de reflectancia para planta baja**

Descripción	Valor
Altura del piso al área de trabajo (Hcp)	1 m
Altura del área de trabajo a la lampara (Hca)	4 m
Altura del techo a la lampara (Hcc)	0 m
Reflectancia del techo, gris (Pc)	30 %
Reflectancia del la pared, rojo óxido (Pp)	10 %
Reflectancia del piso, gris (Pf)	20 %
Factor de mantenimiento, regular a malo (Fm)	0,6
Lámpara a utilizar	Fluorecente
Tipo de actividad	E

Fuente: elaboración propia.

Cálculo del índice de cavidad del local K:

$$R_{ca} = \frac{5 * H_{ca} * (L + A)}{L * A} = \frac{5 * 4 * (15 + 16)}{15 * 16} = 2,6$$

$$R_{cp} = \frac{5 * H_{cp} * (L + A)}{L * A} = \frac{5 * 1 * (15 + 16)}{15 * 16} = 0,65$$

$$R_{cc} = \frac{5 * H_{cc} * (L + A)}{L * A} = \frac{5 * 0 * (15 + 16)}{15 * 16} = 0$$

- Reflectancia efectiva de cavidad de piso (Pcc)

$$P_f = 30 \%$$

$$P_p = 10 \%$$

$$R_{cp} = 0,65$$

$$P_{cc} = 25$$

Datos del anexo 6

- Coeficiente de utilización (K)

$$P_{cc} = 25$$

$$P_p = 10 \%$$

$$R_{ca} = 2,6$$

$$K = 0,80$$

datos del anexo 7

Flujo luminoso:

$$\phi_L = \frac{A * E}{K * F_m}$$

Donde:

ϕ_L = flujo luminoso [lx]

E= intensidad lumínica deseada [lx]

A= área (m²)

Fm= factor de mantenimiento

$$\phi_L = \frac{(15 \cdot 16)(500)}{0,80 \cdot 0,60} = 250\,000 \text{ lm}$$

El número de luminarias requeridas (NL) se obtiene de la expresión

$$NL = \frac{\phi_L}{\text{potencia de lampara elegida}}$$

Donde:

NL: número de luminarias requeridas

ϕ_{total} : flujo luminoso total [lm]

ϕ_i : flujo luminoso por bombilla [lm]

$$NL = \frac{250\,000 \text{ lm}}{8\,400 \text{ lm}} = 30 \text{ lámparas}$$

Área cubierta por las luminarias:

$$AC = \frac{\text{Área}}{NL} = \frac{15 \cdot 16}{30} = 8$$

Espaciamiento entre lámparas:

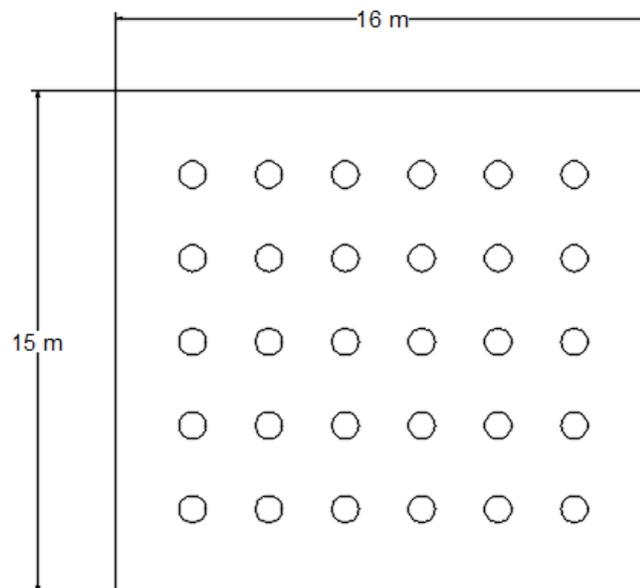
$$E = \sqrt{AC} = \sqrt{8} = 2,8$$

El número de lámparas a lo largo y ancho del techo será:

$$NL_{\text{largo}} = \frac{\text{Largo}}{E} = \frac{15}{2,8} = 5,3 \approx 5 \text{ lámparas}$$

$$NL_{\text{ancho}} = \frac{\text{Ancho}}{E} = \frac{15}{2,8} = 5,6 \approx 6 \text{ lámparas}$$

Figura 43. **Distribución de luminarias en la planta baja**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Se realiza el mismo procedimiento para la planta alta, siguiendo el mismo procedimiento anterior:

- Dimensiones de la planta alta de producción:
 - Largo (L): 16 m
 - Ancho (A): 12 m
 - Altura (h): 7 m

Tabla XXVII. **Alturas ideales y niveles de reflectancia para planta alta**

Descripción	Valor
Altura del piso al área de trabajo (Hcp)	1 m
Altura del área de trabajo a la lampara (Hca)	5 m
Altura del techo a la lampara (Hcc)	0,4 m
Reflectancia del techo, color gris (Pc)	30 %
Reflectancia del la pared, color negro (Pp)	10 %
Reflectancia del piso, color gris (Pf)	30 %
Factor de mantenimiento, regular a malo (Fm)	0,6
Lámpara a utilizar	Fluorecente
Tipo de actividad	E

Fuente: elaboración propia.

Cálculo del índice de cavidad del local K:

$$R_{ca} = \frac{5 * H_{ca} * (L + A)}{L * A} = \frac{5 * 5 * (16 + 12)}{16 * 12} = 3,6$$

$$R_{cp} = \frac{5 * H_{cp} * (L + A)}{L * A} = \frac{5 * 1 * (16 + 12)}{16 * 12} = 0,73$$

$$R_{cc} = \frac{5 * H_{cc} * (L + A)}{L * A} = \frac{5 * 0,4 * (16 + 12)}{16 * 12} = 0,29$$

Reflectancia efectiva de cavidad de piso (Pcc):

$$P_f = 30 \%$$

$$P_p = 10 \%$$

$$R_{cp} = 0,73$$

$$P_{cc} = 24$$

datos del anexo 6

Coeficiente de utilización (K):

$$P_{cc} = 24$$

$$P_p = 10 \%$$

$$R_{ca} = 3,6$$

$$K = 0,78$$

datos del anexo 7

Flujo luminoso:

$$\phi_L = \frac{A * E}{K * F_m}$$

Donde:

ϕ_L = flujo luminoso [lx]

E = intensidad lumínica deseada [lx]

A = área (m²)

F_m = factor de mantenimiento

$$\phi_L = \frac{(16 * 12)(500)}{0,78 * 0,60} = 205\ 128,2 \text{ lm}$$

El número de luminarias requeridas (N) se obtiene de la expresión

$$NL = \frac{\phi_L}{\text{potencia de lampara elegida}}$$

Donde:

NL: Número de luminarias requeridas

ϕ_{total} : flujo luminoso total [lm]

ϕ_i : Flujo luminoso por bombilla [lm]

$$NL = \frac{205\,128,2 \text{ lm}}{8\,400 \text{ lm}} = 24 \text{ lámparas}$$

Área cubierta por las luminarias:

$$AC = \frac{\text{Área}}{NL} = \frac{16 \cdot 12}{24} = 8$$

Espaciamiento entre lámparas:

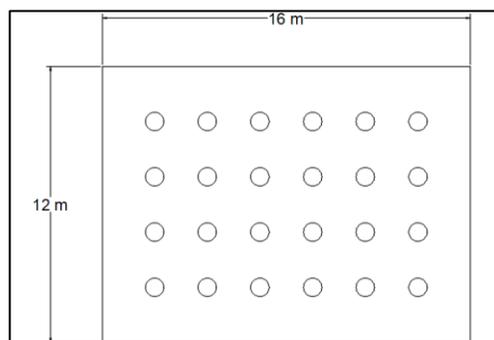
$$E = \sqrt{AC} = \sqrt{8} = 2,8$$

El número de lámparas a lo largo y ancho del techo será:

$$NL_{\text{largo}} = \frac{\text{Largo}}{E} = \frac{16}{2,8} = 5,71 \approx 6 \text{ lámparas}$$

$$NL_{\text{ancho}} = \frac{\text{Ancho}}{E} = \frac{12}{2,8} = 4,29 \approx 4 \text{ lámparas}$$

Figura 44. **Distribución de luminarias en la planta alta**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

3.1.8. Control de ruido

Para la elaboración del estudio de ruidos se utilizó el sonómetro Radioshack 33-2055 (figura 45) para realizar distintas mediciones durante el día en las diferentes áreas de la planta, esto para conocer el nivel de ruido promedio al que están expuestos los trabajadores en la jornada de labores.

Figura 45. **Sonometro Radioshack 33-2055**



Fuente: elaboración propia.

Cada medición realizada se registró en el formato del apéndice 6, para luego determinar el valor mínimo, promedio y máximo en decibeles para cada área de trabajo, tal como se muestran en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. **Niveles de ruido en las diferentes áreas de trabajo**



**ESTUDIO DE NIVEL SONORO
PLANTA DE PRODUCCIÓN**

ÁREA	Mínimo [dB]	Promedio [dB]	Máximo [dB]	NORMA OMS
CORTE	84	98	116	90
ENSAMBLE	78	93	114	90
LIJADO Y PULIDO	78	89	98	90
ACABADO	74	83	94	90

Fuente: elaboración propia.

Con los datos de la tabla se puede identificar que el área de mayor nivel sonoro durante las jornadas ordinarias de trabajo es la de corte, esto se debe a que ahí se encuentran las sierras de banco, el cepillo, las canteadoras, la sierra radial, la ensambladora y su compresor, en esta área los trabajadores no utilizan ningún equipo de protección, debido a que la administración no se preocupa en este aspecto.

Para una jornada de trabajo donde operan la mayoría de los equipos en forma simultánea, se puede percibir un nivel sonoro de hasta 116 decibeles (apéndice 6), a este nivel sonoro los operarios únicamente pueden estar expuestos un 1/16 de hora (anexo 10), ya que un tiempo mayor de exposición puede provocar daños irreversibles para la salud auditiva de los trabajadores.

- La gerencia y la administración deben proveer un juego de tapones y orejeras a cada colaborador, para disminuir la intensidad de decibeles en 18 dB a 25 dB.

- Los trabajadores del área de corte deberán utilizar los tapones y orejeras en simultaneo, esto para reducir aún más la intensidad del ruido para la jornada de trabajo (30 – 35 dB).

Figura 46. Orejeras y tapones



Fuente: *Catvigente*. <https://www.truper.com/catvigente/233.php>. Consulta: 10 de octubre de 2017.

3.2. Diagramas actuales

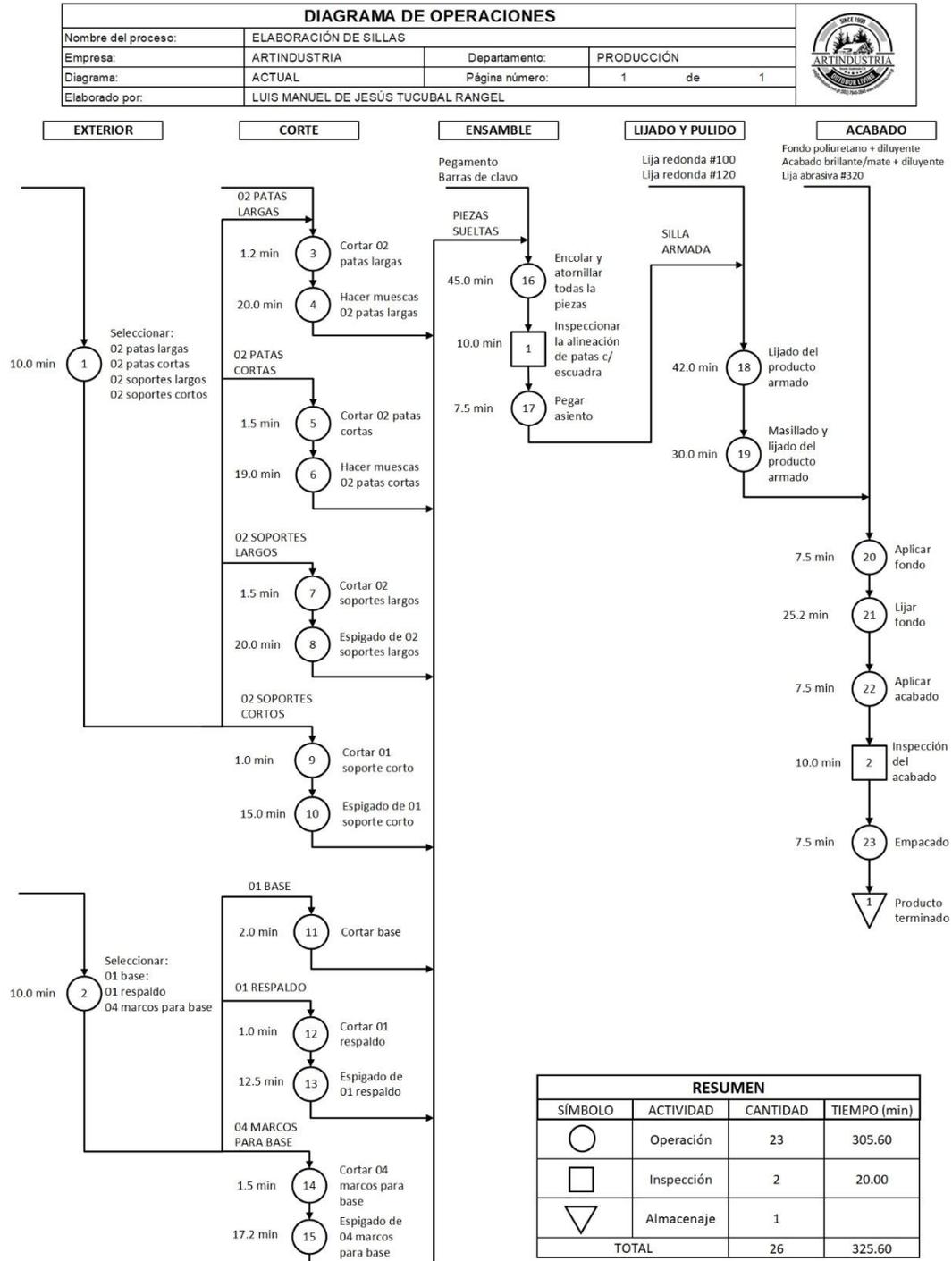
Los diagramas que servirán para conocer la forma de operación actual para la fabricación de sillas de la empresa Artindustria son:

- Diagramas de operaciones
- Diagramas de flujo de operaciones

3.2.1. Diagrama de operaciones actual

El diagrama de operaciones es la representación gráfica que muestra la secuencia de todas las operaciones, inspecciones y las operaciones combinadas (operación-inspección) que ocurren durante los procesos de elaboración de sillas de varios estilos.

Figura 47. Diagrama de operaciones actual para la elaboración de sillas

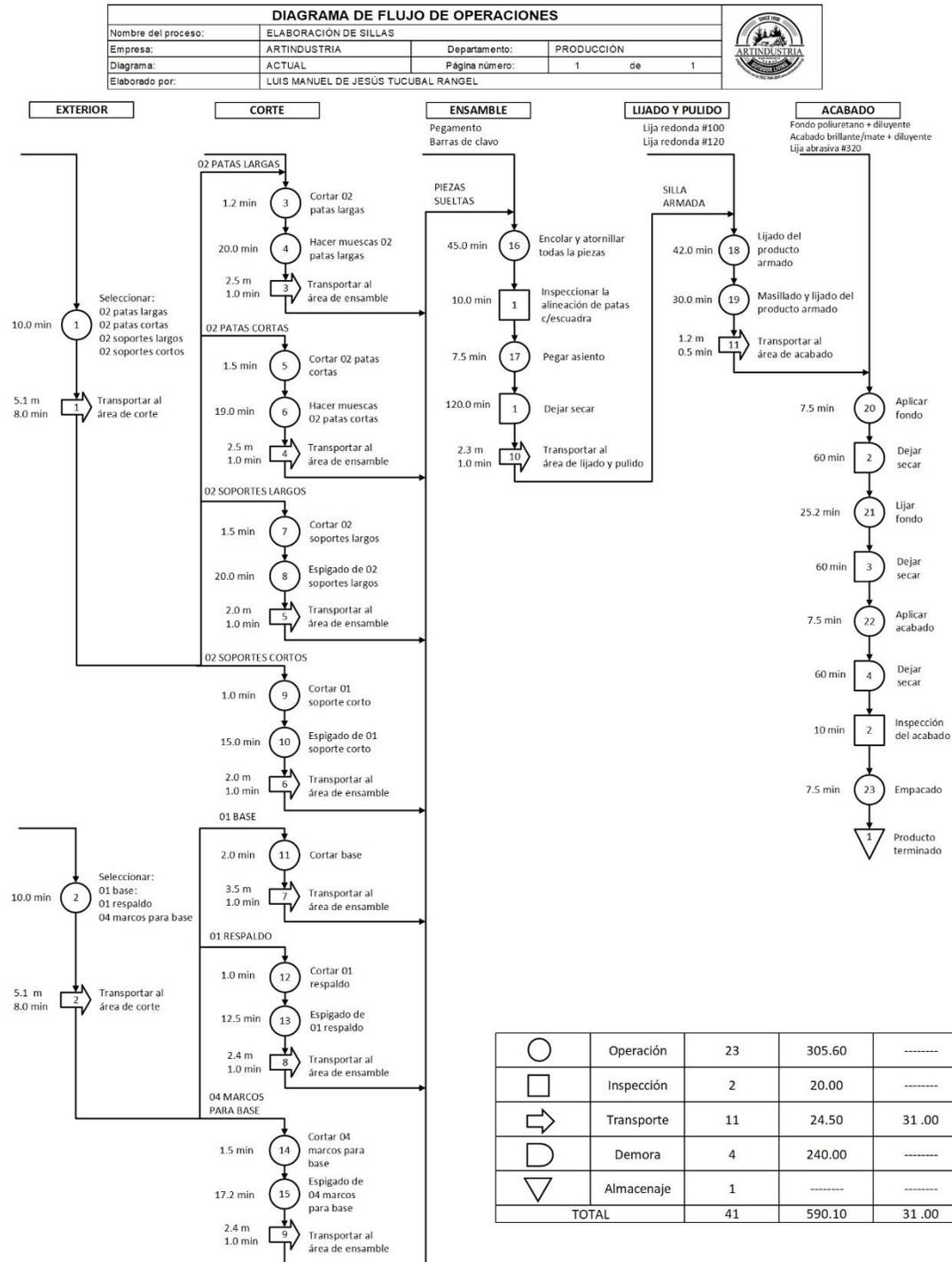


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

3.2.2. Diagrama de flujo de operaciones actual

El diagrama de flujo de operaciones es la representación gráfica que muestra la secuencia de todas las operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenamientos que ocurren durante los procesos de elaboración de sillas de varios estilos.

Figura 48. Diagrama flujo de operaciones actual elaboración de sillas



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

3.3. Estudio de tiempos

La empresa ha proporcionado un estudio de tiempos para la elaboración de sillas que fue realizado muchos años atrás, en donde solamente se presenta un único dato del que no se tiene la certeza si fueron considerados factores como la calificación a los operarios y los suplementos asignables.

Para el estudio de tiempos se eligió el mismo proceso de elaboración de sillas puesto que es el producto que más se elabora. En el desarrollo se utilizó un cronometro y se siguieron los pasos básicos para obtener los tiempos cronometrados, normal y estándar de operación.

3.3.1. Selección del operario

Las operaciones que forman parte del estudio de tiempos son las que se realizan en cada una de las áreas de producción: corte, ensamble, lijado y pulido, acabado. Para seleccionar al operario se tomaron en consideración los criterios como la habilidad que poseen para manipular máquinas y herramientas ya que deben estar familiarizados con los mismos, la experiencia que poseen para llevar a cabo el trabajo encomendado y desarrollarlo de la mejor manera, la cooperación para saber si los operarios están dispuestos a participar en el estudio de tiempos y a seguir las sugerencias que se les puedan dar para mejorar su trabajo.

3.3.2. Calificación del operario

Para realizar la correcta calificación de los operarios, se basó en el sistema de Westinghouse en el cual se consideraron cuatro aspectos básicos que se utilizaron en cada una de las áreas de producción:

- **Habilidad:** es el resultado de la experiencia y las aptitudes inherentes de coordinación natural y ritmo que mide la destreza para seguir un método dado. En la figura 49 se muestran los diferentes valores que pueden considerarse para calificar a los operarios.

Figura 49. **Sistema Westinghouse para calificar las habilidades**

+0.13	A1	Excesivo
+0.12	A2	Excesivo
+0.10	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.05	C1	Bueno
+0.02	C2	Bueno
0.00	D	Promedio
-0.04	E1	Aceptable
-0.08	E2	Aceptable
-0.12	F1	Malo
-0.17	F2	Malo

Fuente: NIEBEL, Benjamin W.; FREIVALDS, Andris. *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 359.

- **Esfuerzo:** es la velocidad con la que se aplica la habilidad que en gran medida puede ser controlada por el operario. En la figura 50 se muestran los valores a considerar para calificar el esfuerzo a realizar.

Figura 50. **Sistema Westinghouse para calificar el esfuerzo**

+0.06	A	Ideal
+0.04	B	Excelente
+0.02	C	Bueno
0.00	D	Promedio
-0.03	E	Aceptable
-0.07	F	Malo

Fuente: NIEBEL, Benjamin W.; FREIVALDS, Andris. *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 359.

- Condiciones: son las condiciones medioambientales que afectan únicamente al operario y no aquellas que afecten la operación. Los valores que se pueden considerar se encuentran enlistados en la figura 51.

Figura 51. **Sistema Westinghouse para calificar las condiciones**

+0.04	A	Perfecta
+0.03	B	Excelente
+0.01	C	Buena
0.00	D	Promedio
-0.02	E	Aceptable
-0.04	F	Mala

Fuente: NIEBEL, Benjamin W.; FREIVALDS, Andris. *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 359.

- Consistencia: son los valores de tiempo que realiza el operador que se repiten en forma constante o inconstante.

Figura 52. **Sistema Westinghouse para calificar las consistencias**

+0.15	A1	Superior
+0.13	A2	Superior
+0.11	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.06	C1	Buena
+0.03	C2	Buena
0.00	D	Promedio
-0.05	E1	Aceptable
-0.10	E2	Aceptable
-0.16	F1	Mala
-0.22	F2	Mala

Fuente: NIEBEL, Benjamin W., FREIVALDS, Andris. *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p.360.

3.3.3. Método para la toma de tiempos

La metodología para la toma de tiempos se realizó en base al método propuesto en el libro de Ingeniería Industrial de Niebel, cuyos pasos son los que se muestran a continuación:

- Definir el o los procesos que se desean documentar.
- Dividir cada una de las operaciones en elementos de trabajo, para analizarlos de forma individual.
- Seleccionar al operario con el que se realizará el estudio.
- Registrar los valores para cada elemento.
- Calificar el desempeño del operario.
- Asignar los suplementos u holguras adecuadas.
- Determinar el tiempo normal.
- Calcular el tiempo estándar de cada elemento de los diferentes procesos.

3.3.4. Determinar el número de observaciones

Para determinar las observaciones necesarias para cada área de producción se utilizó el siguiente procedimiento:

- Se tomó el tiempo de tres ciclos de trabajo.

- Se obtiene el tiempo promedio para cada operación.
- Utilizar los datos de la figura 53 para asignar el número aproximado de observaciones a realizar en base al tiempo promedio hallado anteriormente.

Figura 53. **Número recomendado de ciclos de observación**

Tiempo de ciclo (minutos)	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Fuente: NIEBEL, Benjamin W.; FREIVALDS, Andris. *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 340.

Cuando el tiempo de ciclo es demasiado corto para realizar una operación, se utiliza un mayor número de observaciones, mientras que si el tiempo es demasiado largo para realizar una operación el número de observaciones disminuye.

Tabla XXIX. **Número de observaciones en los procesos para cada área**



Registro de tiempos

Artículo a fabricar		Sillas			Estilo		Varios	
Elemento	Operación	Número de ciclos (tiempo en minutos)					Número observaciones	
		1	2	3	Total	Promedio		
Corte								
1	Cortar 02 patas largas	0,75	0,78	0,73	2,26	0,75	40	
2	Cortar 02 patas cortas	0,71	0,66	0,73	2,10	0,70	40	
3	Cortar 02 soportes largos	0,75	0,83	0,8	2,38	0,79	30	
4	Cortar 01 soporte corto	0,33	0,36	0,4	1,09	0,36	60	
5	Cortar madera para la base	1,50	2,00	1,80	5,30	1,77	20	
6	Cortar 01 respaldo	0,50	0,50	0,66	1,66	0,55	40	
7	Cortar 04 marcos para base	0,50	0,55	0,45	1,50	0,50	60	
8	Hacer muescas a 02 patas largas	14,75	14,83	14,60	44,18	14,73	8	
9	Hacer muescas a 02 patas cortas	13,25	13,30	13,00	39,55	13,18	8	
10	Espigado de 02 soportes largos	14,25	14,25	14,30	42,80	14,27	8	
11	Espigado de 01 soporte corto	12,00	10,00	11,50	33,50	11,17	8	
12	Espigado de respaldo	8,30	8,50	8,40	25,20	8,40	10	
13	Espigado de 04 marcos de base	12,25	12,30	12,25	36,80	12,27	8	
Ensamble								
14	Encolar y atornillar base y patas	32,00	32,10	32,00	96,10	32,03	5	
15	Verificar alineación	5,25	5,25	5,00	15,5	5,2	8	
	Dejar secar	120,0	120,0	120	360,0	120,0		
16	Pegar asiento	5,25	5,20	5,00	15,5	5,2	10	
Lijado y Pulido								
17	Lijado de la silla armada	30,20	30,25	30,10	90,6	30,2	5	
18	Masillado y lijado de la silla	22,00	22,30	22,25	66,6	22,2	5	
Acabado								
19	Aplicar fondo a la silla	4,25	4,30	4,00	12,55	4,18	15	
20	Lijar fondo a la silla	15,00	15,25	15,50	45,75	15,25	8	
	Dejar secar	60,00						
21	Aplicar acabado a la silla	4,25	4,30	4,00	12,55	4,18	15	
22	Inspeccionar acabado	10,00			10,00	10,00	8	
	Dejar secar	60,00			60,00	60,00		
23	Empacar silla	5,00	5,25	5,00	15,25	5,08	15	

Fuente: elaboración propia.

3.3.5. Cálculo del tiempo promedio

La forma de calcular el tiempo promedio empleado para realizar cada proceso se obtuvo mediante la siguiente expresión:

$$Te = \frac{\sum \text{tiempos cronometrados}}{\# \text{ de observaciones}}, \quad \text{donde } Te = \text{ tiempo promedio}$$

- Elaboración de sillas:

$$Te_1 = \frac{0,75+0,79+0,73+0,72+0,70+\dots+0,78+0,80+0,70+0,70+0,73}{15} = 0,74$$

$$Te_2 = \frac{0,71+0,66+0,73+1,00+1,10+\dots+0,90+0,90+1,00+1,10+1,00}{15} = 0,95$$

$$Te_3 = \frac{0,75+0,79+0,73+0,72+0,70+\dots+0,78+0,80+0,70+0,70+0,73}{15} = 0,96$$

.

.

.

$$Te_{21} = \frac{4,25+4,30+4,00+4,10+4,25+\dots+4,25+4,10+4,00+4,00+4,20}{15} = 4,15$$

$$Te_{22} = \frac{10,0+10,0+10,0+10,0+10,0+10,0+10,0+10,0}{8} = 10,0$$

$$Te_{23} = \frac{5,00+5,30+5,00+5,50+5,30+\dots+5,00+5,10+4,80+5,00+5,10}{15} = 5,16$$

El tiempo promedio para cada elemento se encuentra indicado en la tabla XXX.

Tabla XXX. Tiempo promedio para la elaboración de sillas



Registro de tiempos

Artículo a fabricar		Sillas		Estilo		Varios		Número de Ciclos (tiempo en minutos)										Total	Te
Elemento	Operación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total	Te	
		Corte																	
1	Cortar 02 patas largas	0,75	0,78	0,73	0,72	0,70	0,75	0,75	0,73	0,70	0,75	0,78	0,80	0,70	0,70	0,73	11,07	0,74	
2	Cortar 02 patas cortas	0,71	0,66	0,73	1,00	1,10	1,00	0,90	1,00	1,20	1,00	0,90	0,90	1,00	1,10	1,00	14,20	0,95	
3	Cortar 02 soportes largos	0,75	0,83	0,80	1,00	0,90	1,00	1,10	1,00	1,20	0,90	1,00	0,90	1,00	0,90	1,10	14,38	0,96	
4	Cortar 01 soporte corto	0,33	0,36	0,40	0,40	0,50	0,33	0,33	0,50	0,40	0,36	0,40	0,50	0,50	0,60	0,45	6,36	0,42	
5	Cortar madera para la base	1,50	2,00	1,80	1,20	1,00	0,80	1,00	1,10	1,50	1,50	1,60	1,30	1,50	1,60	1,50	20,90	1,39	
6	Cortar 01 respaldo	0,50	0,50	0,66	0,60	0,50	0,64	0,60	0,50	0,70	0,70	0,60	0,50	0,60	0,50	0,50	8,60	0,57	
7	Cortar 04 marcos para base	0,50	0,55	0,45	0,33	0,54	0,66	0,50	0,45	0,48	0,51	0,50	0,51	0,45	0,51	0,40	7,34	0,49	
8	Hacer muescas 02 patas largas	14,75	14,83	14,60	14,50	14,50	14,30	14,00	14,25								115,73	14,47	
9	Hacer muescas 02 patas cortas	13,25	13,30	13,00	13,10	13,25	13,00	13,20	13,00								105,10	13,14	
10	Espigado de 02 soportes largos	14,25	14,25	14,30	14,00	14,20	14,30	14,00	14,25								113,55	14,19	
11	Espigado de 01 soporte corto	12,00	10,00	11,50	11,00	10,50	12,00	10,00	11,00								88,00	11,00	
12	Espigado de respaldo	8,30	8,50	8,40	8,00	8,25	8,30	8,33	8,25	8,25	8,00						82,58	8,26	
13	Espigado de 04 marcos de base	12,25	12,30	12,25	12,10	12,00	12,25	12,00	12,10								97,25	12,16	
Ensamble																			
14	Encolar y atornillar base y patas	32,00	32,10	32,00	31,75	32,00											159,85	31,97	
15	Verificar alineación	5,25	5,25	5,00	5,00	4,75	5,10	5,00	4,86	5,00	5,00						50,2	5,0	
	Dejar secar	120,0	120,0	120,0													360,0	120,0	
16	Pegar asiento	5,25	5,20	5,00	5,00	5,00	5,10	5,10	5,00	5,25	5,00						50,9	5,1	
Lijado y Pulido																			
17	Lijado de la silla armada	30,20	30,25	30,10	30,00	30,20											150,8	30,2	
18	Masillado y lijado de la silla	22,00	22,30	22,25	22,10	22,25											110,9	22,2	
Acabado																			
19	Aplicar fondo a la silla	4,25	4,30	4,00	4,10	4,25	4,00	4,10	4,30	4,25	4,20	4,25	4,10	4,00	4,00	4,20	62,30	4,15	
20	Lijar fondo a la silla	15,00	15,25	15,50	15,10	15,00	15,20	15,10	15,25								121,40	15,18	
	Dejar secar	60,0	60,0	60,0													180,00	60,00	
21	Aplicar acabado a la silla	4,25	4,30	4,00	4,10	4,25	4,00	4,10	4,30	4,25	4,20	4,25	4,10	4,00	4,00	4,20	62,30	4,15	
22	Inspeccionar acabado	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0								80,00	10,00	
	Dejar secar	60,0	60,0	60,0													180,00	60,00	
23	Empacar silla	5,0	5,3	5,0	5,5	5,3	5,0	5,0	5,2	5,8	5,3	5	5,1	4,8	5,0	5,1	77,35	5,16	

Fuente: elaboración propia.

3.3.6. Cálculo del tiempo estándar

Para el cálculo del tiempo estándar de operación primero se deberá calcular el tiempo normal de operación utilizando los datos del tiempo promedio de la sección 3.2.5, para que posteriormente se calcule el tiempo estándar.

3.3.6.1. Tiempo normal

El tiempo normal [TN] se obtiene a partir del producto entre el tiempo promedio (sección 3.2.5.) y el factor de desempeño que se muestra en la figura 54. Los valores para la habilidad, esfuerzo, condiciones y consistencia se obtienen de la figura 49 a la figura 52 (sección 3.2.2.).

Figura 54. Calificación del desempeño

Corte			Ensamble		
Habilidad	C1	0,06	Habilidad	C2	0,03
Esfuerzo	C1	0,05	Esfuerzo	C1	0,05
Condiciones	E	-0,03	Condiciones	E	-0,03
Consistencia	E	-0,02	Consistencia	E	-0,02
Suma algebraica		0,06	Suma algebraica		0,03
Factor de desempeño		1,06	Factor de desempeño		1,03

Lijado y pulido			Barnizado		
Habilidad	C1	0,06	Habilidad	B2	0,08
Esfuerzo	C2	0,02	Esfuerzo	B2	0,08
Condiciones	E	-0,03	Condiciones	F	-0,07
Consistencia	E	-0,02	Consistencia	E	-0,02
Suma algebraica		0,03	Suma algebraica		0,07
Factor de desempeño		1,03	Factor de desempeño		1,07

Fuente: elaboración propia.

La expresión que nos dará todos los valores para el tiempo normal será la siguiente:

$$TN = T_e * (\text{factor de desempeño})$$

Donde:

TN = tiempo normal

T_e = tiempo promedio

- **Tiempo normal para la elaboración de sillas**

$$TN_1 = 0,74 * 1,06 = 0,78 \quad \text{Factor de desempeño área de corte: 1,06}$$

$$TN_2 = 0,95 * 1,06 = 1,00$$

$$TN_3 = 0,96 * 1,06 = 1,02$$

$$TN_4 = 0,42 * 1,06 = 0,45$$

·

·

·

$$TN_{21} = 4,15 * 1,07 = 4,44 \quad \text{Factor de desempeño área de barnizado: 1,07}$$

$$TN_{22} = 10,00 * 1,07 = 10,70$$

$$TN_{23} = 5,16 * 1,07 = 5,52$$

Los tiempos normales obtenidos luego de utilizar la formula se encuentran tabulados en la tabla XXXI.

Tabla XXXI. **Tiempo normal para la elaboración de sillas**



Artículo a fabricar	Sillas
Estilo	Varios

Elemento	Operación	Tiempo en minutos	
		Te	TN
CORTE			
1	Cortar 02 patas largas	0,74	0,78
2	Cortar 02 patas cortas	0,95	1,00
3	Cortar 02 soportes largos	0,96	1,02
4	Cortar 01 soporte corto	0,42	0,45
5	Cortar madera para la base	1,39	1,48
6	Cortar 01 respaldo	0,57	0,61
7	Cortar 04 marcos para base	0,49	0,52
8	Hacer muescas 02 patas largas	14,47	15,33
9	Hacer muescas 02 patas cortas	13,14	13,93
10	Espigado de 02 soportes largos	14,19	15,05
11	Espigado de 01 soporte corto	11,00	11,66
12	Espigado de respaldo	8,26	8,75
13	Espigado de 04 marcos de base	12,16	12,89
ENSAMBLE			
14	Encolar y atornillar base y patas	31,97	32,93
15	Verificar alineación	5,02	5,17
	Dejar secar	120,00	120,00
16	Pegar asiento	5,09	5,24
LIJADO Y PULIDO			
17	Lijado de la silla armada	30,2	31,1
18	Masillado y lijado de la silla	22,2	22,8
ACABADO			
19	Aplicar fondo a la silla	4,15	4,44
20	Lijar fondo a la silla	15,18	16,24
	Dejar secar	60,00	60,00
21	Aplicar acabado a la silla	4,15	4,44
22	Inspeccionar acabado	10,00	10,70
	Dejar secar	60,00	60,00
23	Empacar silla	5,16	5,52

Fuente: elaboración propia.

3.3.6.2. Tiempo estándar

El tiempo estándar se obtiene del producto entre el tiempo normal de cada proceso y la suma (1 + suplementos). Los porcentajes para los suplementos fueron tomados del anexo 11 y se asignaron los valores correspondientes los cuales se muestran en la tabla XXXII.

Tabla XXXII. **Suplementos asignables en la elaboración de sillas**

Corte		Ensamble	
Suplementos	Porcentaje	Suplementos	Porcentaje
Hombre	9,00 %	Hombre	9,00 %
Trabaja de pie	2,00 %	Trabaja de pie	2,00 %
Postura ligeramente incomoda	2,00 %	Postura ligeramente incomoda	2,00 %
Uso de fuerza (levantar, tirar o empujar)	4,00 %	Uso de fuerza (levantar, tirar o empujar)	4,00 %
Iluminación	0,00 %	Iluminación	2,00 %
Concentración intensa	2,00 %	Concentración	2,00 %
Ruido	5,00 %	Ruido	5,00 %
Tensión mental	4,00 %	Tensión mental	1,00 %
TOTAL	28,00 %	TOTAL	27,00 %

Lijado y pulido		Barnizado	
Suplementos	Porcentaje	Suplementos	Porcentaje
Hombre	9,00 %	Hombre	9,00 %
Trabaja de pie	2,00 %	Trabaja de pie	2,00 %
Postura ligeramente incomoda	2,00 %	Postura ligeramente incomoda	2,00 %
Uso de fuerza (levantar, tirar o empujar)	4,00 %	Uso de fuerza (levantar, tirar o empujar)	4,00 %
Iluminación	2,00 %	Iluminación	0,00 %
Concentración	2,00 %	Concentración	5,00 %
Ruido	5,00 %	Ruido	2,00 %
Tensión mental	1,00 %	Tensión mental	4,00 %
TOTAL	27,00 %	TOTAL	28,00 %

Fuente: elaboración propia.

La expresión que se utilizará para determinar el valor del tiempo estándar para cada elemento del proceso será la siguiente:

$$TE = TN * (1 + suplementos)$$

Donde:

TE = tiempo estándar

TN = tiempo normal

- **Tiempo estándar para la fabricación de sillas:**

Para calcular el tiempo estándar en el proceso de elaboración de sillas serán asignados los siguientes valores para los suplementos:

$$TE_1 = 0,78 * (1 + 0,28) = 1,00$$

$$TE_2 = 1,00 * (1 + 0,28) = 1,28$$

$$TE_3 = 1,02 * (1 + 0,28) = 1,30$$

.

.

.

$$TE_{21} = 4,44 * (1 + 0,28) = 5,69$$

$$TE_{22} = 10,70 * (1 + 0,28) = 13,70$$

$$TE_{23} = 5,52 * (1 + 0,28) = 7,06$$

Porcentaje total de suplementos
asignados al área de corte: 28 %

Porcentaje total de suplementos
asignados al área de acabado: 28 %

El tiempo estándar para todos los elementos después de operarlos se encuentran tabulados en la tabla XXXIII.

3.4. Diagramas mejorados

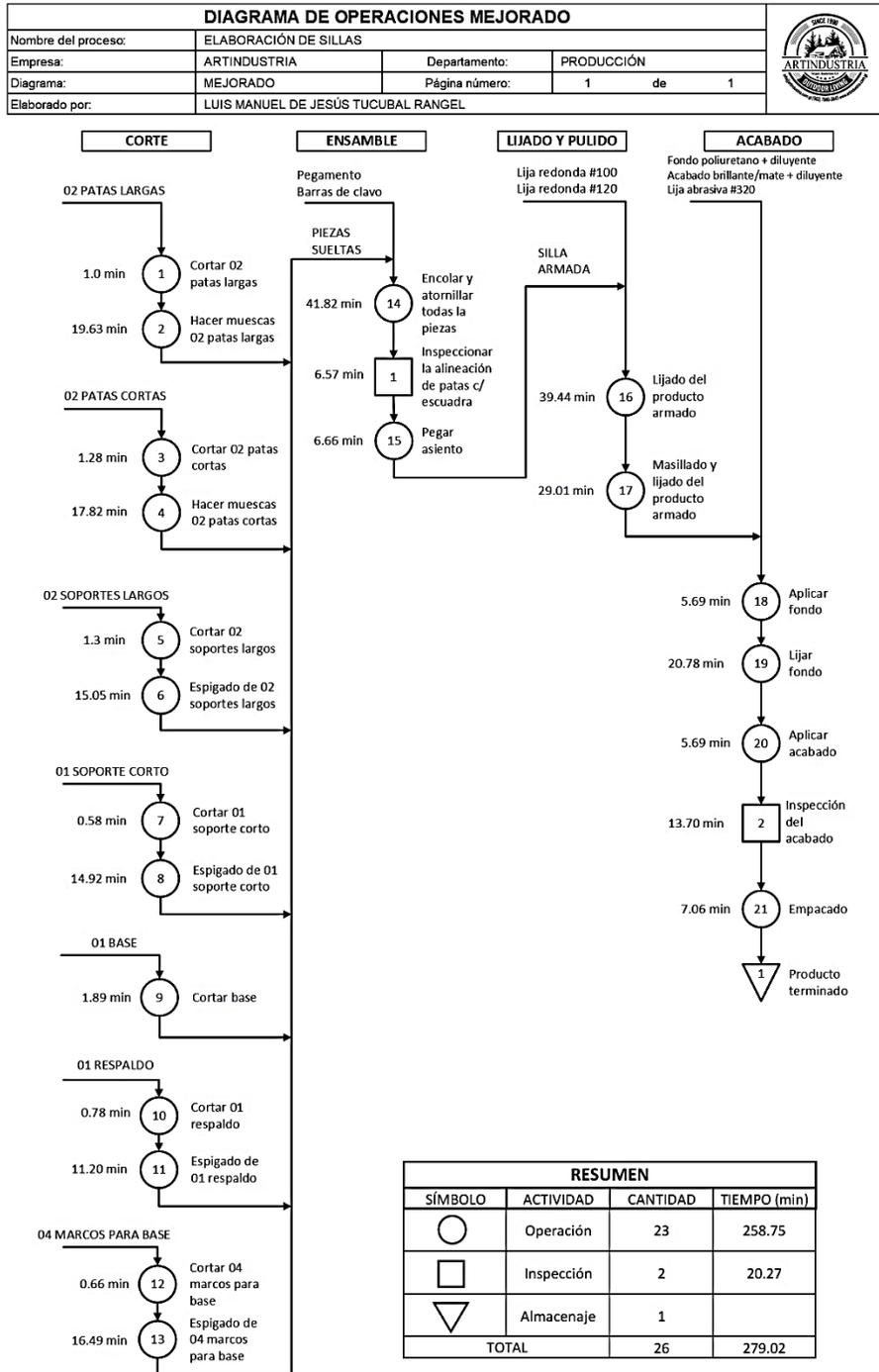
Los diagramas mejorados para la elaboración de sillas se obtuvieron luego de realizar el estudio de tiempos, dónde se determinaron las actividades que no son necesarias y que pueden eliminarse o combinarse con otras para poder disminuir los tiempos de fabricación. Se utilizó la técnica del interrogatorio para analizar el proceso de trabajo, con las siguientes preguntas:

- ¿Es necesario realizarla?
- ¿Por qué se desarrolla en ese lugar?
- ¿Quién lo hace?
- ¿Por qué lo hace esa persona?
- ¿Por qué se hace de esa manera?
- ¿Puede combinarse con otra operación?

3.4.1. Diagrama de operaciones mejorado

El diagrama de operaciones es la representación gráfica que muestra la secuencia de todas las operaciones, inspecciones y las operaciones combinadas (operación-inspección) que son necesarias para el proceso de elaboración de sillas de varios estilos, en donde se eliminó la selección de la madera en la parte externa a la planta, ya que se plantea organizarla de acuerdo a diferentes dimensiones y formas, lo que facilitaría su empleo y disponibilidad al momento de desarrollar el proceso de fabricación.

Figura 55. Diagrama de operaciones mejorado para la elaboración de sillas

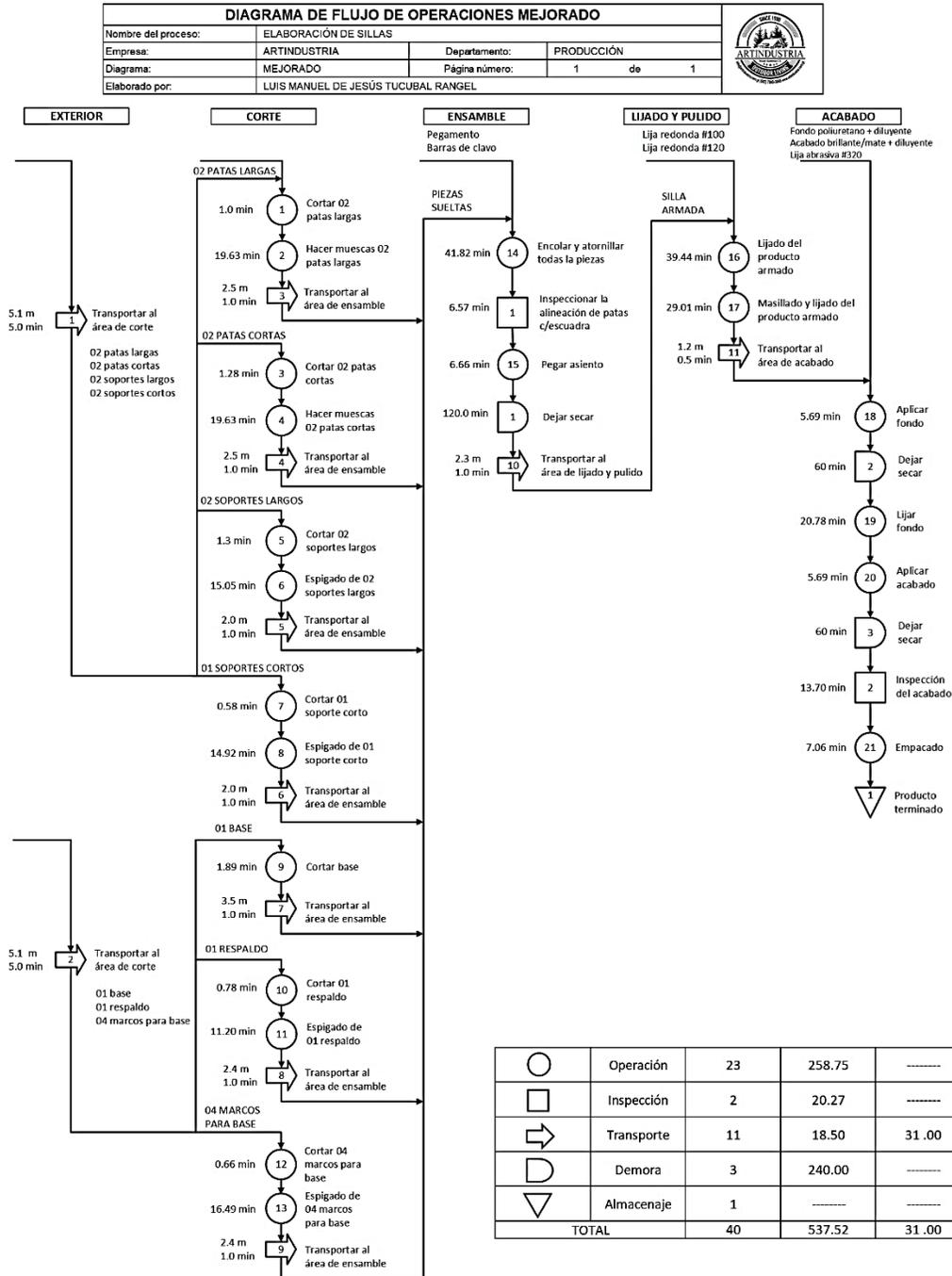


Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

3.4.2. Diagrama de flujo de operaciones mejorado

El diagrama de flujo de operaciones es la representación gráfica que muestra la secuencia de todas las operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenamientos que ocurren durante el proceso de elaboración de sillas de varios estilos, por tanto se eliminó la operación de selección de la madera en la parte externa a la planta, ya que se plantea organizarla de acuerdo a diferentes dimensiones y formas, lo que facilitaría su empleo y disponibilidad al momento de desarrollar el proceso de fabricación.

Figura 56. Diagrama flujo de operaciones mejorado de elaboración de sillas



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

3.5. Distribución de planta

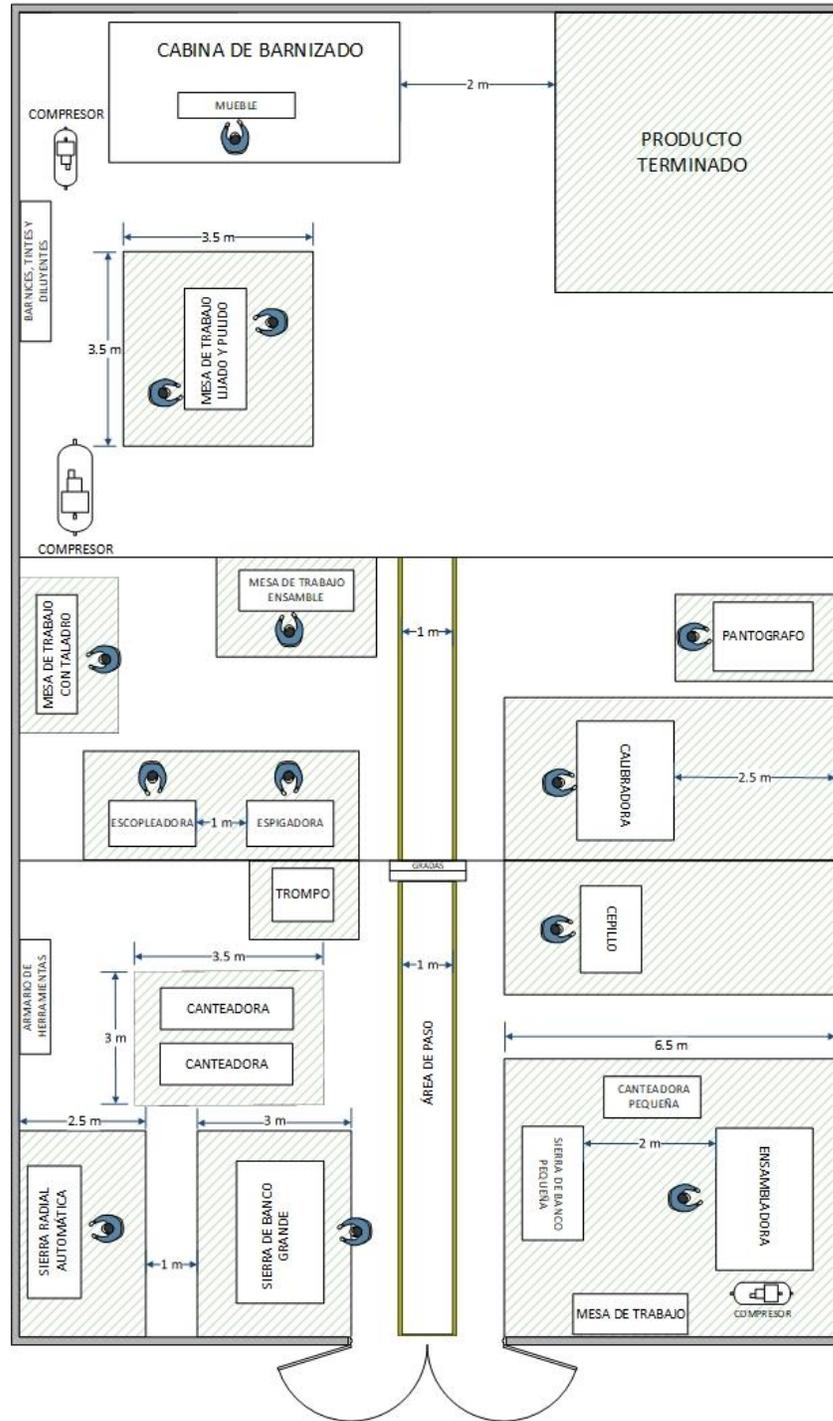
La distribución de planta es la colocación física ordenada de los medios industriales, como lo es la maquinaria, equipos, trabajadores, espacios requeridos para el movimiento de materiales y su almacenaje, además de conservarse los espacios necesarios para la mano de obra indirecta y servicios auxiliares.

En este apartado se seleccionará el tipo de distribución de planta la cual determina la ruta que sigue el producto desde su ingreso a la planta hasta que sale como producto terminado, la distribución de maquinaria y la distribución de los lugares de trabajo en la planta de producción.

3.5.1. Tipo de distribución de planta

El tipo de distribución de planta para Artindustria es la de distribución por procesos ya que su principal característica es la de producir bajo pedido según las necesidades y gustos del cliente, fabricando una gran variedad de productos con características muy especiales que en muchas ocasiones no se repiten nuevamente. Los trabajadores poseen las capacidades y habilidades para realizar diferentes operaciones para diferentes productos en su lugar de trabajo.

Figura 57. **Layout distribución de planta**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

3.5.2. Distribución de maquinaria

La distribución de maquinaria se hará por medio del cálculo de superficies utilizando el método de Guerchet, mediante este cálculo se determinarán los espacios físicos que requerirán cada una de las máquinas y lugares de trabajo en la planta. La superficie total necesaria será la suma de tres superficies parciales que son:

- Superficie estática (Ss), que corresponde al área de máquinas, muebles y puestos de trabajo.

$$Ss = \text{largo} * \text{ancho}$$

- Superficie de gravitación (Sg), es el área utilizada alrededor de los puestos de trabajo por el operario. Se calcula multiplicando la superficie estática por el número de lados (N) operables alrededor de la máquina o puesto de trabajo.

$$Sg = Ss * N$$

- Superficie de evolución (Se), es la superficie que se reserva para el paso del personal, transporte de materia prima y producto terminado.

$$Se = (Ss + Sg) * K$$

Donde K (coeficiente constante), puede variar desde 0,05 a 3,00 dependiendo de la razón de la empresa, tal como se muestra en la tabla XXXIV

Tabla XXXIV. Valores para coeficiente K

Razón de la empresa	Coficiente K
Gran industria alimenticia	0,05 - 0,15
Trabajo en cadena, transporte mecánico	0,10 - 0,25
Textil - Hilado	0,05 - 0,25
Textil - Tejido	0,05 - 0,25
Relojería, Joyería	0,75 - 1,00
Industria mecánica pequeña	1,50 - 2,00
Industria mecánica	2,00 - 3,00

Fuente: *Herramientas para el ingeniero industrial.*

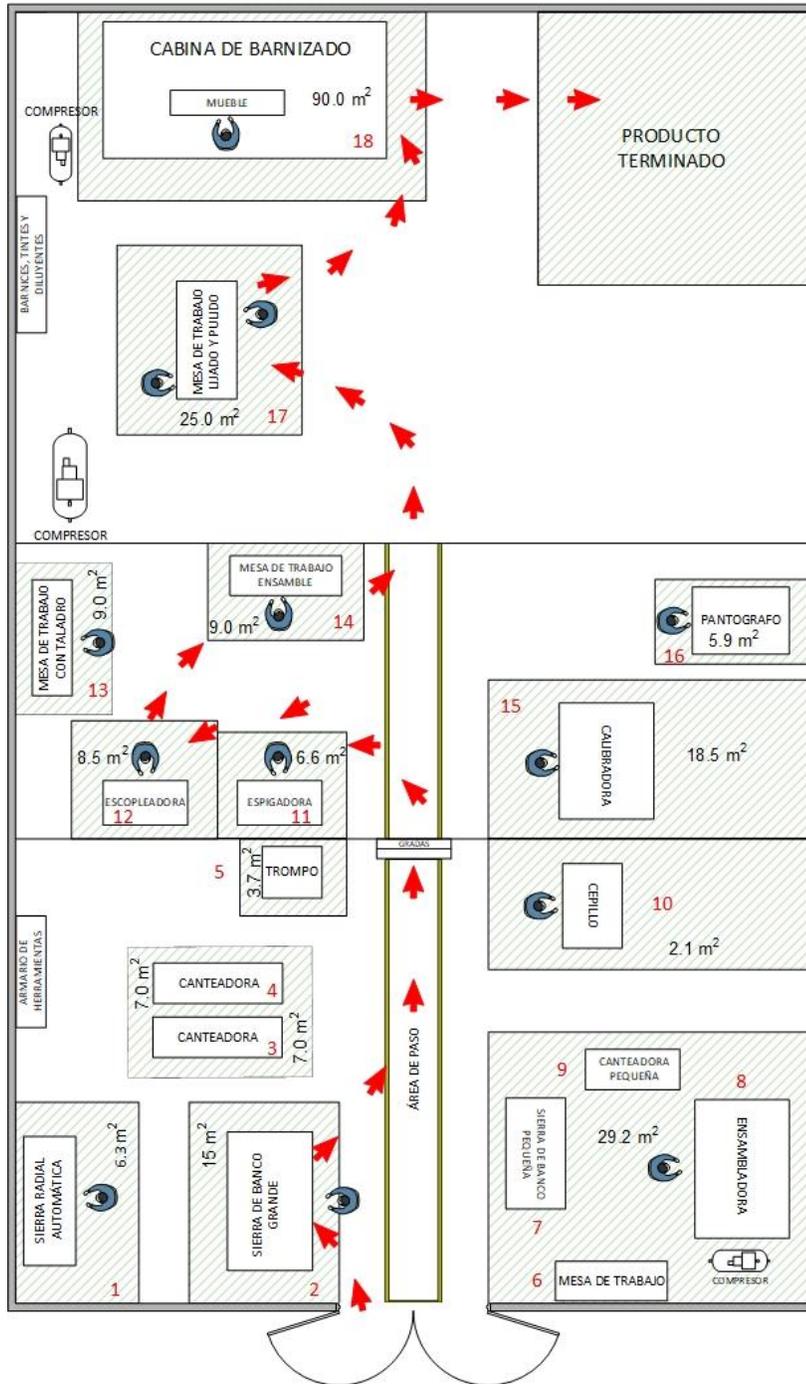
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/dise%C3%B1o-y-distribuci%C3%B3n-en-planta/m%C3%A9todos-de-distribuci%C3%B3n-y-redistribuci%C3%B3n-en-planta/>. Consulta: 14 de septiembre de 2017.

Tabla XXXV. Valores para superficies método de Guerchet

Máquina o puesto de trabajo No.	Dimensiones		Superficie necesaria			
	Ancho (1)	Largo (2)	Superficie estática Ss (1) * (2)	Lados operables N	Superficie de gravitación Sg=Ss*N	Superficie de evolución Se= (Ss + Sg)*K
1	0,7	1,2	0,8	3	2,5	6,3
2	1,2	2,5	3,0	2	6,0	15,0
3	0,7	2,0	1,4	2	2,8	7,0
4	0,7	2,0	1,4	2	2,8	7,0
5	0,7	0,7	0,5	3	1,5	3,7
6	0,6	2,0	1,2	3	3,6	9,0
7	0,8	1,2	1,0	3	2,9	7,2
8	1,6	2,5	4,0	1	4,0	10,0
9	0,6	1,0	0,6	2	1,2	3,0
10	0,7	0,6	0,4	2	0,8	2,1
11	1,2	1,1	1,3	2	2,6	6,6
12	1,3	1,3	1,7	2	3,4	8,5
13	0,6	2,0	1,2	3	3,6	9,0
14	0,6	2,0	1,2	3	3,6	9,0
15	1,2	2,2	2,5	3	7,4	18,5
16	0,7	1,1	0,8	3	2,4	5,9
17	1,0	2,5	2,5	4	10,0	25,0
18	3,0	6,0	18,0	2	36,0	90,0
TOTALES			43,5		97,1	242,7

Fuente: elaboración propia.

Figura 58. Distribución de equipos



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

3.5.3. Distribución de los lugares de trabajo

Los lugares de trabajo se encuentran distribuidos por áreas, siendo éstas: corte, ensamble, lijado y pulido, acabado y producto terminado, en cada una de las cuales se encuentran las estaciones de trabajo que obedecen al uso de una o más maquinas dependiendo la naturaleza del trabajo que se realice.

Las estaciones de trabajo en total son 18 además del área de producto terminado, y están distribuidas como se muestra en la figura 58.

3.6. Indicadores

Los indicadores de producción son las variables que permiten identificar algún defecto cuando se elabora un producto o se brinda un servicio, de esta manera se refleja la eficiencia en el uso de los recursos de la empresa (generales y recursos humanos), a fin de poder incrementar la producción y reducir o mantener los costos empleados.

3.6.1. Productividad

La productividad se define como el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles (mano de obra, materiales, energía eléctrica, etc.) para alcanzar objetivos propuestos.

En este caso, el objetivo es el incremento de la fabricación de sillas de varios estilos, por medio del empleo eficiente del tiempo disponible en una jornada de trabajo, para lograr el objetivo se hará uso de la siguiente expresión:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Tiempo real}}{\text{Tiempo disponible}} * \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Unidades planificadas}} * 100 \%$$

- Se tiene una producción diaria de 4 sillas (dato proporcionado por la administración).
- Jornada de 8 horas diarias.
- Tiempo real: 590,1 minutos (dato del diagrama de flujo actual, figura 48)

$$\text{Productividad} = \frac{590,1 \text{ min}}{480 \text{ min}} * \frac{4 \text{ sillas}}{8 \text{ sillas}} * 100 \% = 61 \%$$

El porcentaje obtenido corresponde a la productividad actual de la empresa, donde no se está empleando de manera eficiente el tiempo de los trabajadores, ya que en algunas operaciones de fabricación emplean más tiempo de lo que se necesita.

Después de realizar el balance líneas la producción diaria de sillas aumenta a 7, entonces los datos serán:

- Se tiene una producción diaria de 7 sillas (dato de la sección 3.7.3.)
- Jornada de 8 horas diarias.
- Tiempo real: 537,52 minutos (dato del diagrama de flujo mejorado, figura 56).

$$\text{Productividad} = \frac{537,52 \text{ min}}{480 \text{ min}} * \frac{7 \text{ sillas}}{8 \text{ sillas}} * 100 \% = 97 \%$$

El porcentaje de la productividad aumenta luego de realizar el estudio de tiempos y balance de líneas, esto nos indica que los tiempos de fabricación disminuyen y los operarios están empleando de una mejor manera el tiempo que tienen disponible por jornada de trabajo.

3.7. Balance de líneas

El balance de líneas es una de las herramientas más importantes para el correcto control de la producción, ya que permite conocer y determinar el número adecuado de personas para cada estación de trabajo, identificar la operación más lenta del proceso, esto para que haya un equilibrio en las estaciones y pueda alcanzarse la eficiencia deseada. El tiempo de operación que se utilizará para el balance de líneas será el tiempo estándar obtenido en el estudio de tiempos para la elaboración de sillas.

3.7.1. Cálculo de eficiencia

Para determinar la eficiencia se debe hacer uso del tiempo estándar obtenido en el estudio de tiempos para el proceso de elaboración de sillas, quedando los tiempos como se muestran a continuación:

Tabla XXXVI. **Tiempo estándar para cada estación de trabajo**

Número de operación	Operación	Tiempo estándar (min)
1	Proceso de corte de piezas	7,49
2	Proceso de espigado	61,88
3	Proceso de muescas	37,45
4	Proceso de ensamblado	175,05
5	Proceso de lijado y pulido	68,45
6	Proceso de acabado	152,16
7	Proceso de calidad	13,70
8	Empaque	7,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Tiempo estándar permitido**

Número de operación	Minutos por operación	Tiempo de espera en relación a la operación más lenta	Minutos estándar permitidos
1	7,49	167,55	175,05
2	61,88	113,17	175,05
3	37,45	137,59	175,05
4	175,05	-----	175,05
5	68,45	106,59	175,05
6	152,16	22,89	175,05
7	13,70	161,35	175,05
8	7,06	167,98	175,05
TOTAL	523,25		1400,37

Fuente: elaboración propia.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\sum \text{T.E.}}{\sum \text{T.E.P.}} * 100 \%$$

Donde:

\sum T.E. = sumatoria del tiempo estándar

\sum T.E.P. = sumatoria del tiempo estándar permitido

$$\text{Eficiencia} = \frac{523,25}{1400,37} * 100 \% = 37,36 \%$$

El valor obtenido corresponde a la eficiencia que se tiene actualmente antes del balance de líneas, el bajo porcentaje se debe a que únicamente se ha asignado a una persona para cada operación, y esto se ve reflejado en el tiempo de la operación más lenta, por lo tanto, retrasa todo el proceso de producción.

3.7.2. Número de personas

Para determinar el número de operarios necesario para cada operación se aplicará la siguiente expresión:

$$NO = \frac{TE * IP}{E}$$

Donde:

NO = número de operadores para la línea

\sum TE = sumatoria del tiempo estándar permitido (tabla XXXVII)

IP = índice de producción

E = eficiencia planeada (80 %)

$$IP = \frac{\text{Unidades a fabricar}}{\text{Tiempo disponible de un operador}}$$

- Para el proceso de elaboración de sillas se tiene:
 - Producción requerida de 8 sillas
 - Jornada de trabajo: diurna normal de 8 hrs = 480 minutos

$$IP = \frac{8 \text{ sillas}}{480 \text{ minutos}} = 0,017 \text{ sillas/minuto}$$

La eficiencia planificada es del 80 % (porcentaje solicitado por la gerencia de la empresa).

El número teórico de operadores para cada área será:

$$NO = \frac{\sum TE * IP}{E} = \frac{(523,25)(0,017)}{0,80} \approx 12 \text{ personas}$$

A continuación, se calcula el número de operadores que se utilizarán en cada una de las ocho operaciones antes mencionadas. Puesto que se requieren de 8 unidades de trabajo al día, será necesario producir 1 unidad en aproximadamente 60 minutos (480/8).

Entonces se calcula el número de operadores necesarios para cada operación dividiendo los minutos estándar para cada operación (minutos de la tabla XXXVI) entre el número de minutos permitidos para producir una pieza (60 min), de la manera siguiente:

Tabla XXXVIII. **Número de trabajadores por operación**

Número de operación	Tiempo estándar (min)	TE / Minutos por unidad	Número de operadores
1	7,49	0,12	1
2	61,88	1,03	1
3	37,45	0,62	1
4	175,05	2,92	3
5	68,45	1,14	1
6	152,16	2,54	3
7	13,70	0,23	1
8	7,06	0,12	1
Total			12

Fuente: elaboración propia.

3.7.3. Producción

Para determinar la producción del balance de líneas, primero se determinará la estación más lenta de trabajo que será la que condicione el ritmo de producción. Para identificarla, se dividen los minutos estándar asignados a cada una de las ocho operaciones entre el número estimado de operadores. Los resultados se muestran en la tabla XXXIX.

Tabla XXXIX. **Operación más lenta**

Número de operación	Tiempo estándar en min / # operadores
1	7,49 / 1 = 7,49
2	61,88 / 1 = 61,88
3	37,45 / 1 = 37,45
4	175,05 / 3 = 58,35
5	68,45 / 1 = 68,45
6	152,16 / 3 = 50,72
7	13,70 / 1 = 13,70
8	7,06 / 1 = 7,06

Operación más lenta	
5	68,45

Fuente: elaboración propia.

- Producción de sillas:

$$\text{Producción/h} = \frac{(\text{Núm. operarios en la estación más lenta})(60)}{\text{minutos estándar de la operación más lenta}}$$

$$\text{Producción/h} = \frac{(1)(60)}{68,45} = 0,88 \text{ unidades/h}$$

$$\text{Producción diaria} = (0,88 \text{ unidades/h}) (8 \text{ h}) \approx 7 \text{ unidades}$$

La eficiencia del balance de líneas será:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{unidades esperadas}} * 100$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{7 \text{ unidades}}{8 \text{ unidades}} * 100 = 87,50 \%$$

Luego de hacer el balance de líneas la eficiencia tendrá un aumento del 50,14 %, esto se debe a que antes del balance de líneas solo se asigna un trabajador para cada operación. Ya que, si se asignan dos personas más a las operaciones 4 y 6, disminuye el tiempo de la operación más lenta y no habrá un aumento de la cantidad de unidades fabricadas por jornada.

4. CAPACITACIÓN AL PERSONAL

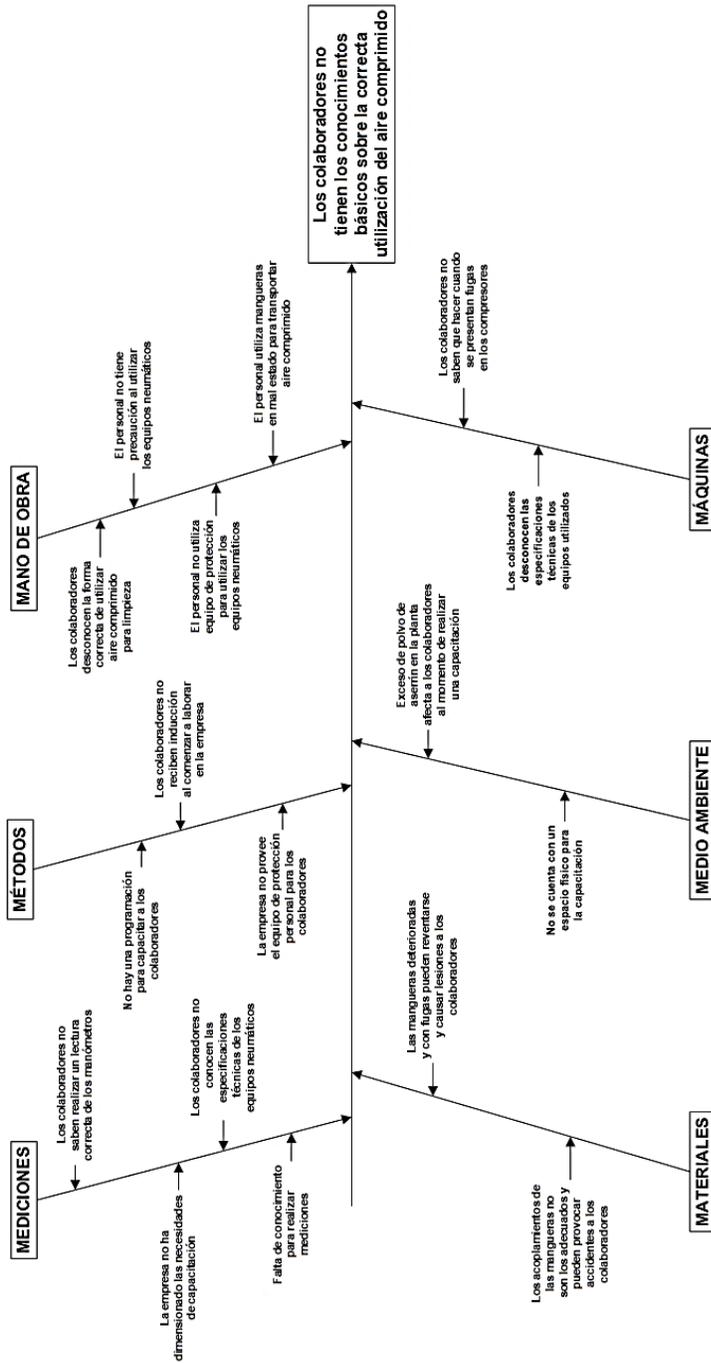
4.1. Diagnóstico de las necesidades de capacitación

La capacitación es un aspecto relevante para el personal de Artindustria, ya que se busca que cada uno de los empleados tenga los conocimientos básicos necesarios sobre la correcta utilización de aire comprimido, al igual que de las máquinas y herramientas que los utilizan.

Esta necesidad surge a raíz de que los empleados únicamente manejan los equipos sin conocer los requerimientos técnicos para su funcionamiento y esto ocasiona que la vida útil de los mismos se reduzca de una manera drástica y con ello se causen retrasos en los procesos productivos y un elevado costo de mantenimiento.

Para conocer las necesidades de capacitación se utilizó el diagrama de causa y efecto (figura 59), y la técnica de encuesta (figura 64), para identificar aspectos relevantes como la escolaridad de los empleados y los conocimientos preliminares que tienen de anteriores experiencias laborales, para que en base a ello se buscara la mejor metodología para que el proceso de enseñanza fuera lo más claro y entendible para los colaboradores.

Figura 59. Diagrama de causa y efecto para determinar las necesidades de capacitación



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

4.2. Plan de capacitación

- **Objetivos**
 - Hacer conciencia en cada uno de los trabajadores sobre el correcto uso del aire comprimido y las precauciones que se deben tener.
 - Capacitar a todo el personal operativo sobre el correcto empleo de aire comprimido para cada máquina y herramienta.
 - Brindar todas las especificaciones técnicas a los empleados a fin de que conozcan todos los parámetros de funcionamiento de los equipos neumáticos.
 - Indicar a los empleados la importancia del equipo de protección personal que deben utilizar al operar los compresores y equipos neumáticos.

- **Estrategias**
 - Realizar la capacitación en forma teórica y práctica.
 - Realizar la evaluación a los empleados sobre los conocimientos básicos del aire comprimido.
 - Hacer un estudio sobre el equipo de protección personal que los empleados deben utilizar dentro de la planta de producción.

- Colocar la ficha técnica de cada máquina que utilice aire comprimido, a fin de garantizar que los empleados puedan retener y comprender con mayor facilidad.
- Resultados esperados
 - Reducir al mínimo los actos inseguros que cometen los empleados al manipular aire comprimido.
 - Lograr que los empleados comprendan el beneficio de utilizar equipo de protección personal, principalmente las gafas y orejeras para evitar daños irreversibles a los que están expuestos.
 - Lograr que los empleados se familiaricen con parámetros como la presión y el caudal tanto de compresores como de máquinas y herramientas neumáticas.

4.2.1. Seguridad en instalaciones neumáticas

Para garantizar un correcto funcionamiento del circuito neumático es necesario desarrollar un programa para detectar fugas, a fin de que estas puedan ser reparadas de forma inmediata. Para ello es importante considerar los siguientes aspectos:

- Desarrollar un programa periódico para la detección de fugas, especialmente en las mangueras utilizadas para transportar aire comprimido a las máquinas y herramientas.

- Graduar los reguladores de presión solamente a la presión indicada de trabajo, según sea el equipo donde se utilizará.
- Mantener en buen estado los distintos manómetros, para garantizar una lectura confiable.
- Limpiar de forma periódica los filtros de aire en la entrada de aire, o cambiarlos cuando sea necesario.

4.2.1.1. Normas y recomendaciones de seguridad y salud ocupacional

En la utilización del aire comprimido se deben considerar diversos factores de seguridad para evitar cualquier riesgo para los empleados de producción de la empresa.

- Nunca se debe aplicar aire comprimido para limpieza personal, pues la aplicación directa a presión bajas como 1,5 bar produce lesiones muy graves. Por lo tanto, se debe evitar utilizarlo para limpiar el polvo de aserrín o suciedad del cuerpo o ropa.
- Cuando se utilice el aire comprimido para labores de limpieza, se debe asegurar que la presión no excede de 3 bar ya que una presión mayor puede provocar que partículas se disparen al cuerpo, a la vista o provocar su inhalación, por ello es necesario que las personas que realicen labores de limpieza utilicen gafas de protección, mascarilla y tapones auditivos.

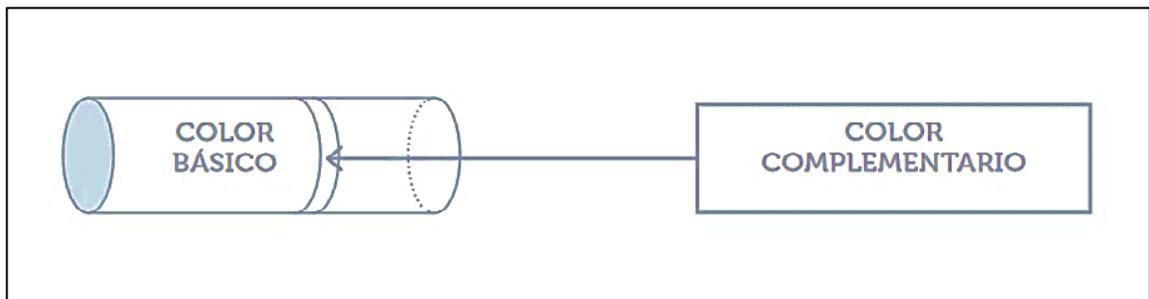
- Siempre se debe utilizar protección auditiva dentro de la planta de producción, ya que por la naturaleza del trabajo la exposición al ruido excesivo puede causar daños irreversibles al operario.
- Nunca se debe acoplar o desacoplar una manguera con presión de aire, primero debe despresurizarse lentamente.
- No utilizar mangueras deterioradas o en mal estado, ya que, al estar sometidas a flexiones, golpes, erosiones, etc., se puede producir una falla en la misma y causar una lesión grave en los operarios.
- Siempre debe utilizarse la presión adecuada cuando se manipulen herramientas neumáticas para el proceso productivo, de lo contrario se da lugar a la ruptura de esta, y provocaría un riesgo de proyección de los elementos.
- En los puestos de trabajo se debe garantizar que los operarios puedan alcanzar fácilmente las herramientas neumáticas sin que interfieran con los brazos y movimientos que realice el trabajador.
- Cuando sea necesario utilizar mangueras en el suelo para transportar aire se debe tener cuidado de que no interfiera con las áreas de paso para evitar accidentes. Cuando finalice su uso debe de enrollarse y guardarse en un lugar seguro.

4.2.1.2. Señalización

La señalización para las tuberías del circuito neumático se basa en la norma alemana DIN 2403, esta tiene por objeto identificar los fluidos que

circulan por ellas en las instalaciones industriales, que en este caso es aire comprimido.

Figura 60. **Forma de aplicación de color básico y complementario en tubería industrial**



Fuente: Ibermutuamur, corporación mutua. *Señalización. Identificación de tuberías para fluidos.*
p. 2.

En cuanto al sentido de la circulación del aire comprimido, este se podrá indicar mediante una flecha de color blanco o negro, a manera que contraste con el color básico de fondo (azul). Sin embargo, cuando el diámetro de la tubería es pequeño se podrán colgar rótulos mediante abrazaderas a fin de facilitar la visibilidad a los operarios.

Figura 61. Señalización de la dirección de flujo

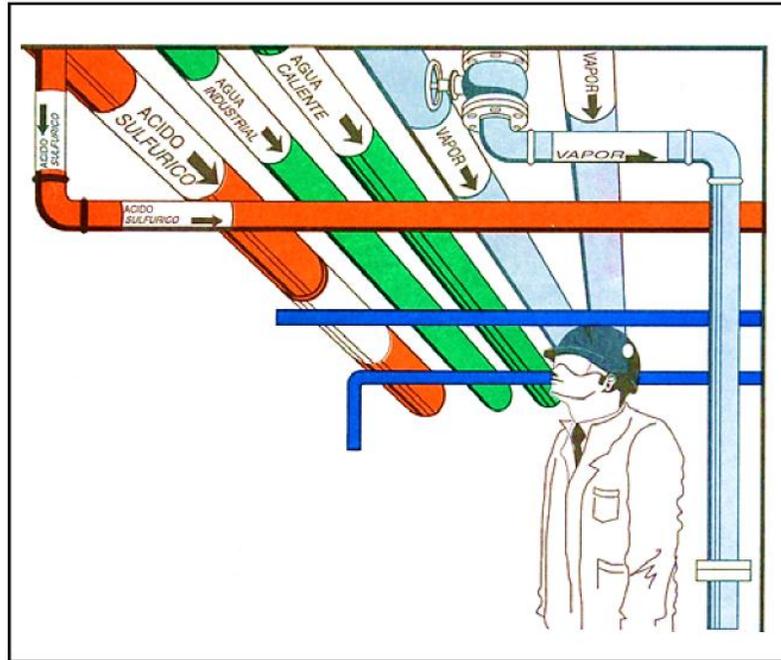


Fuente: CODELCO. *Norma Estándar Código de Colores. Identificación de sistemas de tuberías mediante código de colores y leyendas.* p. 11.

Se debe garantizar una correcta visibilidad de la tubería respecto a los colores, leyenda y flechas direccionales del fluido, estos deben ser eficaces, especialmente si se encuentra ubicada sobre la línea de visión normal o sobre la cabeza de los trabajadores.

Por ello, si se presentan las anteriores condiciones de visibilidad, las leyendas y flechas de dirección deben estar colocadas en la parte inferior de la tubería para garantizar una clara y rápida lectura por parte de los trabajadores.

Figura 62. **Visibilidad de la tubería**



Fuente: CODELCO. *Norma Estándar Código de Colores. Identificación de sistemas de tuberías mediante código de colores y leyendas.* p. 12.

4.2.1.3. **Normas para aplicación de colores**

La aplicación de colores en instalaciones industriales tiene como objetivo:

- Identificar equipos, herramientas y materiales dentro de la planta de producción.
- Delimitar el área de trabajo y áreas de paso.
- Identificar y localizar de una forma fácil los equipos de emergencia, como lo son los extinguidores.

- Identificar y prevenir peligros o condiciones inseguras.

La aplicación en sí de colores no elimina los riesgos que puedan existir, pero si da la pauta de la precaución que los operarios deben tener. Un color mal aplicado causaría confusión al personal y como consecuencia una condición insegura.

La aplicación de colores industriales además de contribuir con los objetivos antes mencionados aporta diversos aspectos en cuanto a la seguridad e higiene en el trabajo como lo son:

- Prevenir accidentes laborales
- Orden y limpieza en las áreas de trabajo y planta
- Identificar materiales de alto peligro

4.2.1.4. Colores para tubos de aire comprimido

Las tuberías para aire comprimido se deben pintar con el color básico que será azul en: toda la longitud, en cierta longitud o en una banda longitudinal, mientras que el anillo del color complementario que será rojo (Figura 62) será un anillo que tendrá como mínimo el ancho igual al diámetro de la tubería.

Figura 63. **Tabla de colores para tuberías industriales**

FLUIDO	COLOR BÁSICO	ESTADO	COLOR COMPLEMENTARIO	EJEMPLO
ACEITES	MARRÓN	GASOIL	AMARILLO	
		DE ALQUITRÁN	NEGRO	
		BENCINA	ROJO	
		BENZOL	BLANCO	
ÁCIDO	NARANJA	CONCENTRADO	ROJO	
AIRE	AZUL	CALIENTE	BLANCO	
		COMPRESIDO	ROJO	
		POLVO DE CARBÓN	NEGRO	
AGUA	VERDE	POTABLE	VERDE	
		CALIENTE	BLANCO	
		CONDENSADA	AMARILLO	
		A PRESIÓN	ROJO	
		SALADA	NARANJA	

Fuente: Ibermutuamur, corporación mutua. *Señalización. Identificación de tuberías para fluidos.*
p. 2.

4.2.2. Programa de actividades

La programación de actividades de capacitación se encuentra de manera cronológica en la siguiente tabla, que incluyen la jornada en la que se impartió, la duración y tipo de evaluación al que fueron sometidos los trabajadores.

Tabla XL. **Capacitación**

Fecha	Jornada	Duración	Tipo de evaluación	Personal involucrado
Agosto de 2017	Vespertina	20 minutos	Evaluación preliminar sobre conocimientos básicos de neumática y escolaridad, esto previo al programa de	Estudiante epesista Colaboradores de producción Administración
Septiembre de 2017	Vespertina	120 minutos	Evaluación oral Individual durante la parte teórica.	Estudiante epesista Colaboradores de producción
Octubre de 2017	Vespertina	20 minutos	Evaluación escrita	Estudiante epesista Colaboradores de producción

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. **Contenido de la capacitación**

El contenido de la capacitación se divide en parte teórica y práctica, detallándose en la siguiente tabla:

Tabla XLI. **Contenido de la capacitación**

Contenido	Responsable de la actividad	Recursos necesarios
Parte teórica		
<ul style="list-style-type: none"> • Aire comprimido • Presión y caudal • Uso correcto del aire comprimido • Conexión y desconexión de mangueras para aire comprimido • Cuidado de los equipos neumáticos • Manómetros • Equipo de protección personal • Colores para circuito neumático 	<ul style="list-style-type: none"> • Encargado de planta de producción. • Estudiante epesista • Área administrativa 	<ul style="list-style-type: none"> • Fotocopias • Laptop • Lapiceros • Sillas • Pantalla de televisión • Cables de conexión

Continuación de la tabla XLI.

Parte práctica		
<ul style="list-style-type: none"> • Purgado del compresor • Conexión y desconexión de mangueras • Cambio de manómetros 	<ul style="list-style-type: none"> • Encargado de planta de producción. • Estudiante epesista 	<ul style="list-style-type: none"> • Mangueras de conexión. • Desatornillador • Alicates

Fuente. elaboración propia.

4.2.4. Metodología

La metodología utilizada para la capacitación de los operarios de Artindustria fue la de instrucción directa en el puesto, esto con la finalidad de realizar un proceso personalizado con cada persona, puesto que por el factor académico es una limitante ya que la mayoría de ellos no posee estudios de diversificado y por tanto no es posible brindarles charlas grupales ya que no todos comprenden de la misma manera y con facilidad, además que no posee la misma habilidad para retener los conceptos.

Al utilizar esta metodología se logra establecer una relación más directa con los trabajadores y los mismos se sienten más cómodos y con la confianza para preguntar y resolver todas las dudas que pudieran surgirle.

Esta metodología además de ser directa también tiene la ventaja de que el trabajador aprende al tiempo que desarrolla sus actividades, hay una retroalimentación inmediata y no es necesario parar toda la planta de producción un tiempo determinado para llevarla a cabo, ya que se emplean únicamente de 15 a 30 minutos con cada operario en la jornada vespertina, justo antes de culminar labores de trabajo, para no interrumpir con el ritmo de trabajo.

4.3. Evaluación

La evaluación de la capacitación se desarrolló en dos partes, la primera fue una encuesta preliminar (figura 64) para conocer la situación actual de los empleados de Artindustria e identificar el conocimiento previo que poseen sobre el tema de aire comprimido y uso de equipo de protección personal.

La segunda se constituyó en una evaluación sobre la parte teórico-práctico de la capacitación (figura 65), lo que se pretende es que los empleados no olviden las especificaciones técnicas de cada máquina y herramienta para su correcta utilización.

También se realizaron observaciones sobre el correcto uso del equipo de protección personal, para garantizar su durabilidad y que lo utilicen durante las horas de trabajo.

Figura 64. Encuesta básica previa a capacitación



ENCUESTA NÚMERO 1



INFORMACIÓN BÁSICA Y ACADEMICA

EDAD: _____ **DOMICILIO:** _____
TIEMPO DE LABORAR EN LA EMPRESA: _____ **PUESTO:** _____
AÑOS DE EXPERIENCIA EN EL PUESTO _____

1. Marque con una X en el espacio correspondiente para indicar el grado académico más alto al cual llegó.

PRIMARIA
 BASICO
 DIVERSIFICADO
 UNIVERSIDAD

2. Si marcó la casilla de diversificado, indique su profesión:

BACHILLER
 TÉCNICO
 PERITO

3. Si marcó la casilla de universidad, indique la carrera: _____

INFORMACIÓN TÉCNICA LABORAL

4. ¿Recibió algún tipo de capacitación al momento de ingresar a laborar a la empresa?

SI
 NO

5. ¿Tiene conocimientos básicos de neumática?

SI
 NO

6. Conoce el funcionamiento y especificaciones técnicas de los compresores que son utilizados actualmente.

SI
 NO

7. De las siguientes herramientas neumáticas ¿CUÁLES SABE UTILIZAR?, puede elegir más de una.

CLAVADORA
LIJADORA ORBITAL

PISTOLA DE BARNIZADO

8. ¿Qué parámetros de funcionamiento sobre la herramienta conoce?

PRESIÓN
 CONSUMO
 NINGUNO

9. De las siguientes máquinas neumáticas ¿CUÁLES SABE UTILIZAR?, puede elegir más de una.

ENSAMBLADORA
CALIBRADORA
ESCOPLADORA

PANTOGRAFO (PIN ROUTER)
ESPIGADORA
TODAS

10. ¿Qué parámetros de funcionamiento sobre la maquinaria conoce?

PRESIÓN
 CONSUMO
 POTENCIA
 NINGUNO

Continuación de la figura 64.

USOS DEL AIRE COMPRIMIDO							
11. ¿Utiliza el aire comprimido para labores de limpieza?							
		SI	<input type="checkbox"/>				
		NO	<input type="checkbox"/>				
12. Si su respuesta anterior fue afirmativa, indique en que labor de limpieza ha empleado aire comprimido. Puede marcar mas de una opción.							
PISO	<input type="checkbox"/>	MÁQUINAS	<input type="checkbox"/>	MUEBLES	<input type="checkbox"/>	LÁMPARAS	<input type="checkbox"/>
ÁREA DE TRABAJO	<input type="checkbox"/>	ASEO PERSONAL	<input type="checkbox"/>	HERRAMIENTAS	<input type="checkbox"/>		
13. Suele doblar la manguera para evitar el paso de aire comprimido y hacer cambio de máquina o herramienta.							
				SI	<input type="checkbox"/>		
				NO	<input type="checkbox"/>		
SALUD OCUPACIONAL							
14. Marque con una X el quipo de protección personal con el que cuenta actualmente y el estado físico en el cual se encuentran							
GAFAS	<input type="checkbox"/>	BUENO	<input type="checkbox"/>	REGULAR	<input type="checkbox"/>	MALO	<input type="checkbox"/>
MASCARILLA	<input type="checkbox"/>	BUENO	<input type="checkbox"/>	REGULAR	<input type="checkbox"/>	MALO	<input type="checkbox"/>
OREJERAS O TAPONES	<input type="checkbox"/>	BUENO	<input type="checkbox"/>	REGULAR	<input type="checkbox"/>	MALO	<input type="checkbox"/>
GUANTES	<input type="checkbox"/>	BUENO	<input type="checkbox"/>	REGULAR	<input type="checkbox"/>	MALO	<input type="checkbox"/>
15. ¿Qué equipo de protección personal utiliza cuando opera las siguientes máquinas neumáticas?							
ENSAMBLADORA							
GAFAS	<input type="checkbox"/>	MASCARILLA	<input type="checkbox"/>	TAPONES	<input type="checkbox"/>		
OREJERAS	<input type="checkbox"/>	GUANTES	<input type="checkbox"/>	NINGUNO	<input type="checkbox"/>		
CALIBRADORA							
GAFAS	<input type="checkbox"/>	MASCARILLA	<input type="checkbox"/>	TAPONES	<input type="checkbox"/>		
OREJERAS	<input type="checkbox"/>	GUANTES	<input type="checkbox"/>				
ESCOPLADORA							
GAFAS	<input type="checkbox"/>	MASCARILLA	<input type="checkbox"/>	TAPONES	<input type="checkbox"/>		
OREJERAS	<input type="checkbox"/>	GUANTES	<input type="checkbox"/>	NINGUNO	<input type="checkbox"/>		
ESPIGADORA							
GAFAS	<input type="checkbox"/>	MASCARILLA	<input type="checkbox"/>	TAPONES	<input type="checkbox"/>		
OREJERAS	<input type="checkbox"/>	GUANTES	<input type="checkbox"/>	NINGUNO	<input type="checkbox"/>		
PANTOGRAFO (PIN ROUTER)							
GAFAS	<input type="checkbox"/>	MASCARILLA	<input type="checkbox"/>	TAPONES	<input type="checkbox"/>		
OREJERAS	<input type="checkbox"/>	GUANTES	<input type="checkbox"/>	NINGUNO	<input type="checkbox"/>		

Fuente: elaboración propia.

Figura 65. Formato de evaluación realizada a los colaboradores



EVALUACIÓN



Instrucciones: Marque con una X la respuesta correcta en el espacio correspondiente.

1. Es una de las formas de energía más antiguas que conoce el el hombre y que esta disponible de forma ilimitada:

a. Electricidad <input type="checkbox"/>	b. Aire comprimido <input type="checkbox"/>
--	---

2. Es la tecnología que trata los movimientos y procesos del aire.

a. Neumática <input type="checkbox"/>	b. Hidráulica <input type="checkbox"/>
---------------------------------------	--

3. Al circuito de aire comprimido se le llama circuito:

a. Eléctrico <input type="checkbox"/>	b. Neumático <input type="checkbox"/>	c. Hidráulico <input type="checkbox"/>
---------------------------------------	---------------------------------------	--

4. Instrumento que se utiliza para medir la presión del aire:

a. Manómetro <input type="checkbox"/>	c. Termómetro <input type="checkbox"/>
---------------------------------------	--

5. Unidad que mide la presión en el sistema inglés.

a. PSI <input type="checkbox"/>	b. CFM <input type="checkbox"/>	c. Bar <input type="checkbox"/>
---------------------------------	---------------------------------	---------------------------------

6. Unidad que mide el caudal de un fluido en el sistema internacional.

a. CFM <input type="checkbox"/>	b. PSI <input type="checkbox"/>	c. m3/min <input type="checkbox"/>	d. L/min <input type="checkbox"/>
---------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------

7. Una fuga de aire en el sistema provoca:

a. Caída de presión <input type="checkbox"/>	b. Disminución del caudal <input type="checkbox"/>
c. Pérdidas económicas <input type="checkbox"/>	d. Todas son correctas <input type="checkbox"/>

8. Condición ideal para la generación de aire comprimido.

a. Calor <input type="checkbox"/>	b. Ventilación <input type="checkbox"/>	c. Humedad <input type="checkbox"/>
-----------------------------------	---	-------------------------------------

9. En que caso debe evitarse el uso de aire comprimido:

a. Alimentar máquinas <input type="checkbox"/>	b. Alimentar herramientas <input type="checkbox"/>
c. Labores de limpieza <input type="checkbox"/>	d. Aseo personal <input type="checkbox"/>

10. ¿Con qué color se identifica la tubería de aire comprimido?

a. Azul con anillo rojo <input type="checkbox"/>	b. Verde con anillo rojo <input type="checkbox"/>
c. Azul con anillo blanco <input type="checkbox"/>	d. Azul sin anillo <input type="checkbox"/>

Fuente: elaboración propia.

4.4. Resultados

El resultado de las evaluaciones realizadas al personal operativo de la empresa se encuentra en los apéndices 7 y 8.

- Se obtuvo un 90 % de participación por parte de los operarios de producción y el personal del área administrativa.
- Se pudo alcanzar un 50 % de conocimiento de los trabajadores de producción sobre neumática y del uso correcto de los equipos neumáticos (los resultados se encuentran en la sección de apéndices).
- Se logró concientizar a los colaboradores sobre el uso del aire comprimido para limpieza personal, ya que conocen los riesgos que conlleva emplearlo para dicho fin.
- Se pudo aumentar el uso del equipo de protección personal por parte de los operarios.
- Se identificaron todas las máquinas neumáticas con sus respectivas especificaciones técnicas para que los operarios se puedan familiarizar con cada uno de los parámetros de funcionamiento.

CONCLUSIONES

1. Ante la falta de información de consumo y presión de los equipos neumáticos, se desarrollaron ensayos experimentales donde se determinó el consumo individual de los equipos utilizados y el consumo global de la planta de producción, cuyo valor es de 4,492 m³/min a una presión de operación de 8 bar.
2. Los compresores utilizados en la actualidad al no tener la capacidad de brindar el suministro necesario de aire, se determinó que el compresor que se debe utilizar para satisfacer la demanda global del sistema de 4,492 m³/min a una presión de 8 bar, será un compresor de tornillo marca Kaeser de la serie SFC 45S.
3. De acuerdo con los requisitos de diseño para el circuito neumático se necesita un tanque de almacenamiento con capacidad de 2 000 litros, para garantizar la disponibilidad del aire comprimido y con ello se puedan realizar futuras ampliaciones.
4. Para evitar deterioro por corrosión y pérdidas por fugas la tubería que se empleará para la construcción del circuito neumático será de aluminio con un diámetro de 40 mm (1,5 pulgadas), este es suficiente para la presión de trabajo a 8 bar.
5. Se diseñaron los diferentes formatos para el control del mantenimiento donde se registrarán las diversas actividades que se deben realizar, para preservar a cada uno de los equipos y tubería del circuito.

6. Con la construcción del diagrama de flujo de operaciones y la elaboración del estudio de tiempos, se identificó que las demoras en el proceso de elaboración de sillas son provocadas por la selección de la madera en el área exterior y por tiempo de secado, razón por la que se planteó la alternativa de clasificar la madera en grupos de diferente longitud, esto para eliminar el tiempo empleado en la búsqueda y selección.

RECOMENDACIONES

1. Asignar a una persona para que sea la encargada de limpiar los filtros de aire de los compresores utilizados en la actualidad, y en caso de que estén dañados informar a la administración para que se realice la sustitución correspondiente.
2. Verificar de manera periódica que todos los acoples de mangueras y máquinas se encuentren en buenas condiciones, y revisar que las mangueras utilizadas no se encuentren agrietadas a fin de evitar excesivas fugas de aire.
3. Inspeccionar el estado y correcto funcionamiento de los manómetros de los compresores y máquinas neumáticas, de ser necesario realizar el cambio respectivo, para garantizar una lectura confiable.
4. Verificar en todo momento que los operarios no utilicen el aire comprimido para labores de limpieza personal.
5. Programar una capacitación para retroalimentar al personal sobre el manejo de equipos neumáticos y uso adecuado del aire comprimido, con la finalidad de lograr un cambio en las actitudes y habilidades de los colaboradores.
6. Realizar una programación con el electromecánico y el jefe de planta de producción, para coordinar las tareas de mantenimiento preventivo y se

lleven los controles de mantenimiento a los equipos neumáticos, según la programación proporcionada en el presente proyecto.

7. Realizar las gestiones necesarias con la gerencia para que se puedan poner en funcionamiento los extractores de polvo que están en la planta, para reducir el exceso de polvo de aserrín que afecta la calidad del aire comprimido y que provoca enfermedades respiratorias a los colaboradores.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAUTISTA CALA, Sandra Milena.; MANZANO HOYOS, Cristy Johanna. *Mejoramiento del proceso productivo de la línea de muebles modulares de maximuebles*. Colombia: Universidad Industrial de Santander, 2011. 300 p.
2. CARNICER ROYO, Enrique. *Aire comprimido. Teoría y cálculo de las instalaciones*. 2a ed. Madrid, España: Paraninfo, S.A., 1991. 291 p.
3. CREUS SOLE, Antonio. *Neumática e hidráulica*. 2a ed. Barcelona, España: Marcombo S.A., 2001. 436 p.
4. CRUELLES RUIZ, José Agustín. *Ingeniería Industrial. Métodos de trabajo, tiempos y su aplicación a la planificación y a la mejora continua*. 1a ed. México: Alfaomega, 2012. 846 p.
5. DARI Air Compressors. *Piston Air Compressors*. Robassomero, Italia: DARI Air Compressors, 2014. 20 p.
6. Dewalt Industrial Tool Co. *Instrucciones de operación Dewalt DWFP12231*. Towson, EEUU.: Dewalt Industrial Tool Co., 2012. 6 p.
7. Dynabrade, Inc. *Instrucciones de operación Dynorbital Supreme*. USA: Dynabrade, Inc., 2005. 8 p.

8. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2005. 459 p.
9. GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto; DE LA VARA SALAZAR, Román. *Control estadístico de calidad y seis sigma*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 502 p.
10. Kaeser compresores de México. *Guía de instalación de sistemas de aire comprimido. Consideraciones de diseño para un sistema de aire comprimido confiable, eficiente y seguro*. México: Kaeser compresores de México 2015. 83 p.
11. _____. *Técnica de aire comprimido. Fundamentos y consejos prácticos*. México: McGraw-Hill, 2010. 60 p.
12. LÓPEZ PERALTA, Julián; ALARCÓN JIMÉNEZ, Enrique; ROCHA PÉREZ, Mario Antonio. *Estudio del trabajo. Una nueva visión*. México: Grupo editorial Patria S.A. de C.V., 2014. 257 p.
13. MALDONADO CONDE, Marco Vinicio. *Rediseño de la red de aire comprimido de la planta de producción de equipo de cocina y panadería Rest-o-pan S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2008. 89 p.
14. Ministerio de Minas y Energía, Colombia. *Anexo general. Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP*. Colombia: Ministerio de Minas y Energía, 2009. 246 p.

15. NIEBEL, Benjamin W.; FREIVALDS, Andris. *Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. 12a ed. México: McGraw-Hill, 2009. 614 p.
16. QUICK machinery company. *Pneumatic clamp Carrier. Installation & operation manual*. Wildomar, CA., EEUU.: QUICK machinery company, 2005. 35 p.
17. RODRÍGUEZ RAMÍREZ, Julián Andrés, LLANO, Cristian Alejandro. *Guía para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Dialux*. Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira, 2012. 86 p.
18. SANTIZO CORZO, Alan Osberto. *Estudio y propuesta del mejoramiento de operación del proceso productivo de un aserradero*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2006. 178 p.
19. SCM Group. *Operation and Maintenance SCM sandya CL110*. Francia: TradeMachines, 1980. 82 p.
20. Senco Brands, Inc. *Instrucciones de operación Senco PalletPro 57 FXP*. Cincinnati, EEUU.: Senco Brands, Inc., 2008. 9 p.
21. Sirca by Asturo. *Manual spray gun*. S. Dono di Massanzago, Italia: Sirca by Asturo, 2012. 16 p.
22. SOTO VÁSQUEZ, Ana Andrea. *Propuesta de rediseño de la red de aire comprimido de industrias ceresita S.A.* Chile: Universidad de Talca, Curicó, 2005. 228 p.

23. TORRES GARCÍA, Laureano. *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T-7*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2006. 116 p.

24. TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. 4a ed. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 256 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Estado actual de máquinas y herramientas neumáticas

	ESTADO ACTUAL DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS ÁREA DE PRODUCCIÓN
---	--

MÁQUINAS	PARÁMETROS																	
	Funcionamiento			Ruidos extraños			Se encuentran libres de fugas			Lubricación			Estado General			Condiciones de limpieza		
	B	R	M	B	R	M	B	R	M	B	R	M	B	R	M	B	R	M
Pantografo		X		X				X			X		X					X
Calibradora	X				X		X					X	X					X
Espigadora		X			X		X					X		X				X
Escopladora	X				X		X					X		X				X
Ensambladora	X			X			X				X		X					X

HERRAMIENTAS	PARÁMETROS																	
	Funcionamiento			Ruidos extraños			Almacenaje			Condiciones de servicio			Estado General			Condiciones de limpieza		
	B	R	M	B	R	M	B	R	M	B	R	M	B	R	M	B	R	M
Lijadora orbital	X			X				X		X				X			X	
Clavadora Dewalt	X			X				X		X			X				X	
Clavadora Senco	X			X				X		X			X				X	
Pistola de aire		X			N.A.			X			X			X			X	

Abreviaturas: B= Bueno, R= Regular, M= Malo

Nota: Si alguna máquina o herramienta no cuenta con alguno de los parametros escriba en el aspecto a evaluar N.A. (No aplica)

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Lluvia de ideas

	LLUVIA DE IDEAS ÁREA DE PRODUCCIÓN
---	---

MÉTODO DE LAS 6 M: MEDICIONES																		
	No se cuenta con instrumentación para realizar mediciones de presión y caudal			No se conocen las especificaciones técnicas los equipos neumáticos			Manómetros en mal estado			Mediciones preliminares para prevenir ausencia de aire			Falta de conomiento para realizar mediciones					
Participantes	Calificación																	
	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1
Jefe de personal	1				1		1				1			1				
Operador 1	1				1		1				1					1		
Operador 2	1			1				1				1			1			
Operador 3	1			1				1			1			1				
Operador 4		1			1			1				1		1				
Operador 5	1				1			1			1			1				
Sumatoria	5	1	0	2	4	0	2	4	0	0	4	2	0	4	2	0	0	0
Puntaje	25	3	0	10	12	0	10	12	0	0	12	2	0	12	2	0	0	0
Puntaje total	28			22			22			14			14			0		

MÉTODO DE LAS 6M: MÉTODOS																		
	No se conoce la capacidad de los compresores			No hay registros sobre el consumo de aire en la planta			No hay procedimientos para preservar el equipo en condiciones de servicio			Mediciones preliminares para prevenir ausencia de aire			Limpieza diaria			Excesivo uso de mangueras para trasportar aire comprimido		
Participantes	Calificación																	
	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1
Jefe de personal	1				1		1				1			1			1	
Operador 1	1				1		1				1			1			1	
Operador 2	1			1				1				1			1			1
Operador 3	1			1				1			1			1				1
Operador 4		1			1			1				1		1				1
Operador 5	1				1			1			1			1				1
Sumatoria	5	1	0	2	4	0	2	4	0	0	4	2	0	5	1	2	3	1
Puntaje	25	3	0	10	12	0	10	12	0	0	12	2	0	15	1	10	9	1
Puntaje total	28			22			22			14			16			20		

Continuación del apéndice 2.

MÉTODO DE LAS 6 M: MANO DE OBRA																			
	Mala utilización del aire comprimido			Falta de conocimientos sobre aire comprimido			No conocen los cuidados de los compresores			No conocen las especificaciones técnicas de las máquinas									
Participantes	Calificación																		
	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	
Jefe de personal	1				1		1						1						
Operador 1		1			1			1					1						
Operador 2		1		1					1				1						
Operador 3	1				1			1					1						
Operador 4		1			1			1					1						
Operador 5	1				1				1				1						
Sumatoria	3	3	0	1	5	0	1	3	2	0	3	3	0	0	0	0	0	0	
Puntaje	15	9	0	5	15	0	5	9	2	0	9	3	0	0	0	0	0	0	
Puntaje total	24			20			16			12			0			0			

MÉTODO DE LAS 6 M: MATERIALES																			
	Manguera de mala calidad o agrietas para transportar aire comprimido			Acoples de las mangueras no son los adecuados			No hay respuestas en bodega												
Participantes	Calificación																		
	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	
Jefe de personal	1				1		1												
Operador 1		1				1		1											
Operador 2		1				1			1										
Operador 3		1			1				1										
Operador 4		1			1				1										
Operador 5			1		1				1										
Sumatoria	1	4	1	0	4	2	1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Puntaje	5	12	1	0	12	2	5	6	3	0									
Puntaje total	18			14			14			0			0			0			

Continuación del apéndice 2.

MÉTODO DE LAS 6 M: MEDIO AMBIENTE																			
	Falta de limpieza			Excesivo polvo de aserrín			Falta de ventilación												
Participantes	Calificación																		
	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	
Jefe de personal	1				1		1						1						
Operador 1		1			1			1					1						
Operador 2		1		1							1			1					
Operador 3	1				1			1					1						
Operador 4		1		1				1						1					
Operador 5	1				1				1				1						
Sumatoria	3	3	0	2	4	0	1	3	2	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0
Puntaje	15	9	0	10	12	0	5	9	2	0	9	3	0						
Puntaje total	24			22			16			12			0			0			

MÉTODO DE LAS 6 M: MÁQUINAS																			
	Los compresores trabajan largas jornadas de trabajo			Las máquinas no utilizan los extractores de polvo			Máquinas antiguas			Los compresores presentan fugas			No se tiene una programación de mantenimiento para los equipos			Los compresores no tienen capacidad suficiente para suministrar aire			
Participantes	Calificación																		
	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	5	3	1	
Jefe de personal	1			1			1			1			1			1			
Operador 1	1				1		1						1			1			1
Operador 2	1				1		1						1				1		1
Operador 3		1		1			1						1				1		1
Operador 4		1		1			1						1			1			1
Operador 5	1					1	1						1				1		1
Sumatoria	4	2	0	3	2	1	6	0	0	1	4	1	1	2	3	3	3	3	0
Puntaje	20	6	0	15	6	1	30	0	0	5	12	1	5	6	3	15	9	0	0
Puntaje total	26			22			30			18			14			24			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Estado actual de los compresores

	ESTADO ACTUAL DE COMPRESORES ÁREA DE PRODUCCIÓN
---	--

COMPRESORES	PARÁMETROS																	
	Funcionamiento			Se encuentran limpios y libres en su entorno de todo material innecesario			Se encuentran libres de fugas de aire, aceites y grasas			Poseen las protecciones adecuadas de seguridad			Aspiran aire de calidad			Condiciones de limpieza en general		
	SI	A.V.	NO	SI	A.M.	NO	SI	A.M.	NO	SI	A.M.	NO	SI	A.M.	NO	B	R	M
Compresor 1		X				X			X			X			X			X
Compresor 2		X				X	X					X			X			X
Compresor 3		X				X			X	X					X			X

COMPRESORES	PARÁMETROS																	
	Obstruyen el área de paso o de trabajo			Les realizan alguna rutina de limpieza			Después del uso se colocan en un lugar seguro			Son aptos para el trabajo que se realiza			Los manómetros están en buenas condiciones					
	SI	A.V.	NO	SI	A.M.	NO	SI	A.M.	NO	SI	A.M.	NO	SI	A.M.	NO	B	R	M
Compresor 1			X			X			X			X	X					
Compresor 2		X				X			X			X			X			
Compresor 3		X				X			X			X			X			

Abreviaturas: B= Bueno, R= Regular, M= Malo, A.M.= A medias, A.V.= A veces

Nota: Si algún compresor no cuenta con alguno de los parámetros escriba en el aspecto a evaluar N.A. (No aplica)

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Formato para análisis de edificio industrial



ANÁLISIS DE EDIFICIO INDUSTRIAL

EDIFICIO DE PRIMERA CATEGORÍA		E1
Concepto	CARACTERÍSTICAS	Código
Paredes	Block o ladrillo con acabado cernido de calidad	PAR-E1
Columnas	Concreto armado	COL-E1
Techo	Concreto armado u hormigón	TEC-E1
Piso	Concreto y superficies lisas	PIS-E1
Iluminación	Artificial	ILU-E1
Ventanas	Aluminio	VNT-E1
Ventilación	Artificial	VEN-E1
Puertas	Metal o madera	PUE-E1

EDIFICIO DE SEGUNDA CATEGORIA		E2
Concepto	CARACTERÍSTICAS	Código
Paredes	Paredes de block, ladrillo o prefabricado	PAR-E2
Columnas	Acero estructural	COL-E2
Techo	Lamina de distinto tipo	TEC-E2
Piso	Concreto armado sin pulir	PIS-E2
Iluminación	Natural	ILU-E2
Ventanas	Hierro o Aluminio	VNT-E2
Ventilación	Natural	VEN-E2
Puertas	Metal o madera	PUE-E2

EDIFICIO DE TERCERA CATEGORIA		E3
Concepto	CARACTERÍSTICAS	Código
Paredes	Madera, mampostería, laminas	PAR-E3
Columnas	Madera	COL-E3
Techo	Lamina de distinto tipo	TEC-E3
Piso	Hormigón rústico	PIS-E3
Iluminación	Natural	ILU-E3
Ventanas	Madera	VNT-E3
Ventilación	Natural	VEN-E3
Puertas	Madera	PUE-E3

Continuación del apéndice 4.



ANÁLISIS DE EDIFICIO INDUSTRIAL

ÁREA DE PRODUCCIÓN No.1	
Paredes	PAR-E3
Columnas	COL-E3
Techo	TEC-E3
Piso	PIS-E2
Iluminación	ILU-E3
Ventanas	No aplica
Ventilación	VEN-E3

TIPO DE TECHO	
UNA AGUA	X
DOS AGUA	
CURVO	
DIENTE DE SIERRA	

ÁREA DE PRODUCCIÓN No.2	
Paredes	PAR-E3
Columnas	COL-E2
Techo	TEC-E3
Piso	PIS-E2
Iluminación	ILU-E3
Ventanas	No aplica
Ventilación	VEN-E3

TIPO DE TECHO	
UNA AGUA	
DOS AGUA	X
CURVO	
DIENTE DE SIERRA	

OFICINAS	
Paredes	PR-E2
Columnas	COL-E1
Techo	TEC-E2
Piso	PISO-E2
Iluminación	ILU-E1 / ILU-E2
Ventanas	VNT-E2
Ventilación	VEN-E2

TIPO DE TECHO	
UNA AGUA	
DOS AGUA	X
CURVO	
DIENTE DE SIERRA	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Análisis de pintura industrial



PINTURA INDUSTRIAL

Reflectancias de acabados típicos de pintura y madera		
Color o acabado	% luz reflejada	Código
Blanco	85	BL
Beige claro	75	BC
Gris claro	75	GC
Amarillo claro	75	AC
Café claro	70	CC
Verde claro	65	VC
Azul claro	55	AZC
Amarillo medio	65	AM
Café medio	63	CM
Gris medio	55	GM
Verde medio	52	VM
Azul medio	35	AZM
Gris oscuro	30	GO
Rojo oscuro	13	RO
Café oscuro	10	CO
Azul oscuro	8	AZO
Verde oscuro	7	VO
Arce	42	AR
Satin	34	ST
Nogal	16	NO
Caoba	12	C
Negro	0	NG



ÁREA DE PRODUCCIÓN No. 1	
PISO	GC
TECHO	GC
PAREDES	RO

ÁREA DE PRODUCCIÓN No. 2	
PISO	GC
TECHO	GC
PAREDES	NG

OFICINA	
PISO	RO
TECHO	CC
PAREDES	GC

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Registro de estudio de nivel sonoro en planta de producción



ESTUDIO DE NIVEL SONORO

PLANTA DE PRODUCCIÓN

ÁREA	DÍA 1							
	Lect. 1 [dB]	Lect. 2 [dB]	Lect. 3 [dB]	Lect. 4 [dB]	Lect. 5 [dB]	Mínimo [dB]	Promedio [dB]	Máximo [dB]
CORTE	84	100	96	84	86	84	90	100
ENSAMBLE	78	94	98	80	82	78	86	98
LIJADO Y PULIDO	82	90	86	78	80	78	83	90
ACABADO	74	78	82	74	76	74	77	82

ÁREA	DÍA 2							
	Lect. 1 [dB]	Lect. 2 [dB]	Lect. 3 [dB]	Lect. 4 [dB]	Lect. 5 [dB]	Mínimo [dB]	Promedio [dB]	Máximo [dB]
CORTE	106	88	112	104	90	88	100	112
ENSAMBLE	100	84	114	106	90	84	99	114
LIJADO Y PULIDO	90	96	92	94	88	88	92	96
ACABADO	86	82	90	92	88	82	88	92

ÁREA	DÍA 3							
	Lect. 1 [dB]	Lect. 2 [dB]	Lect. 3 [dB]	Lect. 4 [dB]	Lect. 5 [dB]	Mínimo [dB]	Promedio [dB]	Máximo [dB]
CORTE	114	116	86	108	94	86	104	116
ENSAMBLE	98	98	82	100	92	82	94	100
LIJADO Y PULIDO	90	88	96	98	88	88	92	98
ACABADO	78	84	82	94	84	78	84	94

ÁREA	DÍA 4							
	Lect. 1 [dB]	Lect. 2 [dB]	Lect. 3 [dB]	Lect. 4 [dB]	Lect. 5 [dB]	Mínimo [dB]	Promedio [dB]	Máximo [dB]
CORTE	102	108	90	100	96	90	99	108
ENSAMBLE	96	96	88	92	90	88	92	96
LIJADO Y PULIDO	92	90	86	88	84	84	88	92
ACABADO	88	88	80	76	78	76	82	88

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Resultados de la encuesta básica**

PREGUNTA 1		
Primaria	4	40 %
Básico	4	40 %
Diversificado	2	20 %
TOTAL	10	100 %

PREGUNTA 2		
Bachiller	1	50 %
Técnico	1	50 %
Perito		0 %
TOTAL	2	100 %

No. de Pregunta	SI	NO
4	40 %	60 %
5	40 %	60 %
6	30 %	70 %
11	100 %	0 %
13	50 %	50 %

PREGUNTA 7	
Clavadora	44 %
Lijadora orbital	39 %
Pistola de barnizado	17 %
TOTAL	100 %

PREGUNTA 8	
Presión	75 %
Consumo	17 %
Ninguno	8 %
TOTAL	100 %

Continuación del apéndice 7.

PREGUNTA 9	
Ensambladora	23 %
Calibradora	15 %
Escopladora	0 %
Pantógrafo	8 %
Espigadora	0 %
Todas	54 %
TOTAL	100 %

PREGUNTA 12	
Piso	6 %
Máquinas	24 %
Muebles	18 %
Lámparas	9 %
Área de trabajo	15 %
Aseo personal	15 %
Herramientas	12 %
TOTAL	100 %

PREGUNTA 10	
Presión	31 %
Consumo	8 %
Potencia	23 %
Ninguno	38 %
TOTAL	100 %

PREGUNTA 14			
	Bueno	Regular	Malo
Gafas	20 %	70 %	10 %
Mascarilla	44 %	56 %	0 %
Orejas/tapones	33 %	67 %	0 %
Guantes	0 %	100 %	0 %

PREGUNTA 15					
	Gafas	Mascarilla	Orejas	Guantes	Ninguno
Ensambladora	40 %	0 %	100 %	100 %	10 %
Calibradora	60 %	67 %	89 %	67 %	10 %
Escopladora	50 %	67 %	89 %	67 %	10 %
Espigadora	70 %	67 %	89 %	33 %	10 %
Pantógrafo	70 %	67 %	78 %	33 %	10 %

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Resultados de la evaluación realizada a los trabajadores**

No. de Pregunta	RESPUESTAS	
	Correcta	Incorrecta
1	90 %	10 %
2	100 %	-----
3	60 %	40 %
4	80 %	20 %
5	50 %	50 %
6	50 %	50 %
7	40 %	60 %
8	90 %	10 %
9	70 %	30 %
10	40 %	60 %

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. **Tabla de equivalencias entre unidades de presión**

Pa	bar	atm	kp/cm ²	cm col H ₂ O	cm col Hg	p.s.i.	pulg. col H ₂ O	pulg. col Hg
1 Pa (N/m ²) = 1	10 ⁻⁵	9,87 x 10 ⁻⁴	1,02 x 10 ⁻⁵	0,0102	7,52 x 10 ⁻⁴	1,45 x 10 ⁻⁴	4 x 10 ⁻³	2,967 x 10 ⁻⁴
1 bar = 10 ⁵	1	0,987	1,02	1020	75,2	14,5	400	29,67
1 atm = 1,013 x 10 ⁵	1,013	1	1,033	1033	76	14,68	405,2	30,06
1 kp/cm ² = 0,918 x 10 ⁵	0,981	0,968	1	1000	73,75	14,22	392,4	29,1
1 cm columna de agua = 93,1	9,81 x 10 ⁻⁴	9,68 x 10 ⁻⁴	10 ⁻³	1	0,0737	0,014	0,39	0,029
1 cm columna de mercurio = 1.330	1,33 x 10 ⁻²	1,31 x 10 ⁻²	1,36 x 10 ⁻²	13,6	1	0,19	5,32	0,39
1 psi = 6.900	0,069	0,0681	0,07	70	5,19	1	27,6	2,04
1 pulgada columna de agua = 250	2,5 x 10 ⁻³	2,46 x 10 ⁻³	2,55 x 10 ⁻³	2,55	0,19	0,036	1	0,074
1 pulgada columna de mercurio = 3.370	3,37 x 10 ⁻²	3,32 x 10 ⁻²	3,43 x 10 ⁻²	34,3	2,54	0,49	13,6	1

Fuente: CARNICER ROYO, Enrique. *Aire Comprimido. Teoría y cálculo de las instalaciones.*

p. 21.

Anexo 2. **Presión atmosférica a diferentes alturas**

Altitud en metros	Presión en kg/cm ²	Altitud en metros	Presión en kg/cm ²
0	1,033	1.000	0,915
100	1,021	2.000	0,810
200	1,008	3.000	0,715
300	0,996	4.000	0,629
400	0,985	5.000	0,552
500	0,973	6.000	0,481
600	0,960	7.000	0,419
700	0,948	8.000	0,363
800	0,936	9.000	0,313
900	0,925	10.000	0,270

Fuente: CARNICER ROYO, Enrique. *Aire Comprimido. Teoría y cálculo de las instalaciones.*
p. 19.

Anexo 3. **Renovaciones por hora para diferentes ambientes de trabajo**

RENOVACION DEL AIRE EN NUMERO DE VECES/HORA	
Habitaciones ordinarias.1
Dormitorios2
Hospitales, enfermedades comunes.3 a 4
Hospitales, enfermedades epidémicas.	..5 a 6
Talleres3 a 4
Teatros3 a 4

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas.* p. 95.

Anexo 4. Niveles de iluminancia para cada tipo de recinto y actividad

TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD	UGR _L	NIVELES DE ILUMINANCIA (lx)		
		Mínimo.	Medio	Máximo
Áreas generales en las edificaciones				
Áreas de circulación, corredores	28	50	100	150
Escaleras, escaleras mecánicas	25	100	150	200
Vestidores, baños.	25	100	150	200
Almacenes, bodegas.	25	100	150	200
Talleres de ensamble				
Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada	25	200	300	500
Trabajo intermedio, ensamble de motores, ensamble de carrocerías de automotores	22	300	500	750
Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica y de oficina	19	500	750	1000
Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos	16	1000	1500	2000
Procesos químicos				
Procesos automáticos	--	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	200
Áreas generales en el interior de las fábricas	25	200	300	500
Cuartos de control, laboratorios.	19	300	500	750
Industria farmacéutica	22	300	500	750
Inspección	19	500	750	1000
Balanceo de colores	16	750	1000	1500
Fabricación de llantas de caucho	22	300	500	750
Fábricas de confecciones				
Costura	22	500	750	1000
Inspección	16	750	1000	1500
Prensado	22	300	500	750
Industria eléctrica				
Fabricación de cables	25	200	300	500
Ensamble de aparatos telefónicos	19	300	500	750
Ensamble de devanados	19	500	750	1000
Ensamble de aparatos receptores de radio y TV	19	750	1000	1500
Ensamble de elementos de ultra precisión componentes electrónicos	16	1000	1500	2000
Industria alimenticia				
Áreas generales de trabajo	25	200	300	500
Procesos automáticos	--	150	200	300
Decoración manual, inspección	16	300	500	750
Fundición				
Pozos de fundición	25	150	200	300
Moldeo basto, elaboración basta de machos	25	200	300	500
Moldeo fino, elaboración de machos, inspección	22	300	500	750
Trabajo en vidrio y cerámica				
Zona de hornos	25	100	150	200
Recintos de mezcla, moldeo, conformado y estufas	25	200	300	500
Terminado, esmaltado, envidriado	19	300	500	750
Pintura y decoración	16	500	750	1000
Afilado, lentes y cristalería, trabajo fino	19	750	1000	1500
Trabajo en hierro y acero				
Plantas de producción que no requieren intervención manual	-	50	100	150
Plantas de producción que requieren intervención ocasional	28	100	150	250
Puestos de trabajo permanentes en plantas de producción	25	200	300	500
Plataformas de control e inspección	22	300	500	750
Industria del cuero				
Áreas generales de trabajo	25	200	300	500
Prensado, corte, costura y producción de calzado	22	500	750	1000
Clasificación, adaptación y control de calidad	19	750	1000	1500
Taller de mecánica y de ajuste				
Trabajo ocasional	25	150	200	300
Trabajo basto en banca y maquinado, soldadura	22	200	300	500
Maquinado y trabajo de media precisión en banco, máquinas generalmente automáticas	22	300	500	750
Maquinado y trabajo fino en banco, máquinas automáticas finas, inspección y ensayos	19	500	750	1000
Trabajo muy fino, calibración e inspección de partes pequeñas muy complejas	19	1000	1500	2000
Talleres de pintura y casetas de rociado				
Inmersión, rociado basto	25	200	300	500
Pintura ordinaria, rociado y terminado	22	300	500	750
Pintura fina, rociado y terminado	19	500	750	1000
Retoque y balanceo de colores	16	750	1000	1500
Fábricas de papel				
Elaboración de papel y cartón	25	200	300	500
Procesos automáticos	--	150	200	300

Continuación del anexo 4.

Inspección y clasificación	22	300	500	750
Trabajos de impresión y encuadernación de libros				
Recintos con máquinas de impresión	19	300	500	750
Cuartos de composición y lecturas de prueba	19	500	750	1000
Pruebas de precisión, retoque y grabado	16	750	1000	1500
Reproducción del color e impresión	19	1000	1500	2000
Grabado con acero y cobre	16	1500	2000	3000
Encuadernación	22	300	500	750
Decoración y estampado	19	500	750	1000
Industria textil				
Rompimiento de la paca, cardado, hilado	25	200	300	500
Giro, embobinado, enrollamiento peinado, tintura	22	300	500	750
Balanceo, rotación (conteos finos) entretejido, tejido	22	500	750	1000
Costura, desmote o inspección	19	750	1000	1500
Talleres de madera y fábricas de muebles				
Aserraderos	25	150	200	300
Trabajo en banco y montaje	25	200	300	500
Maquinado de madera	19	300	500	750
Terminado e inspección final	19	500	750	1000
Oficinas				
Oficinas de tipo general, mecanografía y computación	19	300	500	750
Oficinas abiertas	19	500	750	1000
Oficinas de dibujo	16	500	750	1000
Salas de conferencia	19	300	500	750
Centros de atención médica				
Salas				
Iluminación general	22	50	100	150
Examen	19	200	300	500
Lectura	16	150	200	300
Circulación nocturna	22	3	5	10
Salas de examen				
Iluminación general	19	300	500	750
Inspección local	19	750	1000	1500
Terapia intensiva				
Cabecera de la cama	19	30	50	100
Observación	19	200	300	500
Estación de enfermería	19	200	300	500
Salas de operación				
Iluminación general	19	500	750	1000
Iluminación local	19	10000	30000	100000
Salas de autopsia				
Iluminación general	19	500	750	1000
Iluminación local	--	5000	10000	15000
Consultorios				
Iluminación general	19	300	500	750
Iluminación local	19	500	750	1000
Farmacia y laboratorios				
Iluminación general	19	300	400	750
Iluminación local	19	500	750	1000
Almacenes				
Iluminación general:				
En grandes centros comerciales	19	500	750	1000
Ubicados en cualquier parte	22	300	500	750
Supermercados	19	500	750	1000
Colegios y centros educativos.				
Salones de clase				
Iluminación general	19	300	500	750
Tableros para emplear con tizas	19	300	500	750
Elaboración de planos	16	500	750	1000
Salas de conferencias				
Iluminación general	22	300	500	750
Tableros	19	500	750	1000
Bancos de demostración	19	500	750	1000
Laboratorios	19	300	500	750
Salas de arte	19	300	500	750
Talleres	19	300	500	750
Salas de asamblea	22	150	200	300

Fuente: Ministerio de minas y energía, Colombia. *Anexo general Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público. RETILAP.* p. 102.

Anexo 5. Rangos de iluminación y tipo de trabajo

Los trabajos se clasifican (de acuerdo a las normas IES) en:

DESCRIPCIÓN	RANGO
Montaje:	
Simple	D
Moderadamente difícil	E
Difícil	F
Muy difícil	G
Extra difícil	H

DESCRIPCIÓN	RANGO
Sala de Dibujo:	
Dibujo detallado	F
Esbozos	E

DESCRIPCIÓN	RANGO
Oficinas:	
Lecturas de reproducciones pobres	F
Lecturas y escrituras a tinta	D
Lectura impresiones de mucho contraste	D

DESCRIPCIÓN	RANGO
Talleres:	
Trabajo grueso	D
Trabajo medio	E
Trabajo fino	H

DESCRIPCIÓN	RANGO
Áreas de servicios:	
Escaleras, Corredores, Entradas, baños	C

Los rangos de Iluminancia en Lux se aplicaran en la forma siguiente:

<i>A</i>	<i>20 - 30 - 50</i>	<i>Áreas publicas, y alrededores oscuros</i>
<i>B</i>	<i>50 - 75 - 100</i>	<i>Área de orientación, corta permanencia.</i>
<i>C</i>	<i>100 - 150 - 200</i>	<i>Área de orientación, corta permanencia.</i>
		<i>Trabajo de gran contraste o tamaño.</i>
<i>D</i>	<i>200 - 300 - 500</i>	<i>Lectura de originales y fotocopias buenas.</i>
		<i>Trabajo sencillo de inspección o de banco</i>
		<i>Trabajo de contraste medio o tamaño pequeño.</i>
<i>E</i>	<i>500 - 750 - 1000</i>	<i>Lecturas a lápiz, fotocopias pobres, trabajos moderadamente difíciles de montaje o banco.</i>
<i>F</i>	<i>1000 - 1500 - 2000</i>	<i>Trabajos de poco contraste o muy pequeños de tamaño, ensamblaje difícil, etc.</i>
<i>G</i>	<i>2000 - 3000 - 5000</i>	<i>Lo mismo durante periodos prolongados. Trabajos muy difíciles de ensamblaje, inspección o de banco.</i>
<i>H</i>	<i>5000 - 7500 - 10000</i>	<i>Trabajos muy exigentes y prolongados.</i>
<i>I</i>	<i>10000 - 15000 - 20000</i>	<i>Trabajos muy especiales, salas de cirugía.</i>

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 64.

Anexo 6. Tabla de reflectancia efectiva de cavidad de cielo o piso

Reflectancia Piso o cielo	90				80				70				50				30				10			
%Refl. Pared	90	70	50	30	80	70	50	30	70	50	30	20	50	30	65	50	30	10	50	30	10	10		
0	90	90	90	90	80	80	80	80	70	70	70	50	50	50	30	30	30	30	10	10	10			
0.1	90	89	88	87	79	79	78	78	69	69	68	59	49	48	30	30	29	29	10	10	10			
0.2	89	88	86	85	79	78	77	76	68	67	66	49	48	47	30	29	29	28	10	10	9			
0.3	89	87	85	83	78	77	75	74	68	66	64	49	47	46	30	29	28	27	10	10	9			
0.4	88	86	83	81	78	76	74	72	67	65	63	48	46	45	30	29	27	26	11	10	9			
0.5	88	85	81	78	77	75	73	70	66	64	61	48	46	44	29	28	27	25	11	10	9			
0.6	88	84	80	76	77	75	71	68	65	62	59	47	45	43	29	28	26	25	11	10	9			
0.7	88	83	78	74	76	74	70	66	65	61	58	47	44	42	29	28	26	24	11	10	8			
0.8	87	82	77	73	75	73	69	65	64	60	56	47	43	41	29	27	25	23	11	10	8			
0.9	87	81	76	71	75	72	68	63	63	59	55	46	43	40	29	27	25	22	11	9	8			
1.0	86	80	74	69	74	71	66	61	63	58	53	46	42	39	29	27	24	22	11	9	8			
1.1	86	79	73	67	74	71	65	60	62	57	52	46	41	38	29	26	24	21	11	9	8			
1.2	86	78	72	65	73	70	64	58	61	56	50	45	41	37	29	26	23	20	12	9	7			
1.3	85	78	70	64	73	69	63	57	61	55	49	45	40	36	29	26	23	20	12	9	7			
1.4	85	77	69	62	72	68	62	55	60	54	48	45	40	35	28	26	22	19	12	9	7			
1.5	85	76	68	61	72	68	61	54	59	53	47	44	39	34	28	25	22	18	12	9	7			
1.6	85	75	66	59	71	67	60	53	59	53	45	44	39	33	28	25	21	18	12	9	7			
1.7	84	74	65	58	71	66	59	52	58	51	44	44	38	32	28	25	21	17	12	9	7			
1.8	84	73	64	56	70	65	58	50	57	50	43	43	37	32	28	25	21	17	12	9	6			
1.9	84	73	63	55	70	65	57	49	57	49	42	43	37	31	28	25	20	16	12	9	6			
2.0	83	72	62	53	69	64	56	48	56	48	41	43	37	30	28	24	20	16	12	9	6			
2.1	83	71	61	52	69	63	55	47	56	47	40	43	36	29	28	24	20	16	13	9	6			
2.2	83	70	60	51	68	63	54	45	55	46	39	42	36	29	28	24	19	15	13	9	6			
2.3	83	69	56	50	68	62	53	44	54	46	38	42	35	28	28	24	19	15	13	9	6			
2.4	82	68	58	48	67	61	52	43	54	45	37	42	35	27	28	24	19	14	13	9	6			
2.5	82	68	57	47	67	61	51	42	53	44	36	41	34	27	27	23	18	14	13	9	6			
2.6	82	67	56	46	66	60	50	41	53	43	35	41	34	26	27	23	18	13	13	9	5			
2.7	82	66	55	45	66	60	49	40	52	43	34	41	33	26	27	23	18	13	13	9	5			
2.8	81	66	54	44	66	59	48	39	52	42	33	41	33	25	27	23	18	13	13	9	5			
2.9	81	65	53	43	65	58	48	38	51	41	33	40	33	25	27	23	17	12	13	9	5			
3.0	81	64	52	42	65	58	47	38	51	40	32	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5			
3.1	80	64	51	41	64	57	46	37	50	40	31	40	32	24	27	22	17	12	13	8	5			
3.2	80	63	50	40	64	57	45	36	50	39	30	40	31	23	27	22	16	11	13	8	5			
3.3	80	62	49	39	64	56	44	35	49	39	30	39	31	23	27	22	16	11	13	8	5			
3.4	80	62	48	38	63	56	44	34	49	38	29	39	31	22	27	22	16	11	13	8	5			
3.5	79	61	48	37	63	55	43	33	48	38	29	39	30	22	26	22	16	11	13	8	5			
3.6	79	60	47	36	62	54	42	33	48	37	28	39	30	21	26	21	15	10	13	8	5			
3.7	79	60	46	35	62	54	42	32	48	37	27	38	30	21	26	21	15	10	13	8	4			
3.8	79	59	45	35	62	53	41	31	47	36	27	38	29	21	26	21	15	10	13	8	4			
3.9	78	59	45	34	61	53	40	30	47	36	26	38	29	20	26	21	15	10	13	8	4			
4.0	78	58	4	33	61	52	40	30	46	35	26	38	29	20	26	21	15	9	13	8	4			
4.1	78	57	43	32	60	52	39	29	46	35	25	37	28	20	26	21	14	9	13	8	4			
4.2	78	57	43	32	60	51	39	29	46	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4			
4.3	78	56	42	31	60	51	38	28	45	34	25	37	28	19	26	20	14	9	13	8	4			
4.4	77	56	41	30	59	51	38	28	45	34	24	37	27	19	26	20	14	8	13	8	4			
4.5	77	55	41	30	59	50	37	27	45	33	24	37	27	19	25	20	14	8	14	8	4			
4.6	77	55	40	29	59	50	37	26	44	33	24	36	27	18	25	20	14	8	14	8	4			
4.7	77	54	40	29	58	49	36	26	44	33	23	36	26	18	25	20	13	8	14	8	4			
4.8	76	54	39	28	58	49	36	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	8	14	8	4			
4.9	76	53	38	28	58	49	35	25	44	32	23	36	26	18	25	19	13	7	14	8	4			
5.0	76	53	38	27	57	48	35	25	43	32	22	36	26	17	25	19	13	7	14	8	4			

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 66.

Anexo 7. Coeficientes de utilización para algunas luminarias típicas

COEFICIENTES DE UTILIZACION PARA ALGUNAS LUMINARIAS TIPICAS

Distribución típica	Pcc	80				70				50			30			10		
	Pp	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
	RCA	Coeficientes de Utilización, método cavidad zonal, Pcp=20																
Incan <i>Inca descubre</i>	1	.86	.84	.82	.79	.84	.81	.79	.77	.77	.75	.74	.73	.72	.71	.70	.69	.68
	2	.81	.77	.73	.70	.79	.75	.71	.69	.71	.69	.66	.68	.66	.64	.65	.63	.62
	3	.76	.70	.66	.62	.74	.69	.65	.61	.66	.63	.60	.63	.61	.58	.61	.59	.57
	4	.71	.64	.59	.56	.69	.63	.59	.55	.61	.57	.54	.58	.55	.52	.56	.54	.51
	5	.67	.59	.54	.50	.65	.58	.53	.49	.56	.52	.49	.54	.50	.48	.52	.49	.47
	6	.63	.55	.49	.45	.61	.54	.49	.45	.52	.47	.44	.50	.46	.44	.49	.45	.43
	7	.59	.50	.45	.41	.57	.49	.44	.41	.48	.43	.40	.46	.42	.39	.45	.41	.39
	8	.55	.46	.41	.37	.54	.45	.40	.37	.44	.40	.36	.43	.39	.36	.41	.38	.35
	9	.51	.43	.37	.34	.50	.42	.37	.33	.41	.36	.33	.40	.35	.33	.38	.35	.32
	10	.47	.38	.32	.29	.46	.37	.32	.29	.36	.31	.28	.35	.31	.28	.34	.30	.27
Neon <i>Neón</i>	1	.73	.70	.68	.66	.71	.68	.67	.65	.66	.64	.63	.63	.62	.61	.61	.60	.59
	2	.67	.63	.59	.56	.66	.62	.58	.56	.59	.57	.54	.57	.55	.53	.55	.54	.52
	3	.62	.57	.52	.49	.61	.56	.52	.48	.54	.50	.47	.52	.49	.47	.51	.48	.46
	4	.58	.51	.46	.43	.57	.50	.46	.42	.49	.45	.42	.47	.44	.41	.46	.44	.41
	5	.53	.46	.41	.37	.52	.45	.40	.37	.44	.40	.36	.43	.39	.36	.41	.38	.36
	6	.50	.42	.36	.33	.48	.41	.36	.32	.40	.35	.32	.39	.35	.32	.38	.34	.32
	7	.46	.38	.32	.29	.45	.37	.32	.29	.36	.32	.28	.35	.31	.28	.34	.31	.28
	8	.42	.34	.29	.25	.41	.33	.28	.25	.32	.28	.25	.32	.28	.25	.31	.27	.24
	9	.39	.31	.25	.22	.38	.30	.25	.22	.29	.25	.22	.29	.24	.21	.28	.24	.21
	10	.36	.28	.23	.19	.36	.27	.23	.19	.27	.22	.19	.26	.22	.19	.25	.22	.19
Mercurio	1		.98	.96	.95					.92	.91	.90			.87	.86	.85	
	2		.94	.91	.89					.89	.87	.86			.85	.84	.83	
	3		.90	.87	.85					.87	.85	.83			.83	.82	.80	
	4		.87	.83	.81					.84	.81	.80			.81	.79	.78	
	5		.83	.80	.77					.81	.78	.76			.79	.77	.75	
	6		.81	.77	.75					.79	.76	.74			.77	.75	.73	
	7		.78	.74	.72					.76	.73	.71			.74	.72	.70	
	8		.75	.72	.69					.74	.71	.69			.72	.70	.68	
	9		.73	.69	.67					.72	.68	.66			.70	.68	.66	
	10		.70	.67	.64					.69	.66	.64			.68	.66	.64	

Fuente: TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. p. 68.

Anexo 8. Valores sugeridos para factor de mantenimiento

Frecuencia de limpieza.(años)	1				2			
	P	C	N	D	P	C	N	D
Condiciones ambientales.								
Luminarias abiertas.	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Reflector parte superior abierta.	0,96	0,90	0,86	0,83	0,89	0,84	0,80	0,75
Reflector parte superior cerrada.	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,80	0,69	0,59
Reflectors cerrados.	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
Luminarias a prueba de polvo.	0,98	0,94	0,90	0,86	0,95	0,91	0,86	0,81
Luminarias con emision indirecta.	0,91	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,66	0,57

En donde:

- P: Pure - Puro o muy limpio
- C: Clean - Limpio
- N: Normal
- D: Dirty - Sucio.

Fuente: RODRÍGUEZ RAMÍREZ, Julián Andrés., LLANO, Cristian Alejandro. *Guía para el diseño de instalaciones de iluminación interior utilizando Dialux.* p. 29.

Anexo 9. Intensidad de los ruidos más comunes

DECIBELIOS	CLASE DE RUIDO	EFEECTO EN EL ORGANISMO HUMANO
0	Umbral de audibilidad	Soportable incluso por la noche
10	Ruido de hojarasca	
30	Ruido de fondo en las habitaciones por la noche	
40	Ruido de fondo en las habitaciones	Soportable por el día
50	Despachos, restaurantes	
55	Conversación normal	
60	Despacho con mecanógrafas	
65	Talleres con taladros, pequeñas prensas, etcétera	Soportables, pero a la larga producen fatiga
70	Calles ruidosas	
75	Talleres con prensas medianas, metro	
80	Tornos, silbato de policía, gritos humanos	
85	Talleres con telares	Soportables, pero a la larga producen sordera
90	Claxon agudo	
95	Talleres de caldería, martillos neumáticos, prensas grandes	
100	Sierras circulares de acero	
105	Máquinas rápidas de labrar madera, compresores potentes	
110	Martillos neumáticos en locales cerrados	Soportables sólo por corto tiempo
115	Remachadoras mecánicas	
120	Avión con motor de explosión, motor	
125	Avión a reacción a 6 m de distancia	
130	Avión con varios reactores a 6 m de distancia	
135	A partir de 135 decibeles, los ruidos son	Insoportables

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 30.

Anexo 10. Niveles de ruido permisibles

Nivel de ruido (dBA)	Tiempo permisible (horas)
80	32
85	16
90	8
95	4
100	2
105	1
110	0.5
115	0.25
120	0.125
125	0.063
130	0.031

Fuente: NIEBEL, Benjamin W., FREIVALDS, Andris. *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. p. 372.

Anexo 11. Tabla para suplementos asignables

Instituto de Administración Científica de las Empresas Curso de "Técnicas de organización" Ejemplo de un sistema de suplementos por descanso en porcentajes de los tiempos normales.			
1: Suplementos constantes		Hombres	Mujeres
Suplementos por necesidades personales		5	7
Suplementos base por fatiga		4	4
2. Suplementos variables		Hombres	Mujeres
A. Suplemento por trabajar de pie		2	4
B. Suplemento por postura anormal			
Ligeramente incómoda		0	1
Incómoda (inclinado)		2	3
Muy incómoda (echado, estirado)		7	7
C. Uso de la fuerza o de la energía muscular (levantar, tirar o empujar)			
Peso levantado por kilogramo			
2.5		0	1
5		1	2
7.5		2	3
10		3	4
12.5		4	6
15		5	8
17.5		7	10
20		9	13
22.5		11	16
25		13	20 (máx)
30		17	—
33.5		22	—
D. Mala iluminación			
Ligeramente por debajo de la potencia calculada		0	0
Bastante por debajo		2	2
Absolutamente insuficiente		5	5
E. Condiciones atmosféricas (calor y humedad)			
Índice de enfriamiento en el termómetro húmedo de -- Suplemento:			
Kata (milicalorías/cm ² /segundo)			
16		0	
14		0	
12		0	
10		3	
8		10	
6		21	
5		31	
4		45	
3		64	
2		100	
F. Concentración intensa	Hombres	Mujeres	
Trabajos de cierta precisión	0	0	
Trabajos de precisión o fatigosos	2	2	
Trabajos de gran precisión o muy fatigosos	5	5	
G. Ruido			
Continuo	0	0	
Intermitente y fuerte	2	2	
Intermitente y muy fuerte	5	5	
Estridente y fuerte			
H. Tensión mental			
Proceso bastante complejo	1	1	
Proceso complejo o atención dividida entre muchos objetos	4	4	
Muy complejo	8	8	
I. Monotonía			
Trabajo algo monótono	0	0	
Trabajo bastante monótono	1	1	
Trabajo muy monótono	4	4	
J. Tedio			
Trabajo algo aburrido	0	0	
Trabajo aburrido	2	1	
Trabajo muy aburrido	5	2	

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. p. 228.

Anexo 12. **Características de nivelación de los métodos de trabajo**

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

Fuente: GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo.* p. 213.

Anexo 13. Tabla de calibre de cable para instalaciones eléctricas

Tabla 1. Capacidad de conducción de corriente (A) permisible de conductores aislados para 0 a 2000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización o directamente enterrados, para una temperatura ambiente de 30 °C.

Calibre AWG o kcmil	Área de la sección transversal nominal mm ²	Temperatura nominal del conductor					
		60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C
		TW TWD CCE	THW, RHW THW-LS THWN XHHW	RHH, RHW-2 THHN, THW-2 TTHW-LS, XHHW-2	UF	RHW XHHW	RHW-2 XHHW XHHW-2 DRS
		Cobre			Aluminio		
14	2,08	20*	20*	25*	-	-	-
12	3,31	25*	25*	30*	-	-	-
10	5,26	30	35*	40*	-	-	-
8	8,37	40	50	55	-	-	-
6	13,3	55	65	75	40	50	60
4	21,2	70	85	95	55	65	75
2	33,6	95	115	130	75	90	100
1/0	53,5	125	150	170	100	120	135
2/0	67,4	145	175	195	115	135	150
3/0	85,0	165	200	225	130	155	175
4/0	107	195	230	260	150	180	205
250	127	215	255	290	170	205	230
300	152	240	285	320	190	230	255
350	177	260	310	350	210	250	280
400	203	280	335	380	225	270	305
500	253	320	380	430	260	310	350
600	304	355	420	475	285	340	385
750	380	400	475	535	320	385	435
1000	507	455	545	615	375	445	500

* A menos que se permita otra cosa específicamente en otro lugar de esta norma, la protección contra sobrecorriente de los conductores marcados con un asterisco (*), no se debe superar 15 A para 14 AWG, 20 A para 12 AWG y 30 A para 10 AWG, todos de cobre.

Fuente: es.slideshare.net/YilbertMartinez/seleccin-de-calibre-en-cables-paraconstruccion.

Consulta: agosto de 2017.