



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

**GESTIÓN Y DISEÑO DEL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
AGLOMERADOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Ariel Adriana María Cano López

Asesorado por el Ing. Efraín Andrés Paiz Cano

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GESTIÓN Y DISEÑO DEL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE
AGLOMERADOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ARIEL ADRIANA MARÍA CANO LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. EFRAÍN ANDRÉS PAIZ CANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA MECÁNICA INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

GESTIÓN Y DISEÑO DEL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGLOMERADOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 29 de agosto de 2014.



Ariel Adriana María Cano López

Guatemala, 19 de octubre de 2015

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable señor director:

Me dirijo a usted para informarle que a la presente fecha he revisado y aprobado el trabajo de graduación, titulado:

“GESTIÓN Y DISEÑO DEL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGLOMERADOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”

De la estudiante universitaria **ARIEL ADRIANA MARÍA CANO LÓPEZ**, con número de carnet estudiantil **2009-24896**, de quien estoy fungiendo como asesor.

Sin otro particular me suscribo atentamente,


Ing. Efraín Andrés Paiz Cano
COLEGIADO 7675

Efraín Andrés Paiz Cano
Ingeniero Mecánico Industrial
Colegiado No. 7,675

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.163.015

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **GESTIÓN Y DISEÑO DEL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGLOMERADOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Ariel Adriana María Cano López**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Renaldo Girón Alvarado
COLEGIADO 3177

Ing. Renaldo Girón Alvarado
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2015

/mgp



REF.DIR.EMI.227.015

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 **GESTIÓN Y DISEÑO DEL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGLOMERADOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria **Ariel Adriana María Cano López**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



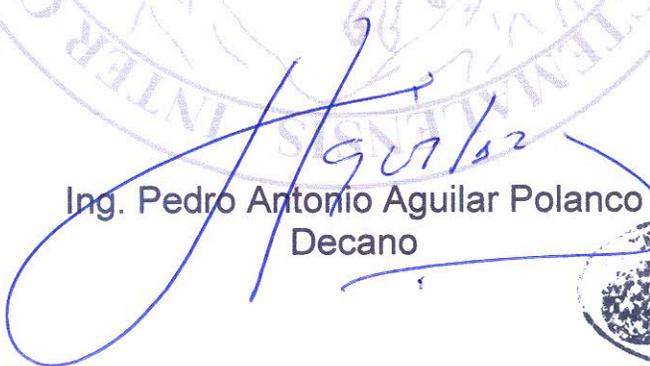
Guatemala, noviembre de 2015.

/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, al trabajo de graduación titulado: **GESTIÓN Y DISEÑO DEL MONTAJE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE AGLOMERADOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Ariel Adriana María Cano López**, 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, noviembre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser el pilar que ha guiado a nuestra familia a vivir siempre con un corazón feliz y agradecido. Por su compañía en cada plan, alegría o dificultad que hemos encontrado a lo largo de nuestras vidas. Porque de su mano es posible alcanzar todos los anhelos y tener la dicha de compartirlos. Por la especial bendición que ha enviado a nuestra familia, de estar siempre unidos y tener su paz y protección en nuestro hogar. Infinitas gracias.

Mi familia

Porque han sido siempre la razón de tener una vida tan bendecida, feliz y plena, porque este es un triunfo de todos, ya que han sido sus enseñanzas, sus lecciones, tantos momentos de alegría y el apoyo y sacrificio incondicional, los que me han inspirado cada día a realizar un esfuerzo mayor para seguir sus ejemplos de una vida honesta y honorable. Este es un paso más que nos reafirma que en la sencillez y en la fe en Dios y en nosotros mismos, se encuentra la verdadera dicha y grandeza. Son mi mejor regalo y mi mayor motivación. Los amo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la oportunidad de recibir una educación superior de calidad reconocida y un enorme crecimiento personal con las vivencias de cada día.

Facultad de Ingeniería

Porque a través de ella he conocido personas que han compartido su experiencia y guía conmigo, también por la oportunidad que me ha brindado de desenvolverme en distintos ámbitos y permitir la realización de este proyecto.

Asesores

Ingeniero Efraín Paiz e ingeniero Renaldo Girón, por su valioso apoyo y tiempo aportado durante la realización de este proyecto.

Amigas y amigos

Han hecho mi transición universitaria muy agradable, su compañía y apoyo así como las alegrías de superar juntos tantas pruebas, han creado lazos de amistad invaluable y los ánimos necesarios aun al enfrentar retos enormes. Muchas gracias a todos, les guardo un cariño muy especial.

1.3.3.1.	Sección de gestión de la calidad	16
1.3.3.1.1.	Historia	17
1.3.3.1.2.	Misión y visión	18
1.3.3.1.3.	Organigrama general de la Sección de Gestión de la Calidad	18
1.3.3.1.4.	Reseña de funciones	19
1.3.3.2.	Proyecto Tetra Panel CII	20
1.4.	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt)	21
1.4.1.	Historia	21
1.4.2.	Misión y visión	22
1.4.3.	Organigrama general	22
1.4.4.	Reseña de funciones.....	23
2.	SITUACIÓN ACTUAL	25
2.1.	Proceso de fabricación de aglomerados	25
2.1.1.	Descripción general del proceso	25
2.1.2.	Diagrama de operaciones	27
2.1.3.	Diagrama de recorrido.....	30
2.1.4.	Materia prima utilizada	30
2.1.4.1.	Obtención	39
2.1.4.2.	Composición.....	40
2.1.4.3.	Ventajas	42
2.1.5.	Producto obtenido	43
2.1.5.1.	Descripción técnica	44
2.1.5.2.	Aplicaciones	45
2.2.	Descripción de maquinaria que conforma la línea	46
2.3.	Montaje actual de la línea de producción	51

2.4.	Posibilidades de uso de fuerza neumática dentro del sistema	52
2.4.1.	Prensa	54
2.4.1.1.	Clasificación por su funcionamiento	55
2.4.1.2.	Compresor	57
2.4.1.3.	Especificaciones	58
2.4.1.4.	Usos recomendados.....	61
3.	PROPUESTA PARA GESTIONAR Y DISEÑAR EL MONTAJE.....	65
3.1.	Evaluación de necesidades, propuesta y alcance	65
3.1.1.	Área de cimentación	65
3.1.1.1.	Cimentación sometida a esfuerzos estáticos	66
3.1.1.2.	Cimentación sometida a esfuerzos dinámicos.....	70
3.1.1.3.	Vibraciones	72
3.1.2.	Diseño de la cimentación.....	73
3.1.3.	Área de anclaje.....	90
3.1.3.1.	Tipos de anclaje.....	91
3.1.3.2.	Diseño de anclaje	93
3.1.4.	Área de montaje	98
3.2.	Área neumática	98
3.2.1.	Compresor	99
3.2.1.1.	Características generales	99
3.2.1.2.	Accesorios requeridos	103
3.2.1.3.	Procedimiento de instalación	107
3.2.1.4.	Especificaciones para utilización	107
3.2.2.	Prensa accionada por fuerza neumática	109
3.2.3.	Accesorios requeridos	110

3.2.4.	Procedimiento de instalación.....	110
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	111
4.1.	Planificación de montaje, procedimiento y diagrama de operaciones.....	111
4.1.1.	Área de cimentación.....	113
4.1.2.	Área de anclaje	115
4.2.	Procedimiento de compra de materiales y equipos, lineamientos y diagramas.....	117
4.2.1.	Formato de compras	117
4.2.2.	Adquisición	118
4.3.	Procedimiento de uso.....	119
4.3.1.	Etapa de inicio.....	119
4.3.2.	Requisitos.....	120
4.3.3.	Etapa de visado.....	121
4.3.4.	Etapa de compra	123
4.4.	Costos.....	123
4.4.1.	Accesorios y equipo	123
4.4.2.	Materiales.....	124
4.4.3.	Mano de obra	124
4.4.4.	Maquinados.....	125
5.	MEJORA CONTINUA	133
5.1.	Estadísticas.....	133
5.1.1.	Estadísticas sobre la reducción de tiempo en el proceso de compresión	133
5.1.2.	Estadísticas generales sobre el correcto montaje y la reducción de riesgos de los operarios	135
5.2.	Resultados	137

5.2.1.	Interpretación.....	137
5.2.2.	Mejora.....	139
5.2.3.	Alcance.....	140
5.3.	Análisis beneficio costo	141
5.3.1.	Cuantificación del beneficio	143
CONCLUSIONES		149
RECOMENDACIONES.....		151
BIBLIOGRAFÍA.....		153
ANEXOS.....		157

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Escudo actual de la Universidad de San Carlos de Guatemala	2
2.	Organigrama general Usac	5
3.	Escudo de la Facultad de Ingeniería Usac.....	7
4.	Organigrama general de la Facultad de Ingeniería	9
5.	Organigrama general EMI	12
6.	Organigrama del Centro de Investigaciones	15
7.	Organigrama general de la Sección de Gestión de la Calidad.....	19
8.	Organigrama general del Concyt	23
9.	Proceso	27
10.	Diagrama de operaciones	28
11.	Diagrama de recorrido.....	30
12.	Materia base	31
13.	Traza de <i>duroport</i> incluida dentro del panel.....	32
14.	Ejemplos de uso del contrachapado	33
15.	Aglomerados con coberturas plastificadas.....	34
16.	Aglomerados de fibra de madera	34
17.	Aglomerado MDF	38
18.	Aglomerado de tetrabrik	39
19.	Estructura del material tetrabrik	41
20.	Tetrapanel CII recién fabricado	44
21.	Productos elaborados con tetrapaneles CII	45
22.	Tejas fabricadas de tetrabrik	46
23.	Montaje actual de la línea de producción	52

24.	Herramientas neumáticas	54
25.	Funcionamiento de prensa hidráulica	55
26.	Funcionamiento de prensa neumática	56
27.	Funcionamiento prensas manuales	57
28.	Compresión de aire.....	58
29.	Clasificación general de compresores	59
30.	Distribución de tensiones cuando $e < L/6$	68
31.	Distribución de tensiones cuando $e > L/6$	69
32.	Posibles cargas dinámicas a considerar	71
33.	Suelos en el departamento de Guatemala.....	75
34.	Vista en planta de cimiento y distribución de área	86
35.	Diseño final del cimiento	87
36.	Nivel del cimiento.....	87
37.	Barras de acero corrugado	88
38.	Diagrama del anclaje terminado	97
39.	Ubicación de los pernos en la maquinaria	97
40.	Principio de funcionamiento compresor alternativo.....	101
41.	Ciclos de compresión.....	102
42.	Proceso real de compresión	102
43.	Filtro regulador de aire	104
44.	Simbología de filtro y regulador de presión.....	104
45.	Válvula manual actuadora	105
46.	Simbología de válvula manual actuadora	106
47.	Manguera de suministro y auxiliar	106
48.	Aerógrafo simple.....	108
49.	Conexiones	110
50.	Planificación general.....	112
51.	Planificación de la cimentación	114
52.	Diagrama de Gantt de cimentación.....	115

53.	Planificación del anclaje	116
54.	Diagrama de Gantt de anclaje.....	116
55.	Formato de compras	117
56.	Primera fase de solicitud de compra	120
57.	Segunda fase de la solicitud de compra.....	121
58.	Liquidación de compra	122
59.	Gráfica del flujo de fondos.....	128

TABLAS

I.	Resumen de diagrama de operaciones.....	29
II.	Tetrabrik en porcentajes.....	42
III.	Descripción técnica del Tetrapanel CII.....	44
IV.	Balanza de precisión	47
V.	Horno de convección forzada.....	48
VI.	Molino para plásticos.....	49
VII.	Prensa neumática	50
VIII.	Sierra de cinta	51
IX.	Clasificación de cargas dinámicas	72
X.	Valores disponibles de antivibrante.....	73
XI.	Valores de diseño para suelos bajo cargas estáticas	76
XII.	Esfuerzo aparente para la balanza de precisión	79
XIII.	Esfuerzo aparente para el horno de convección	79
XIV.	Esfuerzo aparente para el molino de plásticos.....	80
XV.	Esfuerzo aparente para la prensa neumática.....	80
XVI.	Esfuerzo aparente para la sierra	81
XVII.	Cargas a considerar para la cimentación	81
XVIII.	Sobre un cimiento compartido.....	83
XIX.	Consideraciones del cimiento	85

XX.	Dimensión para el grosor del cimiento.....	86
XXI.	Propiedades de varillas corrugadas de acero.....	89
XXII.	Diseño de cimentación propuesto.....	90
XXIII.	Tipos de pernos.....	92
XXIV.	Corte y tensión permisible en pernos.....	93
XXV.	Proporción de pernos de anclaje.....	94
XXVI.	Diseño de anclaje propuesto.....	96
XXVII.	Capacidad del compresor.....	100
XXVIII.	Características del compresor.....	101
XXIX.	Valores requeridos para un aerógrafo.....	108
XXX.	Datos de la planificación.....	113
XXXI.	Accesorios y equipos requeridos.....	123
XXXII.	Materiales necesarios.....	124
XXXIII.	Mano de obra estimada.....	125
XXXIV.	Trabajos adicionales.....	125
XXXV.	Resumen de costos.....	126
XXXVI.	Flujo de fondos del proyecto.....	127
XXXVII.	Reducción del tiempo en el proceso.....	134
XXXVIII.	Tiempo empleado en la producción.....	134
XXXIX.	Tiempo estimado implementando mejora.....	135
XL.	Resultado de la mejora presentada.....	135
XLI.	Factores y causas de riesgo.....	136
XLII.	Indicadores de eficiencia y eficacia.....	138
XLIII.	Oportunidades de mejora detectadas.....	139
XLIV.	Requerimientos de agua en el proceso.....	143
XLV.	Consumo de agua.....	144
XLVI.	Requerimiento de energía eléctrica.....	144
XLVII.	Consumo de energía eléctrica.....	145
XLVIII.	Costo de producción por panel.....	145

XLIX.	Mano de obra de la línea.....	145
L.	Costo actual mensual de producción de 276 paneles	146
LI.	Consumo del compresor	147
LII.	Costo mensual para la nueva producción	147

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
b	Base
P	Carga
g/cc	Densidad en gramos/centímetro cúbico
φ	Diámetro
σ	Esfuerzo
kg/cm²	Esfuerzo en kilogramos/ centímetro cuadrado
e´	Excentricidad
L	Largo
Lb	Libra
m	Metro
mm	Milímetro
min	Minuto
Meq	Momento equivalente
G	Peso
%	Porcentaje
kW	Potencia en kilovatios
Plg	Pulgada
Q	Quetzal

GLOSARIO

Abrasión	Quitar o arrancar algo mediante fricción, se considera un tipo de desgaste en todo mecanismo.
Acero	Aleación de hierro con un porcentaje de carbono.
Adhesión	Es la propiedad de la materia por la cual se unen dos superficies de sustancias iguales o diferentes cuando entran en contacto, permanecen unidas por fuerzas existentes entre sus moléculas.
Anclaje	Estructura que mantiene la posición de un cuerpo.
Beneficio	Ganancia que se obtiene de un proceso o actividad económica.
Cimentación	Fijación de las bases sobre las cuales se fija una construcción o equipo.
CFM	Cubic Feet per Minute. Pie cúbico por minuto.
Costo	Es el valor monetario que se desembolsa para la realización de una actividad productiva.
Criterio	Regla o norma respecto a la cual se establece una decisión o se emite un juicio.

Desgaste	Pérdida de masa en un cuerpo por el contacto o la acción mecánica de otro cuerpo.
Elástico	Es la medida de la capacidad de un cuerpo o material para sufrir deformaciones.
Energía	Es la capacidad que tiene la materia de producir trabajo en forma de movimiento, luz, calor, entre otros. Existe la energía eléctrica, eólica, renovable, nuclear, cinética, hidráulica entre las más estudiadas.
Factibilidad	Es la disponibilidad de poder alcanzar un objetivo o realizar una actividad.
Fricción	Rozamiento producido entre dos cuerpos en contacto, cuando uno de estos se opone al movimiento del otro.
Mecánica	Es la rama de la física que estudia y analiza el movimiento y reposo de los cuerpos, y su evolución en el tiempo, bajo la acción de fuerzas.
Mecanismo	Conjunto de piezas ensambladas que utilizan energía mecánica para producir un trabajo o función específico.
Montaje	Colocación o ajuste de piezas, maquinarias o instalaciones en el lugar que corresponde.

Neumática	Rama de la física que estudia las propiedades de los gases respecto a su movimiento.
Potencia	Capacidad de realizar un trabajo, la potencia puede provenir de la neumática, la energía eléctrica, mecánica, entre otras.
Presión	Es la medida que indica cómo se distribuye una fuerza sobre una superficie.
Productividad	Capacidad de producir por unidad de dinero, de trabajo, de tiempo u otras mediciones que muestran la capacidad de producir como un valor cuantitativo.
Psi	Poundal square inch. Libras por pulgada cuadrada.
Roscado	Utilizar herramientas para crear la forma de una rosca utilizable para enroscar elementos.
Tensión	Aplicación de una fuerza que tiende a elongar un objeto.
Viabilidad	Es la medida del éxito o fracaso que puede tener un proyecto.
Vibración	Es la propagación de ondas elásticas produciendo deformaciones y tensiones sobre un medio continuo o posición de equilibrio.

RESUMEN

Dentro del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería se realizan diferentes proyectos de investigación científica. Uno de estos proyectos consiste en la implementación de una línea de producción de paneles elaborados con base en diferentes mezclas de materiales de reciclado, principalmente se utilizan materiales como: tetrabrik, poliestireno expandido (duroport), tereftalato de poliestireno (PET por sus siglas en inglés) entre otros materiales.

Actualmente esta línea de producción ya se encuentra en funcionamiento, y ha sido instalada e impulsada en la Sección de Gestión de la Calidad del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

Aunque el orden adecuado de la línea ya ha sido estudiado, en este proyecto se presenta la propuesta de un correcto montaje que incluye el diseño de la cimentación y el anclaje de la línea. También se plantea agregar un sistema neumático a la línea, lo que reduciría el tiempo empleado en el proceso de fabricación y también se determina, si es posible añadir un equipo neumático adicional para mejorar los acabados de los productos, utilizando la capacidad actual del compresor de la línea.

También se muestran las especificaciones del diseño y la gestión necesaria para implementar el proyecto con base en los planteamientos realizados y necesidades detectadas, considerando además los costos que la implementación del plan generará, para ser contemplados dentro del

presupuesto de la sección y determinar si es un proyecto viable en su realización.

OBJETIVOS

General

Gestionar y diseñar el montaje para la línea de producción de aglomerados del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, Usac.

Específicos

1. Describir un plan de montaje que pueda ser utilizado durante la instalación formal de la línea de producción.
2. Determinar por medio de análisis estadísticos y de resultados el impacto generado al implementar el plan de montaje.
3. Diseñar la instalación neumática que requiere la línea de producción para que pueda ser incorporado un compresor.
4. Definir las capacidades neumáticas que requiere el sistema productivo.
5. Determinar la mejora lograda si se implementa un sistema neumático dentro de la línea.
6. Determinar el costo de la mejora planteada, y si este proyecto es viable a través de un estudio beneficio costo.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la Universidad de San Carlos se han conformado unidades y dependencias dedicadas al estudio de nuevas alternativas para incrementar el conocimiento académico, y a la vez aplicar las teorías y métodos aprendidos en el desarrollo de nuevos proyectos con enfoques de emprendimiento e innovación.

A través del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería también se impulsan nuevos proyectos de innovación e investigación. Uno de estos proyectos consiste en la implementación de una línea de producción de paneles elaborados con base en diferentes mezclas de materiales de reciclado, principalmente se utilizan materiales como: tetrabrik, poliestireno expandido (duroport), tereftalato de poliestireno (PET por sus siglas en inglés) entre otros materiales. Este es un proyecto formulado e impulsado por la Sección de Gestión de la Calidad, el cual ya se está implementando.

El proyecto llamado Tetrapanel CII persigue entre sus objetivos el brindar un espacio para la fabricación de modelos de paneles, que le den un nuevo uso a todos los materiales mencionados anteriormente. La línea de producción de aglomerados se centra principalmente en la elaboración de paneles sustitutos de los paneles de maderas aglomeradas, constituidos a partir de tetrabrik triturado, que es un material considerado muy difícil de reciclar debido a su composición que incluye papel, aluminio y plástico, por lo que el proyecto innovó en aplicar una solución al reciclaje de este material.

Actualmente ya se encuentra en funcionamiento y ya se ha estandarizado el proceso y el producto que se obtiene. Los paneles fabricados se pueden utilizar principalmente para la elaboración de muebles y se estudia también las posibilidades de incluirlo dentro de la construcción para cielos falsos, divisiones e incluso para conformar techos.

Sin embargo, se pretende a largo plazo generar un proyecto autosostenible y comercializable, para lograr esto es necesario estudiar la línea y al proyecto en sí como una empresa productora.

Considerando lo anterior, la línea debe estar correctamente instalada para que su funcionamiento no desgaste excesivamente el equipo y también para que el personal que labora en la línea, no se encuentre en condiciones de riesgo al trabajar con equipos que pueden moverse durante su operación e incluso pueden caer ante un evento sísmico.

En este proyecto se considera entonces el diseño de un cimiento que solucione las necesidades de cimentación de los equipos, que por su carga y naturaleza de sus funciones lo requieren. Una adecuada cimentación debe acompañarse de un diseño de anclaje para asegurar la posición de la maquinaria, y posteriormente un plan de montaje se presenta como la guía para implementar esta primera fase del proyecto y brindar las directrices sobre cómo debe gestionarse la implementación de este plan.

Los equipos han sido estudiados considerando todas los requerimientos que podían presentar, sin embargo, conforme al desarrollo del proyecto se determinó que la instalación del equipo requería solo algunos de todos los requerimientos posibles, o que, en equipos de magnitudes industriales, si se generan y deben ser atendidos.

En la segunda fase del proyecto se estudia si el compresor adquirido para suministrar potencia a la prensa que realiza el proceso de compresión, tiene la capacidad de sustentar el funcionamiento de un aerógrafo, que se utilizaría también para mejorar los acabados de los productos y mejorar sus posibilidades de comercialización.

Referente a la comercialización, la línea de producción de aglomerados se encuentra actualmente en una fase de estudio para determinar el precio real de venta de los productos, ya que de momento se tiene un valor estimado de su precio de venta con base en los costos de producción determinados por la dirección y el personal de la sección.

Así se ha determinado que los costos y tiempo empleado en la fabricación de una producción actual de 276 paneles por mes, son la base para poder determinar si la segunda fase de esta propuesta, que implica incluir el compresor para mejorar los tiempos de proceso, puede ser viable con los datos actuales, ya que se obtuvo la posibilidad de aumentar la producción a 360 paneles mensuales, logrado a través de una reducción de tiempo de 8 minutos en la fabricación por panel.

Mientras tanto la fase enfocada al correcto montaje requiere futuros estudios de mantenimiento y riesgo para determinar su beneficio, que de momento se limita a establecer las condiciones adecuadas para su instalación.

La futura implementación de esta propuesta, es un estudio que complementa el desarrollo del proyecto buscando la industrialización del mismo.

Aunque el estudio del beneficio obtenido por la reducción del tiempo de compresión del proceso, demostró que la propuesta no es viable, se

recomienda que no sea descartada ya que el cálculo se basa en el valor de precio estimado actual. Sin embargo, se espera que al concluir el estudio comercial del producto, se obtenga el precio real, y en conjunto con la proyección de crecimiento de la empresa, se determine nuevamente el valor de beneficio de esta propuesta que logra reducir en un 30,43 % el tiempo de fabricación.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

Dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala se ejecutan numerosos proyectos enfocados al desenvolvimiento de los conocimientos que se imparten, a través de productos y servicios dirigidos para la comunidad estudiantil así como para la población externa al campus.

La Facultad de Ingeniería es una de las principales exponentes de este tipo de iniciativas, debido a que la disciplina ingenieril tiene entre sus pilares la creación de soluciones y mejoras.

La facultad cuenta con una unidad dedicada a la investigación de nuevos proyectos aplicando las diferentes disciplinas de la ingeniería. Por ello se busca apoyar el desarrollo de uno de estos proyectos, el cual cuenta con un buen período de funcionamiento desde su inicio.

La Universidad de San Carlos de Guatemala tiene la función de regir la educación superior en Guatemala, siendo la más antigua casa de estudios superiores y además, la única universidad estatal.

Algunas de las facultades más antiguas, fundadas dentro de la universidad son: la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, la Facultad de Derecho, Ciencias Políticas y Sociales, la Facultad de Ciencias Médicas y la Facultad De Ingeniería.

Figura 1. **Escudo actual de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: *Universidad de San Carlos de Guatemala*. <http://www.usac.edu.gt/>. Consulta: 13 de agosto de 2015.

1.1.1. Historia

En 1534, ya se tenía una pequeña urbe establecida en el territorio actual de Guatemala, esta ciudad, fue nombrada Santiago de Guatemala, en el Valle de Almolonga. En aquella época se decidió nombrar como cura de la ciudad, y posteriormente como primer obispo, al licenciado Francisco Marroquín.

El licenciado Marroquín, atendiendo a las necesidades de la época, solicitó a la corona el establecimiento de una universidad, sin obtener respuesta favorable.

Luego varias compañías religiosas comenzaron a establecer colegios para la enseñanza superior, durante un tiempo las distintas casa religiosas trabajaron estableciendo sus propias metodologías de enseñanza, hasta que, finalmente,

el obispo Payo Enríquez, consiguió en 1676, la autorización de la corona para la creación de una universidad guatemalteca.

La universidad entró en funciones hasta 1681, con un total de 60 estudiantes inscritos y cátedras impartidas en latín, a excepción de los idiomas mayas.

Para la constitución de la universidad se tomó como modelo la Universidad de Salamanca y México, y en 1687, la universidad sería nombrada pontificia, con lo cual sus graduados estaban al nivel de las escuelas superiores europeas. Durante muchos años la universidad fue pieza fundamental en la toma de decisiones económicas y políticas de la región.

En 1829, debido a las tensiones políticas, la universidad fue disuelta para convertirse en Academia de Estudios, separada entonces de los catedráticos eclesiásticos.

En 1840, se reestableció la condición de la universidad según su organización original. A partir de ese momento la universidad continuó desarrollándose mientras era afectada e influía en los cambios sociopolíticos económicos relacionados a la historia del país.

Cabe mencionar que para 1944, se estableció el acuerdo de autonomía universitaria, por parte de Francisco Javier Arana, Jacobo Árbenz Guzmán y Jorge Toriello, con el fin de otorgar inmunidad a la universidad de ser controlada como había sucedido durante el gobierno de Jorge Ubico. De esta manera, la universidad continúa teniendo una participación importante en la problemática nacional, afrontando a su vez los retos que representa el preparar profesionales capacitados para afrontar retos mayores y más diversos.

1.1.2. Misión y visión

Misión

En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del estado y la educación estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales.

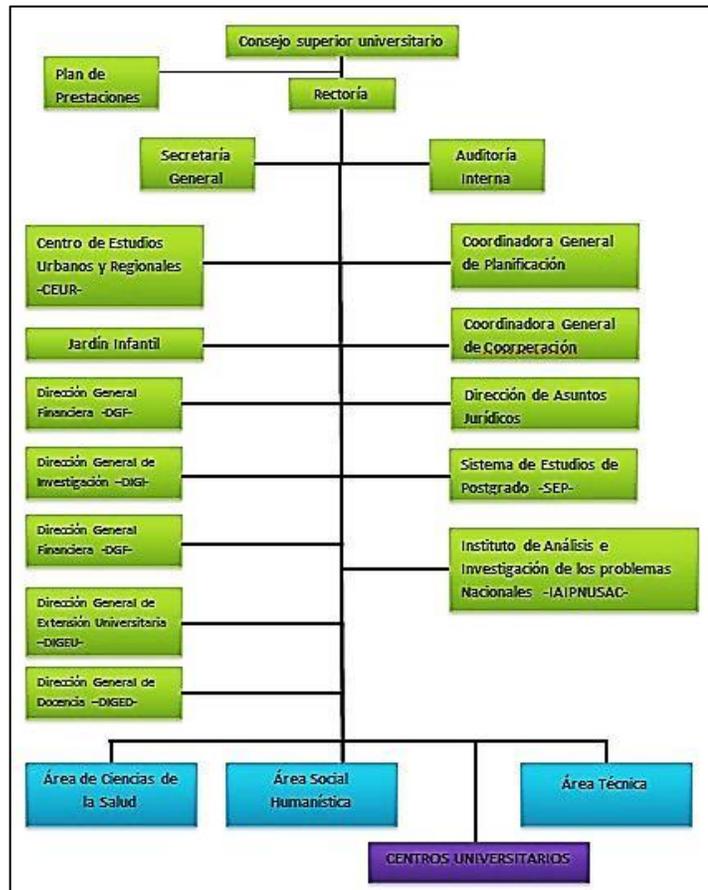
Visión

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con recursos óptimamente utilizados, para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica.

1.1.3. Organigrama general

A continuación se muestra la organización general que conforma actualmente la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 2. Organigrama general Usac



Fuente: elaboración propia.

1.2. Historia de la Facultad de Ingeniería

Desde su fundación, la Universidad de San Carlos de Guatemala graduaba abogados y teólogos.

En 1769, se comienzan a impartir los cursos de aritmética y geometría, dando inicio al desarrollo de las carreras de ciencias exactas dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para 1834, ya se habían agregado la enseñanza del álgebra, geometría, trigonometría y física, con lo que se otorgaron los primeros títulos de agrimensores.

Para 1873, se fundó la Escuela Politécnica, encargada de formar ingenieros militares, topógrafos y de telégrafos, además de oficiales militares. Más tarde, en 1879, se estableció la Escuela de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala, a la cual se uniría la Escuela Politécnica. A través de un decreto gubernamental, en 1882, se le dio la categoría de Facultad de Ingeniería, momento en el que se reformó el tiempo de estudio de ocho, a seis años.

A finales del siglo XIX, la facultad atravesó por inestabilidades del tipo económico, por lo que perteneció a la Escuela Politécnica y la Universidad en diferentes ocasiones. Finalmente, la Escuela Politécnica fue disuelta en el año 1908, a partir de ese momento la Facultad de Ingeniería atravesó un período de pocos avances, graduando muy pocos ingenieros.

Fue hasta 1930, que dentro de la universidad se reestableció la Facultad con la carrera de ingeniería civil, unificando algunos de los estudios de los planes que existieron con anterioridad, tanto el de ingenieros agrónomos e ingenieros militares.

La Facultad de Ingeniería fundó la Escuela Técnica en 1951, orientada a apoyar y desarrollar la calidad curricular del plan de estudios.

En 1959, se crea el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) para fomentar y coordinar la investigación científica.

En los años posteriores se incorporaron varias reformas a los planes de estudio de las carreras dentro de la facultad. Por ello actualmente la Facultad de Ingeniería cuenta con diez carreras ingenieriles, y también dos licenciaturas en ciencias, siendo una de ellas matemática aplicada, y la otra en física aplicada.

Figura 3. **Escudo de la Facultad de Ingeniería Usac**



Fuente: SAE-SAP. <http://saesap.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 13 de agosto de 2015.

1.2.1. Misión y visión

- Misión

“Formar profesionales en las distintas áreas de la ingeniería que, a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología, conscientes de la realidad nacional y regional, y comprometidos con nuestras sociedades, sean capaces de

generar soluciones que se adapten a los desafíos del desarrollo sostenible y los retos del contexto global.”¹

- Visión

“Ser una institución académica con incidencia en la solución de la problemática nacional; formamos profesionales en las distintas áreas de la ingeniería, con sólidos conceptos científicos, tecnológicos, éticos y sociales, fundamentados en la investigación y promoción de procesos innovadores orientados hacia la excelencia profesional.”²

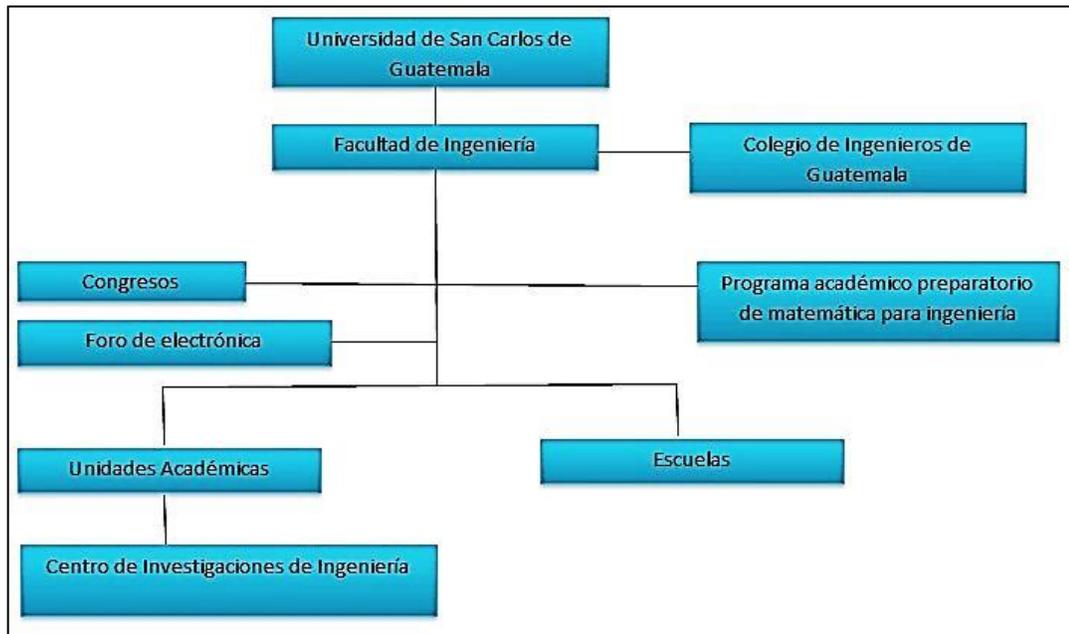
1.2.2. Organigrama general

Se muestra el organigrama general de la facultad de ingeniería, en el cual se observa que el Centro de Investigaciones de Ingeniería, es una de las dependencias académicas existentes.

¹ FIUSAC. <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/nosotros.php>. Consulta: 13 de agosto de 2015.

² Ibíd.

Figura 4. **Organigrama general de la Facultad de Ingeniería**



Fuente: elaboración propia.

1.2.3. Escuelas que conforman la facultad

La Facultad de Ingeniería, cuenta con ocho escuelas, que administran las diez carreras existentes de ingeniería, así como dos organizaciones establecidas para apoyar las licenciaturas en ciencias.

Las escuelas mencionadas son:

- Escuela de Ciencias
- Escuela de Ingeniería Civil
- Escuela de Ingeniería Mecánica
- Escuela de Ingeniería Química

- Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
- Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
- Escuela de Ingeniería en Industrias Agropecuarias y Forestales
- Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas
- Licenciatura en Matemática Aplicada
- Licenciatura en Física Aplicada

1.2.3.1. Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

En esta escuela se administran tanto la carrera de Ingeniería Industrial, como la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial.

La escuela vela siempre por mantener un plan de estudio capaz trabajar con las exigencias tecnológicas que presenta la constante renovación de la actividad industrial, el plan de estudio se distribuye en las siguientes áreas: "

"Organizar, planificar, dirigir, diseñar, ejecutar y controlar todos los recursos los sistemas productivos integrados por recurso humano, materiales y equipos, utilizando para ello los conocimientos especializados de las ciencias matemáticas, físicas, sociales y administrativas, con principios y métodos de análisis y diseño de ingeniería."

1.2.3.1.1. Misión y visión

- Misión

Preparar y formar profesionales de la ingeniería Industrial, Mecánica Industrial y disciplinas afines, capaces de generar e innovar sistemas y adaptarse a los desafíos del contexto global.³

- Visión

En 2022 la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial acreditada a nivel regional y con excelencia académica, es líder en la formación de profesionales íntegros, de la Ingeniería Industrial, Mecánica Industrial y disciplinas afines, que contribuyen al desarrollo sostenible del entorno.⁴

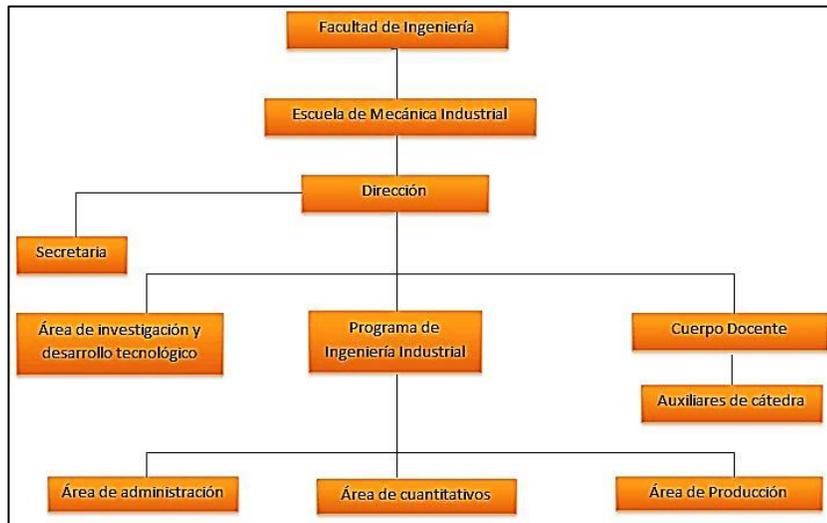
1.2.3.1.2. Organigrama general

Se muestra el organigrama general de la Escuela de Mecánica Industrial, la cual tiene a su cargo las carreras de ingeniería industrial y mecánica industrial.

³ Escuela de Mecánica Industrial. http://emi.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/?page_id=88. Consulta: 13 de agosto de 2015.

⁴ Escuela de Mecánica Industrial. http://emi.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/?page_id=85. Consulta: 13 de agosto de 2015.

Figura 5. Organigrama general EMI



Fuente: elaboración propia.

1.3. Historia del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería (CII)

El Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) surgió como respuesta a al Acuerdo del Consejo Superior Universitario, punto noveno del acta número ochocientos cuarenta y dos (842) de sesión celebrada el 27 de julio de 1963 y está integrado por todos los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

“La base para constituir el Centro, fue la unificación de los laboratorios de Materiales de Construcción de la Facultad de Ingeniería y de la Dirección General de Obras Públicas en 1959 y la subsiguiente adición a los mismos de los laboratorios de Química y Microbiología Sanitaria de las entidades ya mencionadas. En 1965 se agregó al CII, el Laboratorio de Análisis de Aguas de

la Municipalidad de Guatemala. En 1967 se incorporaron los laboratorios del Departamento de Ingeniería Química, que pasó a formar parte de la Facultad de Ingeniería como Escuela de Ingeniería Química, y posteriormente los laboratorios de Mecánica e Ingeniería Eléctrica, al formarse las respectivas escuelas.”⁵

1.3.1. Misión y visión

Misión

Investigar alternativas de solución científica y tecnológica para la resolución de la problemática científico-tecnológica del país en las áreas de ingeniería, que estén orientadas a dar respuesta a los problemas nacionales; realizar análisis y ensayos de caracterización y control de calidad de materiales, estructuras y productos terminados de diversa índole; desarrollar programas docentes orientados a la formación de profesionales, técnicos de laboratorio y operarios calificados; realizar inspecciones, evaluaciones, expertajes y prestar servicios de asesoría técnica y consultoría en áreas de la ingeniería; actualizar, procesar y divulgar información técnica y documental en las materias relacionadas con la ingeniería.

Visión

Desarrollar investigación científica como el instrumento para la resolución de problemas de diferentes campos de la ingeniería, orientada a la optimización de los recursos del país y a dar respuesta a los problemas nacionales; contribuir al desarrollo de la prestación de servicios de ingeniería de alta calidad

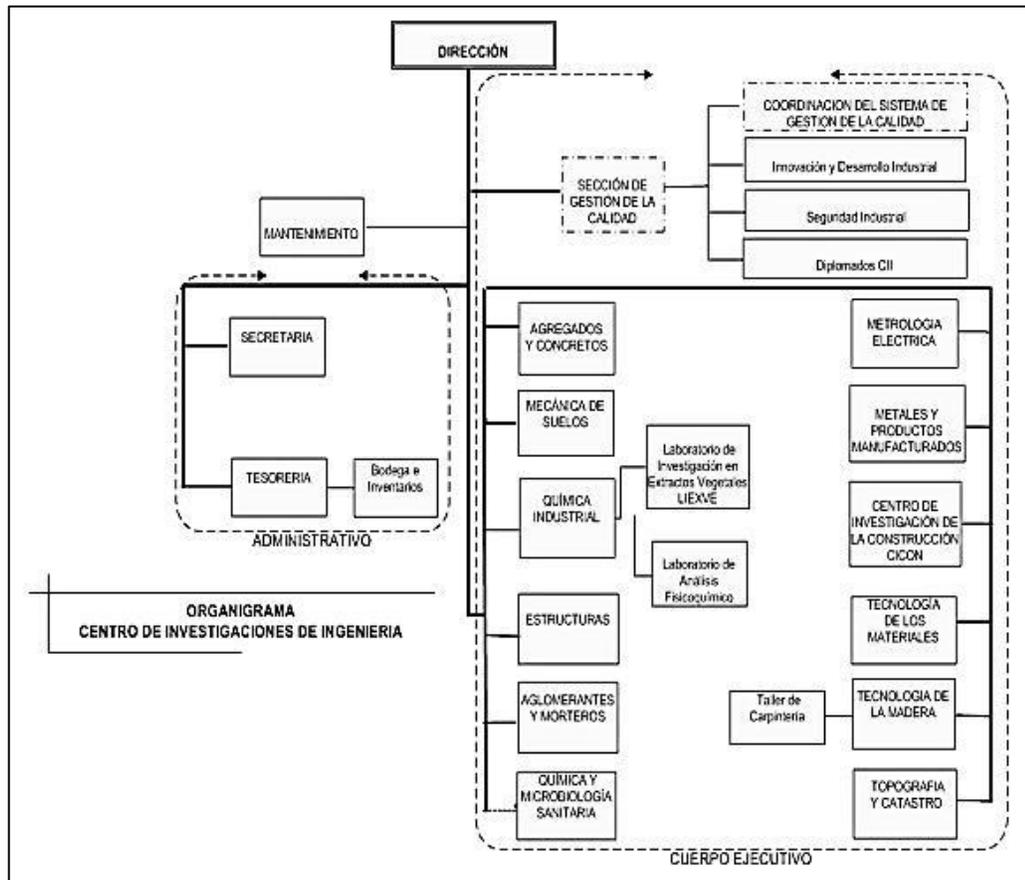
⁵ Centro de Investigaciones de Ingeniería. <http://cii.ingenieria.usac.edu.gt/> Consulta: 20 de febrero de 2015

científico-tecnológica para todos los sectores de la sociedad guatemalteca; colaborar en la formación profesional de ingenieros y técnicos; propiciar la comunicación con otras entidades que realizan actividades afines, dentro y fuera de la República de Guatemala, dentro del marco definido por la Universidad de San Carlos de Guatemala. Mantener un liderazgo en todas las áreas de Ingeniería a nivel nacional y regional centroamericano, en materia de investigación, análisis y ensayos de control de calidad, expertaje, asesoría técnica y consultoría, formación de recurso humano, procesamiento y divulgación de información técnica y documental, análisis, elaboración y aplicación de normas.

1.3.2. Organigrama general

A continuación se muestra el organigrama oficial del Centro de Investigaciones de Ingeniería, la sección de gestión de la calidad conforma parte del cuerpo ejecutivo del centro.

Figura 6. Organigrama del Centro de Investigaciones



Fuente: Archivos generales de la Sección de Gestión de la Calidad.

Consulta: 24 de agosto de 2015.

1.3.3. Secciones que conforman el centro

El Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería fue creado para impulsar la investigación científica a través de la aplicación de los conocimientos de las diversas ramas de la ingeniería, que son impartidas en la facultad.

La base para constituir el Centro, fue la unificación de los laboratorios de Materiales de Construcción, los laboratorios de Química y Microbiología Sanitaria de las entidades ya mencionadas, el Laboratorio de Análisis de Aguas de la Municipalidad de Guatemala, laboratorios de Mecánica e Ingeniería Eléctrica.

El Centro de Investigaciones de Ingeniería presta sus servicios a entidades públicas y privadas, gubernamentales y no gubernamentales así como a personas individuales que buscan la solución a sus problemas técnicos específicos, en las áreas de la Construcción, Ingeniería Sanitaria, Metrología Industrial y Química Industrial.

1.3.3.1. Sección de gestión de la calidad

Las instalaciones de la sección se encuentran junto a la sección de Prefabricados, en el área de EPS de la Facultad de Ingeniería, dentro del campus central universitario. Es en esta área donde cuenta con el espacio necesario para la instalación de los proyectos que se encuentran a cargo de esta sección.

Uno de los logros más importantes para la sección, es impulsar el proyecto que tiene como objetivo la implementación de la Norma ISO 9000, la cual norma los requisitos para la implementación de un sistema de gestión de la calidad en el Laboratorio de Materiales de Construcción, proyecto que apoyará la futura implementación de la Norma ISO 17025, la cual busca la calidad en todos los procesos dentro de un laboratorio, enfocándose específicamente a la realización de ensayos y calibraciones.

Dentro de los proyectos internos de la sección se encuentra la implementación de métodos de producción de productos químicos de limpieza, como jabones y desinfectantes.

También se ha desarrollado un proyecto de producción de abono a partir de un tipo de lombriz capaz de procesar toda clase de desechos orgánicos, el producto de este proceso se convierte en un abono de excelente calidad, con características apropiadas para apoyar la agricultura nacional.

Otro proyecto que se ha tenido un gran desarrollo, es enfocado a la implementación de la línea de producción de aglomerados, donde se busca investigar y crear diferentes procesos de producción de paneles producidos a partir de materiales reciclados.

También se brinda apoyo a estudiantes que deseen fabricar sus propios prototipos de materiales, a partir de otros tipos de desechos reciclables, y en diferentes formas y proporciones.

1.3.3.1.1. Historia

La Sección de Gestión de la Calidad nace como la unidad del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería encargada de apoyar en los procesos de mejora continua e investigación de procesos que buscan apoyar y mejorar la calidad de los procesos investigativos de las secciones que conforman el Centro.

1.3.3.1.2. Misión y visión

Misión

Contribuir al mejoramiento de la calidad en los procesos y proyectos realizados dentro del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, por medio del desarrollo de proyectos formulados para proveer el apoyo necesario a cada actividad que promueva mejoras.

Visión

Ser una sección incidente en la continua mejora y apoyo para lograr todos los objetivos planteados por las diferentes unidades del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

1.3.3.1.3. Organigrama general de la Sección de Gestión de la Calidad

Se detalla el organigrama general de la Sección de Gestión de la Calidad en el cual se observa la relación directa entre la dirección y los operarios de la línea.

Figura 7. **Organigrama general de la Sección de Gestión de la Calidad**



Fuente: elaboración propia.

1.3.3.1.4. Reseña de funciones

La Sección de Gestión de la Calidad es la encargada de impulsar la mejora continua de las operaciones de las otras secciones pertenecientes al Centro de Investigaciones. Esto se logra a través de tres enfoques que son la dirección de la seguridad industrial general dentro de la Facultad de Ingeniería, desde el equipamiento de implementos como extintores, y la implementación de campañas para delimitar área de evacuación y puntos de reunión en caso de ocurrir alguna emergencia.

La Sección de Gestión de la Calidad también tiene a su cargo brindar impulso y administrar el sistema de diplomados otorgados por el Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería.

El tercer enfoque mencionado es formar parte activa de la innovación industrial por medio de diversos proyectos.

Cabe mencionar que la Sección de Gestión de la Calidad funciona por medio de la asignación de personal proveniente de la Facultad de Ingeniería, semestre tras semestre asigna el seguimiento de proyectos de gran magnitud, así como nuevos procesos de desarrollo e investigación a estudiantes que se acercan a la sección para ser admitidos como practicantes o epesistas.

1.3.3.2. Proyecto Tetra Panel CII

El proyecto de Tetrapanel CII surge como una solución ante el continuo desperdicio del material de empaques de productos de consumo masivo, dicho material, que es el tetrabrik es un material difícil de reciclar debido a su composición en capas múltiples de distintos materiales. Por ello no puede ser procesado como el aluminio, el plástico o el papel por separado. Algunos países con mayores avances en el procesamiento de desechos como es el caso de España, encuentran limitaciones al recolectar este material y compactarlo para evitar que produzca contaminación al encontrarse libre en el ambiente, sin embargo, aún es difícil convertirlo en algún material reusable.

El proyecto Tetrapanel CII ha sido impulsado por el ingeniero industrial Oswin Antonio Melgar, y financiado en su parte inicial a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt) y el Centro de Investigaciones, en el caso de la primera, es una entidad designada por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (Senacyt) para la evaluación aprobación y ejecución de presupuesto asignado para crear proyectos de investigación, como es el caso del proyecto de producción de paneles a partir de tetrabrik.

El proyecto ha culminado su etapa inicial, en esta etapa ya ha realizado las pruebas suficientes para establecer el mejor método de fabricación y el estándar adecuado del producto. Como un proyecto que pertenece a la Universidad de San Carlos de Guatemala, y que busca ampliar las posibilidades de investigación, en la siguiente fase de mejora será financiado de manera interna dentro de la universidad, perteneciendo al Centro de Investigaciones de Ingeniería, y a su vez, el centro es una dependencia de la Facultad de Ingeniería.

Ahora es necesario explorar las posibilidades de comercialización e industrialización de un producto que ya ha demostrado ser factible, pero debe determinarse la viabilidad como producto de uso en el mercado de la mueblería e incluso en el mercado de la construcción.

1.4. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt)

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt), es el Órgano Rector en el campo del desarrollo científico y tecnológico del país, y le corresponde la promoción y coordinación de las actividades científicas y tecnológicas que realice el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología reconocido por las siglas (Sinacyt); tiene bajo su responsabilidad la conducción adecuada del Sistema a través de la preparación ejecución y seguimiento del Plan de Desarrollo Científico y Tecnológico y su correspondiente programa de trabajo.

1.4.1. Historia

La Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (Senacyt), es la responsable de apoyar y ejecutar las decisiones que emanen del Consejo Nacional de

Ciencia y Tecnología (Concyt) y de dar seguimiento a sus respectivas acciones; constituye el vínculo entre las instituciones que integran el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

1.4.2. Misión y visión

Misión

Fortalecer y articular el sistema nacional de ciencia y tecnología, por medio de la formulación, coordinación y ejecución de políticas que contribuyan al desarrollo económico y social del país.

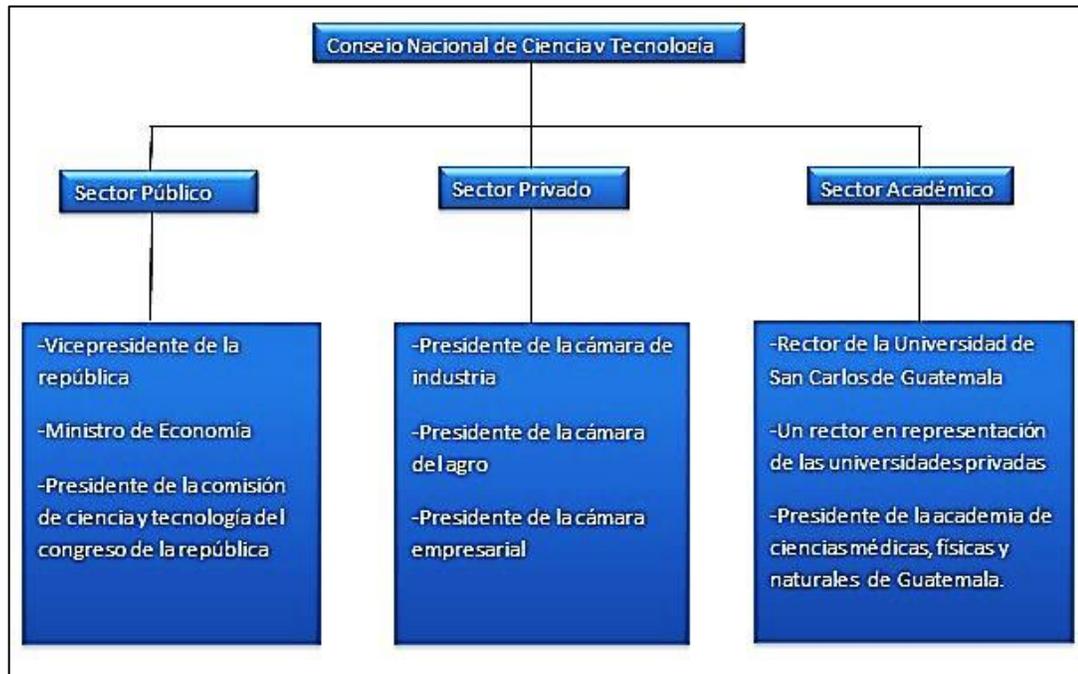
Visión

Ser la organización clave en la promoción y articulación de la ciencia, la tecnología y la innovación como elemento estratégico para el desarrollo.

1.4.3. Organigrama general

Se muestra el organigrama de Concyt, conformado por representantes del sector público, privado y académico.

Figura 8. Organigrama general del Concyt



Fuente: elaboración propia.

1.4.4. Reseña de funciones

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt), es el órgano rector en el campo del desarrollo científico y tecnológico del país, y le corresponde la promoción y coordinación de las actividades científicas y tecnológicas que realice el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología (Sincyt); tiene bajo su responsabilidad la conducción adecuada del Sistema a través de la preparación ejecución y seguimiento del Plan de Desarrollo Científico y Tecnológico y su correspondiente programa de trabajo.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Proceso de fabricación de aglomerados

Los aglomerados son producciones, generalmente de madera, que surgen a partir de la unión de restos o viruta de uno o varios tipos de madera, utilizando altas presiones y cola, resina o algún agente químico que permita la unión de las partículas, que conformaran las planchas de material, al ser sometidas vertidas en moldes y sometidas a esfuerzos de presión, adicionalmente también puede ser aplicado un proceso de variación de temperatura, para que la plancha de material consolide su estructura.

Generalmente se emplean maderas suaves, debido a la facilidad con que pueden ser comprimidas durante del proceso. Asimismo debe considerarse la proporción entre cola o resina, y la proporción de madera que se utilizará, una proporción usualmente empleada consiste en incluir un 50 % de material de base y el otro 50 % de aglomerante.

2.1.1. Descripción general del proceso

Para la producción de aglomerados dentro de la línea de producción del Centro de Investigaciones de la Facultad, se estableció el siguiente proceso.

La materia prima a utilizar, que es tetrabrik reciclado, debe estar libre de cualquier residuo y carente de humedad debido a que estas dos condiciones favorecerán que el panel sea fabricado correctamente.

El proceso optimizado dentro de la Sección de Gestión de la Calidad considera una fase de preparación del molde a utilizar, el tetrabrik colocado deberá pasar por un proceso de compresión en un tiempo establecido, y posteriormente será horneado para que la exposición a una temperatura elevada durante un período de tiempo fijo, consolide la estructura del panel.

El proceso general puede tener variaciones de cantidad de material y estructura de material ya que existe la posibilidad de triturar el tetrabrik, o utilizar su estructura laminar original.

Asimismo, pueden ser aplicadas variaciones de presión y tiempo de aplicación, y también de temperatura de horneado y tiempo de duración de la operación. Estas variaciones surgen debido a los diferentes paneles que se han creado dentro de la línea, y es considerado un proceso que está sujeto a mejoras.

También debe recordarse que línea se encuentra disponible para fabricar otros tipos de paneles, o estructuras de otros proyectos que surgen directamente de la sección, o de estudiantes de ingeniería que buscan el apoyo de la sección.

Figura 9. **Proceso**

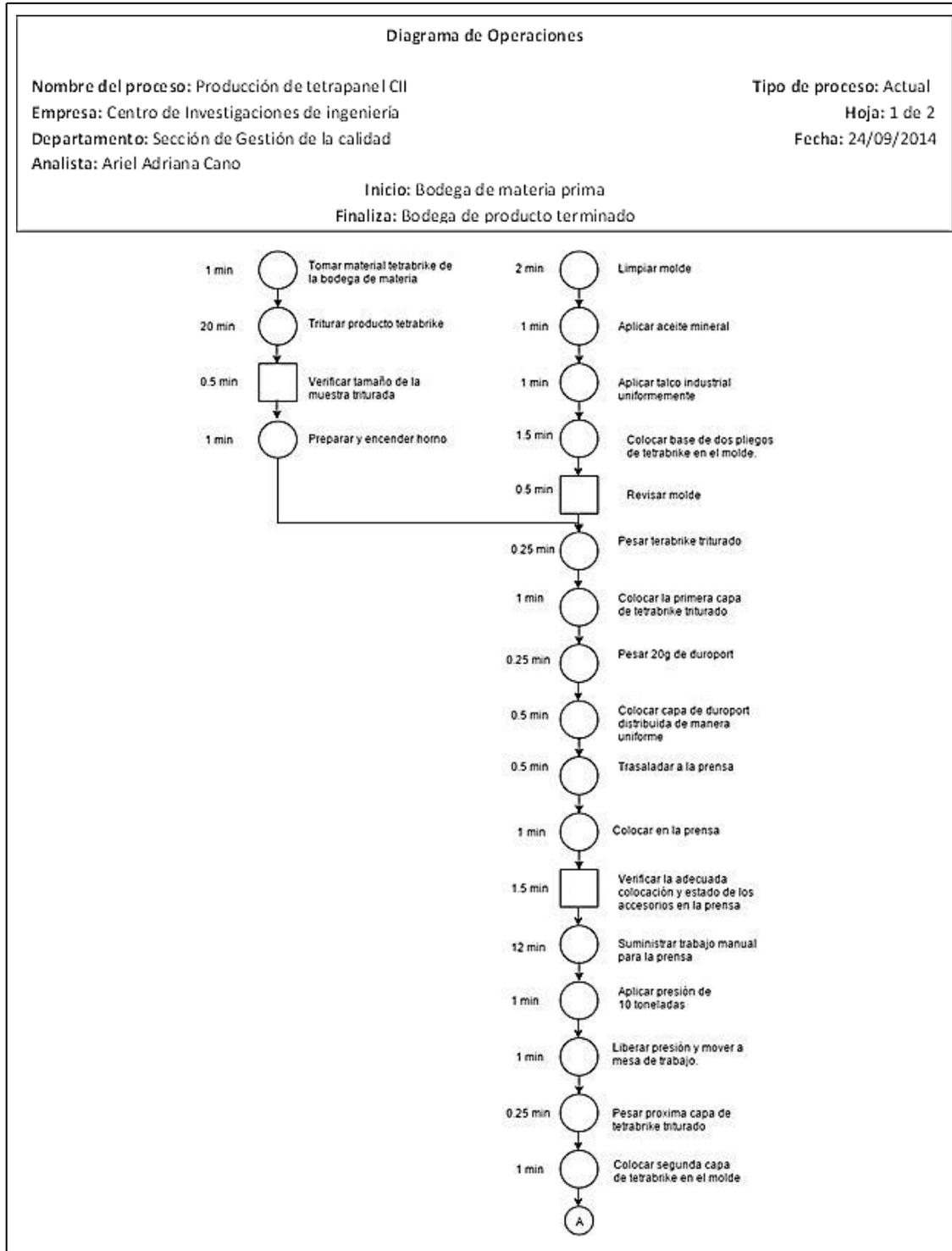


Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

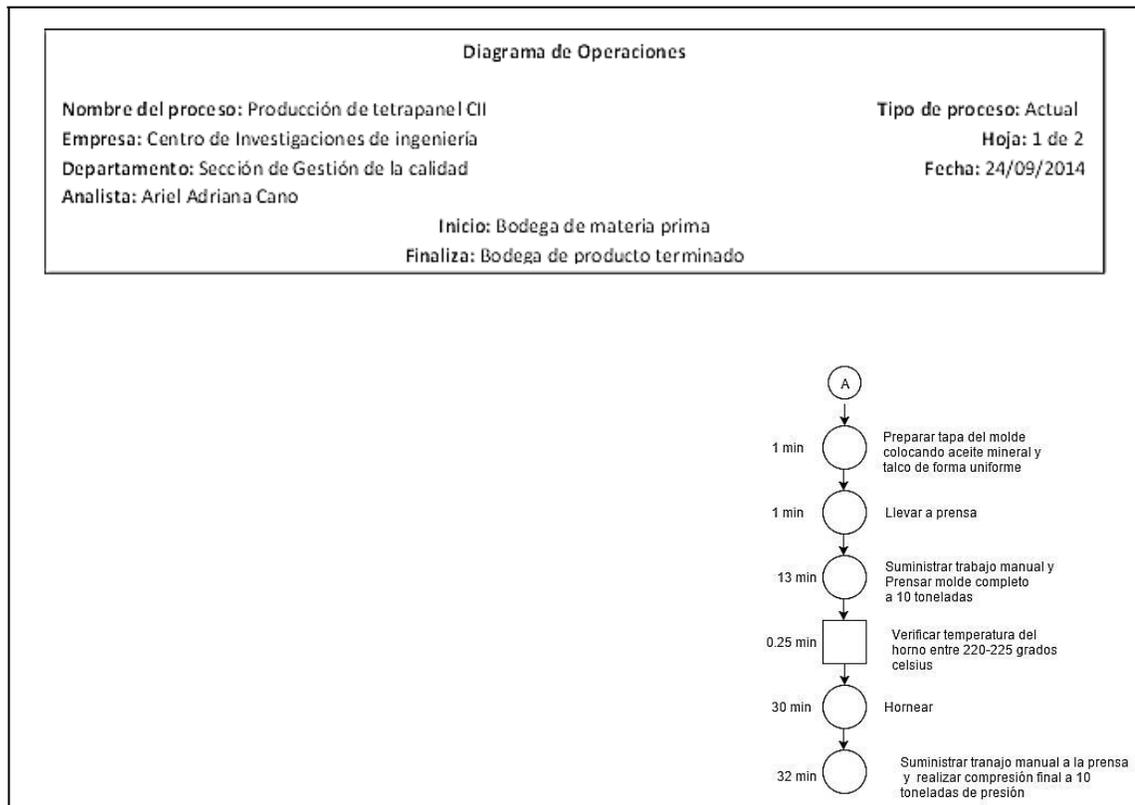
2.1.2. **Diagrama de operaciones**

El diagrama de operaciones detalla el proceso actual empleado para la fabricación de tetrapanel CII, realizado con la maquinaria de la línea.

Figura 10. Diagrama de operaciones



Continuación de la figura 10.



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

Tabla I. **Resumen de diagrama de operaciones**

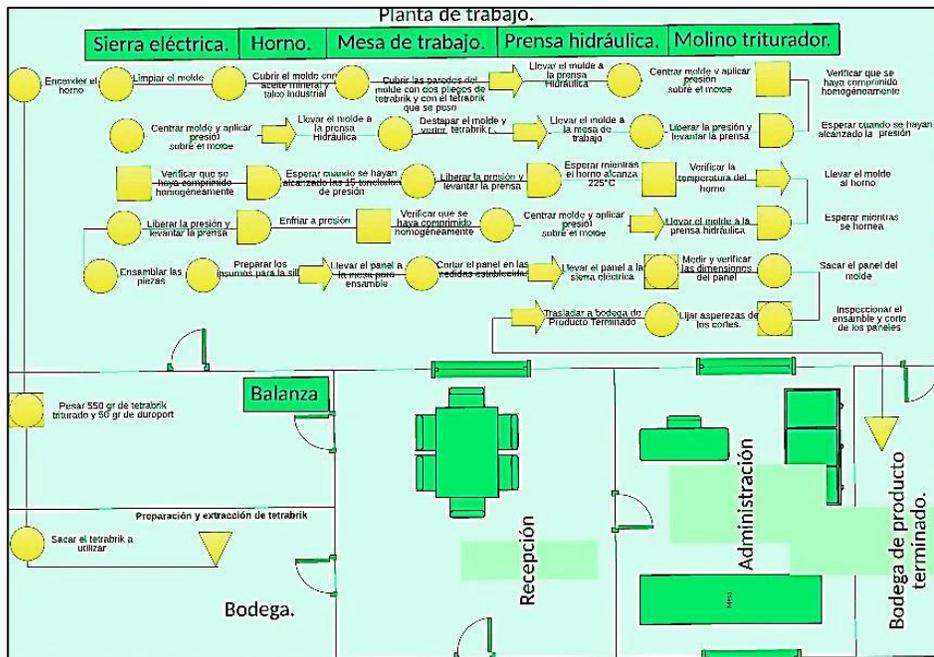
Tipo de acción	Cantidad realizada (pasos)	Tiempo empelado (minutos)
Operación	23	101,25
Inspección	4	2,75
Totales	27	104

Fuente: elaboración propia.

2.1.3. Diagrama de recorrido

A través del diagrama de recorrido se aprecia el movimiento del panel en proceso de fabricación por el área de la línea de fabricación y algunas áreas aledañas dentro de la sección.

Figura 11. Diagrama de recorrido



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2010.

2.1.4. Materia prima utilizada

La materia base para la elaboración del tetranel CII es tetrabrik, el cual luego de ser triturado es compactado para formar planchas cuya superficie exterior también es formada por láminas de dicho material, que han sido

higienizadas previo al inicio del proceso. Puede observarse en la siguiente figura.

Figura 12. **Materia base**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

También se ha experimentado agregando duroport (poliestireno expandido) el cual ha demostrado mejorar la adherencia entre las trazas de tetrabrik, por lo que conforma el modelo estándar del producto.

Figura 13. **Traza de *duroport* incluida dentro del panel**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

- **Aglomerados de madera**

Entre los productos que se obtienen del desperdicio de madera se presentan tres tipos generales de producto, que son:

- **Contrachapado:** es un derivado de los desperdicios de madera, que se fabrica a partir de varias capas de diferentes maderas, las cuales son adheridas y prensadas para lograr una mayor resistencia a los cambios atmosféricos y la humedad que deforma la estructura y daña las características. Para este tipo de aglomerado se emplean maderas como el pino, el haya y el álamo. El contrachapado más común, está compuesto de cinco chapas, es empleado en interiores, puede adaptarse al uso exterior con ciertos procesos. Hay variedades revestidas de maderas nobles, para usos decorativos, y otras revestidas de PVC, que se emplean en baños y cocinas, por su calidad impermeable.

Figura 14. **Ejemplos de uso del contrachapado**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

- Aglomerado: empleando los restos de tipos de madera que se trituran (virutas, serrines, ramas), mezclan y calientan, y se convierten en tableros rígidos. Es un sistema que aprovecha los residuos de carpintería, es barato y fácil de trabajar, de textura irregular y porosa, que sirve para elaborar parqués y tarimas flotantes, tableros para carpintería. Hay aglomerados especiales para exteriores, pero los muebles obtenidos de este material, son de baja calidad. A estos puede añadirse coberturas de materiales plastificados, como melamina los cuales otorgan una mejor apariencia y mejoran la resistencia al proteger la porosidad del material.

Figura 15. **Aglomerados con coberturas plastificadas**



Fuente: *El material*. Concursoume.org.ar. Consulta: 29 de octubre de 2015.

- Fibras: se elaboran con fibras de madera que se une con cola y es prensada, procedentes de la pasta de madera. Hay dos clases los paneles HDF fibras de densidad dura, y los MDF fibras de mediana densidad, y se diferencian en las fibras con las que se fabrican, más o menos duras y densas. Su resistencia a la humedad es baja.

Figura 16. **Aglomerados de fibra de madera**



Fuente: *NOEM*. www.noem.com. Consulta: 29 de octubre de 2015.

En la producción de aglomerados usual, se utiliza una composición de desechos de maderas suaves en combinación con adhesivos o resinas, para lograr una mezcla moldeable que constituyen paneles livianos, aptos para su uso en muebles y en la construcción de ambientes interiores.

Los aglomerados surgen como respuesta a la búsqueda de aprovechamiento de todos los desechos generados en las producciones que utilizan madera. Las ventajas de utilizar materiales de esta composición se detallan a continuación:

- Bajo costo: el costo de una plancha de aglomerado será siempre inferior al de un panel de madera pura. El costo puede variar con base en la composición, acabado y especificaciones que puedan otorgar características más específicas, como una mayor resistencia, una mayor flexibilidad o algún recubrimiento especial para disminuir los efectos de la humedad del ambiente, en la constitución del panel. Considerando un panel de aglomerado de medidas estándar, 4x8 pies su precio promedio es de Q 250,00 mientras que un panel de las mismas medidas de madera de pino, se cotiza en Q 325,00 debe observarse que los paneles de madera varían su precio con base en la calidad y tipo de madera, siendo el pino una de las más utilizadas, sin embargo, posee características inferiores en calidad y resistencia en comparación con otros tipos de maderas como la caoba o el cedro.
- Peso más liviano: las composiciones de aglomerados presentan siempre una composición menos densa que la

madera, por lo tanto esto puede representar una notable ventaja, cuando se utiliza para la construcción. Comparando la densidad promedio de la madera, que es de 810 Kg/m^3 ⁶ mientras que la densidad de los paneles de madera es de 525 Kg/m^3 ⁷ y la densidad de los paneles de tetrabrike es de 371 Kg/m^3 .

- Propiedades aislantes: los aglomerados ofrecen buenas propiedades aislantes térmicas y acústicas, esto radica en que la composición de resina y adhesivo favorece la poca conducción de cambios de temperatura y sonido, a través del material.

Sin embargo, aunque los aglomerados son un material muy bien posicionado debido a sus características; este material presenta por contraparte desventajas en su fabricación y utilización:

- Poca resistencia a la humedad: la mayoría de aglomerados pierden la constitución, dimensiones y forma original cuando se encuentran en un medio húmedo.
- Durabilidad: es posible producir aglomerados para exteriores, pero al igual que la madera, presentan un considerable costo de mantenimiento, y un corto tiempo de duración en buenas condiciones, comparado con piezas de madera.

⁶ WILSON, BUFFA, LOU. Física. p. 304.

⁷ NOEM. www.noem.com. Consulta: 29 de octubre de 2015.

- Riesgos de toxicidad: el aglomerado que se forma usando aditivos como la urea de formaldehído ha sido reconocido como una fuente seria de toxicidad. El gas formaldehído puede ser emitido mucho después de la fabricación del producto, y la concentración y la concentración de este gas dentro del ambiente puede incrementarse cuando se presentan condiciones de humedad y cambios de temperaturas propios del ambiente.

Varios de los efectos que este gas genera para salud humana pueden ser notorios con síntomas como náusea, ojos llorosos y sensación de ardor en ellos, también a través de las vías respiratorias, nariz y garganta, también se manifiesta a través de dolores de cabeza y fatiga.

“La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos señala al gas formaldehído como “posiblemente cancerígeno para los humanos”. Debido a estos peligros, algunos aglomerados se fabrican con un adhesivo diferente, el fenol formaldehído. Se recomiendan los productos hechos con este adhesivo, que libera mucho menos o nada de gas formaldehído.”⁸

⁸ *Brico Manualidades*. <http://www.bricomanualidades.net/>. Consulta: 18 de febrero de 2015.

Figura 17. **Aglomerado MDF**



Fuente: *Tableros Huertas*. <http://www.tableroshuertas.es/>. Consulta: 3 de septiembre de 2015.

- **Aglomerados de tetrabrik**

Los aglomerados de tetrabrik son planchas que sustituyen a los productos derivados de la madera, en los cuales se compactan trozos de madera con la ayuda de adhesivos para lograr las dimensiones planificadas.

El aglomerado de tetrabrik surge para sustituir el uso de madera natural en la estructura de muebles y algunos tipos de construcción.

Asimismo, se busca darle un uso posterior al material luego de cumplir su función principal; es necesario resaltar que este es un proyecto novedoso al explorar el reciclado de tetrabrik, debido a que por su compleja composición laminar, es muy difícil de reutilizar, muchos países como España se han limitado únicamente a la recolección del material ya utilizado.

Figura 18. **Aglomerado de tetrabrik**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería.

2.1.4.1. Obtención

Para el proyecto de paneles de tetrabrik se estableció un modelo de recolección, en el cual el material es obtenido directamente del consumo de productos envasados en dicho material, dentro del campus universitario.

La recolección fue planificada de manera periódica, por ello se impulsa una campaña de reciclaje durante la recolección. El objetivo es ofrecer información constante a la población estudiantil sobre la posibilidad de reciclar un material compuesto como el tetrabrik.

Durante el tiempo existente entre cada recolección planificada se mantiene un suministro constante aunque de menor volumen, de las tiendas especializadas en la venta de café que operan dentro de la universidad.

También se plantea la posibilidad de que cada estudiante interesado en producir algún producto, realice su propia recolección de material, con el fin de expandir a nuevos sectores la idea del reciclaje de este material.

2.1.4.2. Composición

El envase de tetrabrik fue ideado para brindar una protección óptima a los líquidos envasados, logra mantener el contenido aséptico y con las propiedades que se le proporcionan durante la fabricación, y que se desea sean las mismas con las que el consumidor encuentra el producto.

El tetrabrik está compuesto por seis láminas de material adheridas entre sí utilizando polietileno.

La primera capa a base de polietileno mantiene la impermeabilidad superficial del material conservando los diseños del empaque.

Luego se tiene una capa de cartón hecho de celulosa virgen, esta es la lámina encargada de otorgar forma y resistencia al empaque.

A la capa de cartón se adhiere otra capa de polietileno, el cual es responsable de mantener el laminado siguiente.

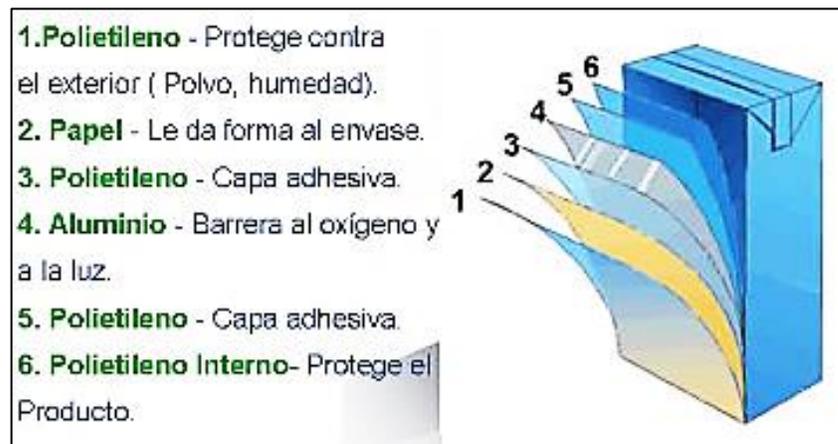
El siguiente laminado que conforma el material es una fina capa de aluminio, es el material encargado de aislar el contenido del empaque de agentes como la luz, el aroma y el oxígeno que al hacer contacto con el envasado inicia el proceso de deterioro y descomposición del contenido. Los aromas pueden alterar la manera en la que el consumidor percibe el producto y

la luz puede alterar completamente la fórmula del producto y el desempeño de los conservantes o aditivos adicionales.

Luego del aluminio se coloca nuevamente una capa de polietileno como parte de la estructura adherente que necesita el material, y finalmente una última capa de polietileno que es la que tiene el contacto directo con el contenido del empaque.

Este es un material de muy difícil reprocesamiento pues se constituye de cartón, polímero y aluminio al mismo tiempo, por lo que no existe algún proceso de reciclado adecuado para procesar tres materiales con propiedades tan distintas y que además pueden contener residuos orgánicos luego de su utilización y desecho.

Figura 19. **Estructura del material tetrabrik**



Fuente: *Proyecto 1 Reciclaje*. <http://proyecto1reciclaje.blogspot.com/>.

Consulta: 24 de agosto de 2015.

Tabla II. **Tetrabrik en porcentajes**

Material	Porcentaje (%)
Papel	73
Polietileno	20
Aluminio	20

Fuente: Documentos generales de la Sección de la Calidad. Consulta: 12 de septiembre 2015.

2.1.4.3. Ventajas

El tetrabrik es un material que surge como respuesta a la necesidad de envasar productos al menor costo posible, y con la mayor optimización tanto al preservar el producto como al transportarlo. Las ventajas concretas del uso del tetrabrik se presentan a continuación:

- **Costo:** envasar un líquido en un empaque de tetrabrik es más económico que el envasarlo en vidrio o botellas plásticas, por lo cual el uso del tetrabrik se ha vuelto masivo para casi todas las marcas de bebidas no carbonatas. Las bebidas carbonatadas no utilizan este tipo de empaque debido a que no soportaría adecuadamente la presión provocada por el gas de la bebida. La diferencia del costo entre un envasado de tetrabrik es de un 25 a 45 % menor que el envasado en botellas plásticas o de vidrio.⁹
- **Facilidad de transporte:** el empaque tetrabrik es ligero y delgado, puede adaptarse a la presentación del producto incluso en forma de paralelepípedo, para ser apilado, y

⁹ ROBEN, Eva. *Oportunidades para reducir la generación de desechos sólidos y reintegrar materiales recuperables en el círculo económico*. p. 12.

transportado sin desperdicio alguno de espacio dentro de contenedores e incluso en su puesto de venta, en exhibidores o anaqueles.

- Versátil: al ser un material flexible, es posible aplicar diseños específicos que representen de forma más específica la imagen de la marca dentro del mercado.

2.1.5. Producto obtenido

Se han preparado varios prototipos dentro de la línea de producción, hasta alcanzar el estándar actual de producto obtenido. La plancha oficial se compone de pequeñas trazas de poliestireno expandido, conocido por su nombre comercial como duroport, distribuido en el centro y capaz superior e inferior de la plancha, en la cual también se distribuye el tetrabrik triturado como componente principal. La plancha obtenida directamente del molde tiene dimensiones de 28 x 38 centímetros de base, a través de un grosor de 2,10 centímetros.

El tetrapanel CII es posteriormente maquinado para mejorar acabados en bordes y retirar el excedente de talco industrial o aceite mineral que puede estar adherido a las superficies que tuvieron contacto directo con el molde.

Debe considerarse que según el proyecto desarrollado el tamaño de los paneles puede variar hasta el límite de capacidad de espacio del horno, y la distribución de la presión en el proceso de compresión, por medio de piezas de metal.

Figura 20. **Tetrapanel CII recién fabricado**



Fuente: Sección de Gestión de la Calidad.

2.1.5.1. Descripción técnica

Se muestran los valores de dimensiones y esfuerzos determinados soportables por el Tetrapanel CII, valores a considerar para el diseño de los productos que se obtienen en la línea de producción de aglomerados.

Tabla III. **Descripción técnica del Tetrapanel CII**

Propiedad	Valor
Área	28 x 38cm
Grosor	2,10 cm
Masa de tetrabrik empleada	810 g
Masa de <i>duroport</i> empleada	20 g
Densidad promedio	0,3714 g/cc
Esfuerzo soportable a compresión	13,05 kg/cm ²
Esfuerzo soportable a compresión	185,61psi

Fuente: elaboración propia.

2.1.5.2. Aplicaciones

Una vez que el panel ha pasado por un proceso de limpieza y mejora de acabados, puede entonces formar parte del proceso de ensamblaje de alguna de las piezas que ya han sido diseñadas y fabricadas dentro de la línea de producción, algunas de estas piezas pueden ser muebles, desde sillas, mesas y estantes hasta su ensamblaje como prototipos de alternativas en materiales de fabricación, paredes y cielos falsos y también la implementación como un techo exterior amigable con el ambiente, de bajo costo y peso; por lo que sería apto para la construcción de casas modelo dirigidas a solucionar problemáticas sociales y económicas propias de grandes sectores poblacionales.

Esto se plantea inicialmente para probarse dentro del país, y de su perfeccionamiento es un diseño que podría utilizarse fuera de las fronteras del país, pero resguardando siempre el crédito de su creación y el objetivo de presentar una solución positiva para el ambiente y de un bajo costo.

Figura 21. **Productos elaborados con tetrapaneles CII**



Fuente: Sección de Gestión de la Calidad.

Figura 22. **Tejas fabricadas de tetrabrik**



Fuente: *Viviendo en la tierra*. <http://viviendoenlatierra.com/>.

Consulta: 10 de septiembre de 2015.

2.2. Descripción de maquinaria que conforma la línea

A continuación se muestran las fichas técnicas de cada uno de los equipos, especificando su funcionamiento, dimensiones e información sobre su procedencia.

Tabla IV. **Balanza de precisión**

Balanza de Precisión			
Área	Sección de Gestión de la Calidad		
Ubicación	Sección de Gestión de la Calidad		
Características			
Marca	RADWAG	Proveedor	PROMIQUIMICA
Modelo	PS 6000-C-1	Dirección	4av.15-70 z10. Ed. Paladium Of. 4D
núm. de Serie	359243	Teléfono	2366-4270/71
Especificaciones			
Funcionamiento	Eléctrico		
Potencia	0,25 W		
Capacidad	8000 g		
Voltaje	110 V		
Dimensiones			
Alto	10,0 cm		
Largo	31,3 cm		
Ancho	20,6 cm		
Función			
utilizada al medir muestras y proporciones de material para la fabricación de las planchas.			
Observaciones			
Rango de 0 a 8 000 g con resolución de 0,01 g. Plataforma de acero de 195 x 195 mm.			



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Horno de convección forzada

Horno de Convección forzada			
Área	Sección de Gestión de la Calidad		
Ubicación	Sección de Gestión de la Calidad		
Características			
Marca	SERPROMA	Proveedor	SERPROMA
Modelo	FS-3	Dirección	6av. 19-65 z11 Col. Mariscal
Núm. de Serie	101-022	Teléfono	2477-3175
Especificaciones			
Funcionamiento	Eléctrico		
Potencia	1 600 W		
Capacidad	3,8 pies cúbicos		
Corriente	18 A		
Dimensiones			
Alto	Ext. 32plg. Int. 22 plg.		
Largo	Ext. 16plg. Int. 12 plg.		
Ancho	Ext. 28.5plg Int. 24,5 plg		
Función			
Utilizado para el calentamiento y transformación de materia prima.			
Observaciones			
No aplica			



Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Molino para plásticos

Molino para plásticos			
Área	Sección de Gestión de la Calidad		
Ubicación	Sección de Gestión de la Calidad		
Características			
Marca	Universal	Proveedor	Universal
Modelo	JB 110	Dirección	Anillo periférico 4-15 zona 2
núm. de Serie	JB/T10391-2002	Teléfono	2473-3175
Especificaciones			
Funcionamiento	Eléctrico (Conexión trifásica)		
Potencia	7,5k W (10hp)		
Capacidad	400 kg		
Corriente	15,4 A (220V)		
Dimensiones			
Alto	1,25 m		
Largo	1,10 m		
Ancho	0,66 m		
Función			
Diseñado para realizar el triturado de materia prima, plástico, cartón y porcentajes de aluminio, que conforman el Tetrabrike.			
Observaciones			
No requiere mantenimiento, solamente limpieza general después de cada uso.			



Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Prensa neumática**

Prensa Neumática			
Área	Sección de Gestión de la Calidad		
Ubicación	Sección de Gestión de la Calidad		
Características			
Marca	MEGA	Proveedor	Solarsa S.A
Modelo	KPD-50 ^a	Dirección	3 Av. 5-05 zona 9
Núm. de Serie	955-KPD	Teléfono	2360-2035
Especificaciones			
Funcionamiento	Neumático y manual		
Potencia	No aplica		
Capacidad	50 toneladas		
Corriente	No aplica		
Dimensiones			
Alto	1,80 m		
Largo	0,88 m		
Ancho	0,77 m		
Función			
Función de compresión de hasta 50 toneladas sobre piezas procesadas dentro de la línea de producción.			
Observaciones			
Mesa de trabajo ajustable y palanca desmontable para su acoplamiento a un sistema neumático.			



Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Sierra de cinta**

Sierra de cinta			
Área	Sección de Gestión de la Calidad		
Ubicación	Sección de Gestión de la Calidad		
Características			
Marca	SHEPPACH	Proveedor	Solarsa S.A.
Modelo	14" BANDSAW	Dirección	3 Av. 5-05 zona 9
Núm. de Serie	51300039	Teléfono	2360-2035
Especificaciones			
Funcionamiento	Eléctrico		
Potencia	120V		
Capacidad	No aplica		
Corriente	3,5 A		
Dimensiones			
Alto	1,70 m		
Largo	0,58 m		
Ancho	0,44 m		
Función			
Diseñada para realizar procesos de corte en materiales como madera y aglomerados.			
Observaciones			
Parte del proceso de acabados tetrapaneles CII.			

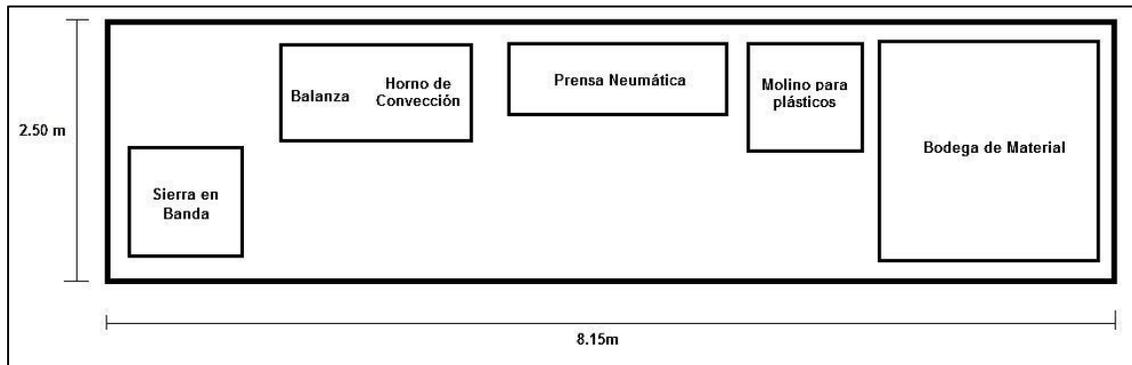


Fuente: elaboración propia.

2.3. Montaje actual de la línea de producción

La línea de producción de aglomerados se encuentra actualmente distribuida de la siguiente forma. Es necesario especificar que la balanza y el horno de convección se encuentran sobre el mismo mueble, el cual cumple con las especificaciones necesarias para establecer ambos equipos. Debe recordarse que la balanza aunque es parte del proceso productivo es un instrumento de precisión, por lo tanto no requiere las consideraciones de cimentación, anclaje y montaje propias de un equipo industrial.

Figura 23. **Montaje actual de la línea de producción**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Posibilidades de uso de fuerza neumática dentro del sistema

La fuerza neumática puede definirse como el empleo de aire o algún tipo de gas, para generar la energía necesaria para generar movimiento en equipos que apliquen la tecnología neumática.

Toda tecnología tiene como fin aumentar la productividad dentro de las actividades humanas, el uso de fuerza neumática ofrece grandes posibilidades según sea el ambiente en el que se requiere su utilización. Una de las ventajas más evidentes es que su fuente de energía, aire común en la mayoría de casos, es de una fuente infinita y que carece de costo al momento de ingresar al sistema.

Asimismo, la fuerza neumática puede ser utilizada tanto para generar trabajos como para integrar sistemas de control, y por lo tanto, automatizar o facilitar varias de las operaciones dentro de los procesos industriales.

En el caso de la línea de producción de aglomerados, la fuerza neumática puede ser empleada en el proceso de compresión de las planchas de aglomerado con base en material reciclado. Debido a que esta operación puede ser simplificada y optimizada, se plantea el uso de la prensa por medio de un sistema neumático, ya que es evidente que dentro de las ventajas este procedimiento no solo simplificará la operación de compresión, ya que además esta operación de la fabricación será realizada de manera más uniforme, con lo que podrá mejorarse la calidad de los paneles producidos, es importante destacar que los paneles serán utilizados como piezas de ensamble para muebles y otros usos, por lo cual la uniformidad en grosor y tamaño es de suma importancia, para lograr el ajuste ideal de piezas.

La implementación de fuerza neumática es adaptable a casi cualquier sistema productivo, además la necesidad de automatizar todas las operaciones posibles del ciclo productivo afecta tanto a grandes empresas, como a las medianas o empresas artesanas, que deben estandarizar sus pequeñas producciones, para mejorar los costos y reducir los desperdicios de material, mano de obra y tiempo invertido en cada artículo fabricado.

Las posibilidades de implementación de fuerza neumática se extienden a otros tipos de operación dentro de la línea de producción, se tiene contemplado implementar un sistema neumático de pintura para mejorar el acabado final de la producción.

Debido a las aplicaciones de fuerza neumática dentro de la línea de producción, se prevé el uso de un compresor cuya capacidad debe soportar tanto la demanda de trabajo de la prensa, como del sistema de pintura y, adicionalmente debe considerarse una holgura en su capacidad, para satisfacer el crecimiento de la línea y la implementación de otros sistemas neumáticos,

conforme se produzcan nuevos diseños de productos, generados a partir de material de reciclaje.

Figura 24. **Herramientas neumáticas**



Fuente: *Reparación de herramientas*. <http://suministros.pegamo.mx/>. Consulta: 12 de septiembre de 2015.

Entre las herramientas que pueden ser accionadas por medio del compresor se encuentran: martillos, pistolas de impacto, aerógrafos, infladores, sistemas de aire acondicionado, también se complementan en su ciclo por medio de un compresor.

2.4.1. Prensa

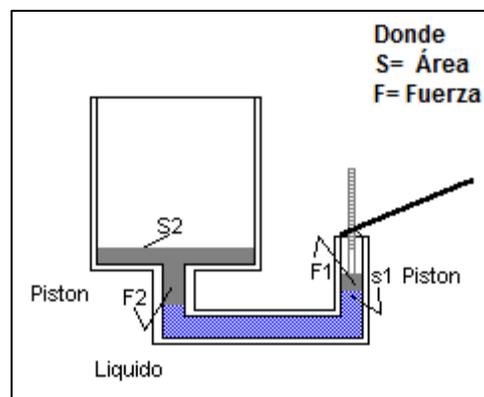
Una prensa es un dispositivo creado para aplicar una magnitud de presión sobre un objeto determinado. Por ello es una herramienta de amplio uso ya que debido a las necesidades de realizar trabajos específicos, se han desarrollado varios tipos accionados por distintos mecanismos.

La mayoría de prensas están diseñadas para trabajos como la flexión, compresión, troquelado y compresión. Estas tareas pueden ser realizadas sobre diversos materiales, desde madera y papel hasta metales, aleaciones materiales polímeros y porosos.

2.4.1.1. Clasificación por su funcionamiento

- **Hidráulicas:** su funcionamiento se genera por medio de la presión transmitida a través de fluidos, pueden generar enormes cargas de compresión por lo que son recomendadas para trabajos industriales sobre materiales de grosores y resistencias amplias. Es importante recalcar que requieren un mantenimiento adecuado, ya que ninguno de sus elementos puede descuidarse ante el riesgo de perder las condiciones específicas para soportar la transmisión de cargas.

Figura 25. **Funcionamiento de prensa hidráulica**

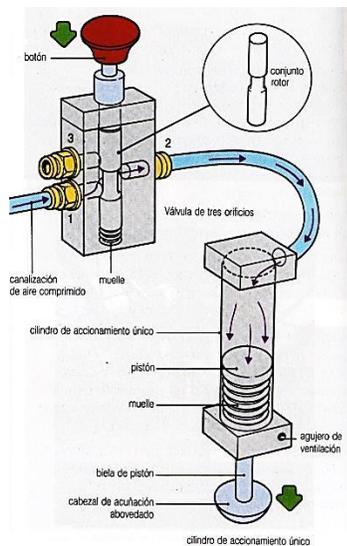


Fuente: *Página nueva 1*. www.ono.com. Consulta: 18 de septiembre de 2015.

- **Neumáticas:** pueden generar presiones de grande y mediana magnitud, a través de la compresión de gases o aire previamente comprimidos por

medio de un sistema neumático basado en la generación de potencia por medio de la compresión. Su mantenimiento y costo general es menor que el de las prensas hidráulicas, logrando generar trabajos y presiones que pueden ser igualmente adecuados a la tarea requerida. La prensa adquirida por la Sección de Gestión de la Calidad, tiene la posibilidad de funcionar por medio de fuerza neumática, que será mucho más adecuado para la línea de producción, que un proceso de tipo manual.

Figura 26. **Funcionamiento de prensa neumática**



Fuente: *Neumática I*. www.iesbajoaragon.com. Consulta: 19 de septiembre de 2015.

- Manuales: poseen una palanca o pedal por medio del cual el operario suministra directamente la energía que se aplicara en la compresión. Cada elemento debe ser correctamente ensamblado pues se presenta un alto riesgo para el operario si la pieza no estuviese correctamente ubicada. Este tipo de prensas es muy útil en talleres del tipo artesanal, debido al tiempo y esfuerzo que emplea en utilizarla, lo que puede

afectar el ritmo de producción cuando se requieren muchos artículos de características similares.

Figura 27. **Funcionamiento prensas manuales**



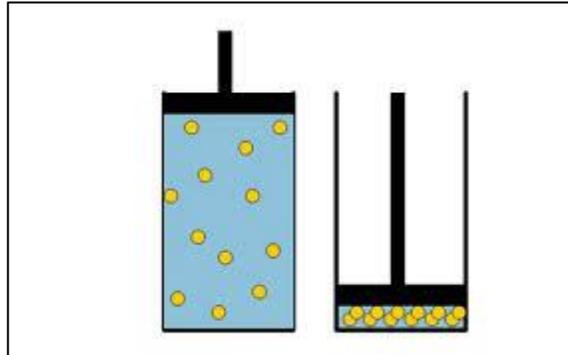
Fuente: *Prensas manuales Navarry*. www.interempresas.net.

Consulta: 20 de septiembre de 2015.

2.4.1.2. Compresor

Un compresor dentro de la línea ofrece nuevas y grandes posibilidades de realizar trabajos más precisos para el trabajo general con aglomerados, y más específicamente para realizar de una manera uniforme y eficiente el proceso de compresión de las planchas de aglomerado.

Figura 28. **Compresión de aire**



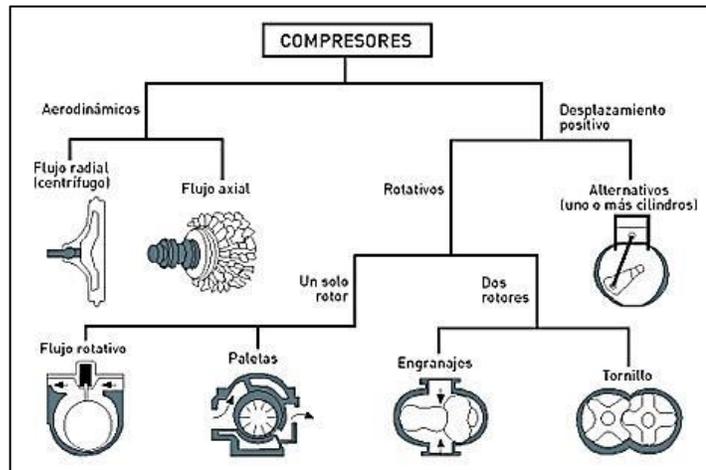
Fuente: *Neumática I*. www.interempresas.net. Consulta: 21 de septiembre de 2015.

2.4.1.3. Especificaciones

Existen compresores de capacidades y sistemas de funcionamiento muy específicos para ser puestos en funcionamiento dentro de sistemas neumáticos industrializados o de magnitudes más específicas.

En general se muestra a continuación la clasificación de compresores con base en su mecanismo de funcionamiento. A partir de esta clasificación general pueden determinarse los factores a considerar para su correcta selección.

Figura 29. **Clasificación general de compresores**



Fuente: DOMINGUEZ, Josefina. UNEFA Dinamica de Gases IM: COMPRESORES.
<http://dinagasunefaim.blogspot.com/>. Consulta: 24 de agosto de 2015.

Para la selección de un compresor adecuado para la línea se consideran los factores principales que determinan la capacidad, costo, adaptación y desempeño. Es elemental determinar específicamente para qué tareas se requiere su adquisición.

Un compresor de pequeñas dimensiones y baja presión puede ser suficiente para un sistema de aerografía, mientras en una industria o taller se debe considerar el tiempo de trabajo, presiones y temperaturas de trabajo y entrega, para lograr el diseño de un sistema neumático eficiente. Los factores a considerar se describen a continuación:

- Capacidad: de un compresor se mide siempre en CFM (Cubic Feet per Minute) que especifica en idioma español, los pies cúbicos por minuto que el compresor es capaz de suministrar. También debe especificarse

por parte del fabricante a que presión el compresor es capaz de realizar esta entrega de potencia.

- Costo: una correcta selección debe considerar confiabilidad y acompañamiento del proveedor o fabricante. El costo inicial debe considerar garantías y costo de reparación y adquisición de repuestos, el cual depende de las características del aparato y del fabricante.
- Estado: en la selección de un equipo se debe evaluar si el estado en que adquiere el equipo incluye garantías y tiempo estimado de vida útil, el estado en que puede ser adquirido es:
 - Nuevo: incluye la cobertura completa de garantía.
 - Reacondicionado: incluye garantías parciales a un costo menor, pero es un equipo que ya ha sido utilizado y revisado para su reventa.
 - Usado: es el tipo de equipo de menor costo dentro del mercado. Sin embargo, al no presentar garantías, puede ser considerado como una inversión de alto riesgo.
- Temperatura: debe considerarse la temperatura de trabajo del compresor, pues esta determina también la temperatura de entrega del suministro de aire, lo cual puede afectar de forma positiva o negativa los equipos conectados a la línea. La mayoría de compresores trabajan a temperaturas que oscilan entre los 15 y 200 grados Celsius.
- Presión Interna: dos presiones son indicativos indispensables para la selección de una bomba de aire, la presión interna y la presión de entrega. La presión que maneja es dependiente del tipo de

funcionamiento, un parámetro del límite de presión general oscila entre 100 y 300 psi.

- **Presión de trabajo:** la presión interna del compresor afecta directamente en la temperatura del flujo de aire, mientras que la presión de trabajo determina junto al dato de CFM si la capacidad del compresor es suficiente para los equipos que se desean conectar. Esta presión nunca será superior a la presión lograda internamente, que generalmente oscila entre 100 y 300 psi.
- **Pureza del flujo de aire:** después de un proceso de compresión el gas queda impregnado de partículas lubricantes, polvo y ciertos grados de humedad nocivos para los aparatos a los que se enviará. Ciertos mecanismos reducen la cantidad de partículas en el flujo de aire. Por este factor siempre se considera incluir un paso del filtrado previo al ingreso del gas al sistema, este filtrado puede ser realizados a diferentes escalas, y en varias fases hasta obtener la limpieza adecuada de partículas, polvo y humedad. La pureza del aire se mide en porcentajes de humedad, aptos según la función, así como en tamaño de partículas medidas en micrómetros (μm).
- **Mecanismo de funcionamiento:** le mecanismo determina la posibilidad y costo de fallas, además de riesgos y condiciones de operación.

2.4.1.4. Usos recomendados

Un compresor o bomba de aire es un equipo que puede ser ampliamente empleado para:

- procesos productivos: en las operaciones de envasado, embalaje, limpieza, secado y aumentos o disminuciones de presión y humedad.
- Acabados: por medio del flujo de aire y arena para pulir superficies, retirar residuos y aplicar pinturas y aditivos.
- Automatización: la energía neumática puede ser empleada para el funcionamiento de actuadores, válvulas y sensores, que basan su funcionamiento en la detección de variables como temperaturas y velocidades y presiones, o que reciben órdenes por medios electrónicos y deben realizar una tarea mecánica para lo cual el flujo de aire comprimido es una opción eficaz, de bajo costo y limpia.
- Minimizar tareas: los compresores pueden aminorar cargas en el trabajo de talleres y trabajos muy específicos, ya que son fuente de potencia para una gran variedad de máquinas herramientas, prensas, tornillos o martillos neumáticos, son algunos ejemplos. Operaciones de insuflado de accesorios.

“Los fabricantes de compresores siempre recomiendan que, una vez el usuario haya establecido el consumo real de su planta, este sea repartido en dos o más equipos con el fin de no depender de uno solo.”¹⁰

Por ellos la primera parte de la planificación de la línea de compresión será determinar la capacidad del compresor requerido, y a partir de este valor platear el funcionamiento y montaje de la línea que sea capaz de proveer el

¹⁰ BRAVO OCAMPO, Oscar Alberto. <http://www.revista-mm.com/>. Consulta: 8 de agosto de 2015.

flujo de aire en la presión requerida por la prensa y tener un excedente de potencia adecuado para la futura conexión de un equipo de aerografía.

3. PROPUESTA PARA GESTIONAR Y DISEÑAR EL MONTAJE

3.1. Evaluación de necesidades, propuesta y alcance

Dentro de cualquier actividad con objetivos productivos es necesario planificar la secuencia de actividades que determinan desde el producto, la estructura organizacional necesaria para alcanzar el objetivo establecido y cómo se ubicarán y funcionarán todos los elementos productivos que además, deberán estar coordinados entre sí para operar adecuadamente.

Dentro de la actividad productiva debe existir un proceso de revisión periódica de las condiciones de trabajo e instalación, ya que siempre se presentan oportunidades de mejora que benefician a toda la organización.

Por ellos se plantea la gestión y el diseño del montaje de la línea de producción de aglomerados que fue instalada sin una planificación previa, y por lo tanto existe una gran oportunidad de mejora a través de su correcto montaje.

3.1.1. Área de cimentación

La correcta cimentación en toda obra ingenieril garantizará el correcto funcionamiento de la obra tanto civil, como eléctrica o mecánica.

El enfoque que se plantea es específicamente para la cimentación de maquinaria. Una apropiada cimentación impactará positivamente en los siguientes aspectos:

- Adecuado funcionamiento: el equipo instalado en una cimentación adecuada tendrá la estabilidad necesaria para las funciones que realiza.
- Reducción de vibración: el diseño de la cimentación permite distribuir de manera uniforme las vibraciones propias de los mecanismos durante operación, por lo cual la maquinaria operará con menos ruido, y en el proceso productivo se incrementará la precisión.
- Prolongación de la vida útil del equipo: al reducirse las vibraciones se garantiza un menor impacto entre las piezas internas del mecanismo, con ello se reducen los tipos de desgaste que aceleran el deterioro, incluso es posible evitar desgastes innecesarios como a abrasión y adhesión surgida por el contacto continuo entre metales que están en constante movimiento.

Para cada uno de estos equipos se considera dos factores determinantes para definir su cimentación: el peso que cada equipo posee y el tipo de cargas producidas debido a la naturaleza de su funcionamiento.

El diseño final se observa en la figura 40, posterior a la realización de cálculos.

3.1.1.1. Cimentación sometida a esfuerzos estáticos

En esta se considera como mayor carga el propio peso del equipo, además del peso propio del cimiento.

La carga producida por el peso del equipo, puede estar ubicado en el centro de gravedad del mismo, el cual se ubica con base en la geometría y distribución de masa. Existe la posibilidad de que pueda estar ubicado en el centro de la base de la maquinaria, o presentar algún tipo de excentricidad entre el centro geométrico de la base, y el punto en el que se ubica el centro de gravedad. Después de un análisis de los movimientos producidos durante las posibles operaciones de la maquinaria, debe establecerse si también se generan torques respecto a la base de la maquinaria. De ser el caso deberá añadirse esta carga al diseño estático.

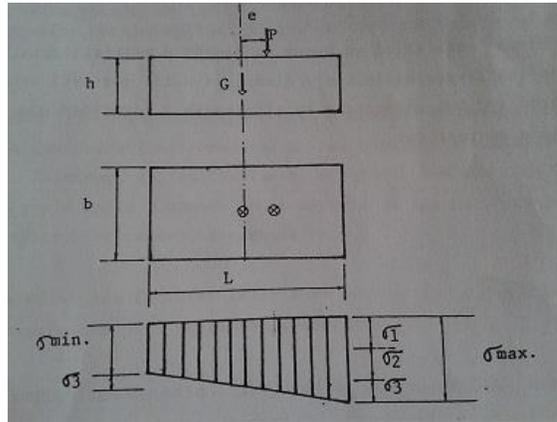
Si la carga del peso del equipo presenta excentricidad, se presentan dos posibles casos en los cuales el cálculo de las tensiones depende de la relación entre el valor de la excentricidad y la longitud de la base del equipo.

- Si la excentricidad es menor o igual al sexto de la longitud de la base

La reacción por medio de la cual el terreno soporta a la maquinaria es representada por medio de un trapecio de tensiones que considera:

- La tensión propia del peso.
- La tensión producida por el peso del cimiento.
- La tensión producida por el momento de la excentricidad respecto al punto base de la maquinaria.

Figura 30. **Distribución de tensiones cuando $e < L/6$**



Fuente: CORONADO FLORES, Rafael Horacio. *Principios de diseño de cimentación de maquinaria industrial*. p. 3.

De donde se consideran los siguientes valores:

$$\sigma_1 = \frac{G}{b \cdot L} \text{ Donde el valor } \mathbf{G}, \text{ es el peso del cimiento}$$

$\sigma_2 = \frac{P}{b \cdot L}$ Donde \mathbf{P} , es una carga cuando está siendo aplicada en el centro de gravedad del cimiento, y se considera la excentricidad de este.

Si se considera el valor de \mathbf{P} , también debe considerarse la tensión originada por el momento de la carga \mathbf{P} con el brazo \mathbf{e} .

$$\sigma_3 = \pm \frac{6Pe}{L^2 b}$$

Así es como se componen los valores de esfuerzos máximos y mínimos

estáticos:

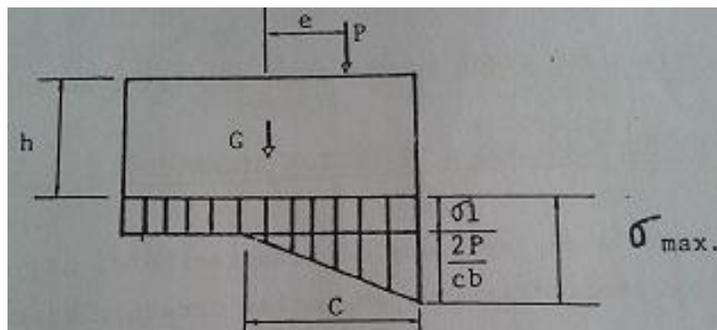
$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

$$\sigma_{\min} = \sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_3$$

- Si la excentricidad es mayor o igual al sexto de la longitud de la base

En este caso las tensiones que deberán ser soportadas se representan por medio de un triángulo de tensiones en el cual se incluye el momento provocado por la excentricidad. Con base en esto se tiene los siguientes valores:

Figura 31. **Distribución de tensiones cuando $e > L/6$**



Fuente: CORONADO FLORES, Rafael Horacio. *Principios de diseño de cimentación de maquinaria industrial*. p. 4.

El esfuerzo mínimo puede ser calculado entonces de la siguiente forma:

Para este caso se debe formular el siguiente planteamiento:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \frac{2P}{3\left(\frac{L}{2} - e\right)b}$$

Y el momento equivalente del cimiento será:

$$M_{eq.} = P \cdot e \pm F \cdot r$$

La excentricidad equivalente será:

$$e' = \frac{P \bullet e \pm F \bullet r}{P} \quad \text{y el valor de } C' \text{ será: } C' = 3 \left(\frac{L}{2} - e' \right)$$

El valor del esfuerzo máximo cuando $e \leq L/6$ es:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \sigma_2 + \frac{6Meq}{b \bullet L^2}$$

Y en el caso de ser $e < L/6$ sera:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 + \frac{2P}{3 \left(\frac{L}{2} - e' \right) b}$$

Nota: en caso de que la excentricidad presente un valor exactamente igual al del parámetro establecido se recomienda siempre tomar la segunda condición, con esto se garantizará el diseño de una cimentación donde el valor del torque producido podría ser un poco mayor al real, pero nunca menor al que ya ha sido considerado.

3.1.1.2. Cimentación sometida a esfuerzos dinámicos

En una gran mayoría de equipos es necesario considerar la existencia de esfuerzos dinámicos. Esto dependerá directamente del movimiento producido en operación, las cuales pueden producir fuerzas de desequilibrio que dan origen a las cargas dinámicas.

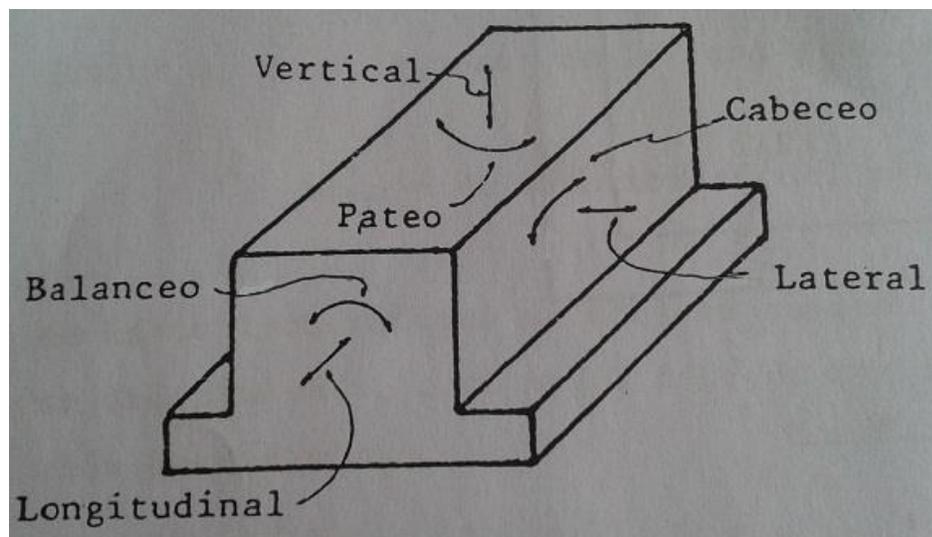
Los esfuerzos dinámicos son generados principalmente por:

- Choques aislados: movimientos bruscos e irregulares de martinets o machacadoras, así como las paradas repentinas del mecanismo.

- Fuerzas oscilatorias: estas son fuerzas generadas por el movimiento cíclico interno de la maquinaria, pueden ser en ciclos verticales, horizontales o circulares. Como ejemplo de un ciclo vertical puede mencionarse el movimiento interno de los pistones de un motor, y en el caso de una lavadora industrial se producen fuerzas rotacionales, que pueden ser calculadas por medio de la descomposición de sus componentes horizontal y vertical.

Para el diseño de la cimentación considerando las cargas dinámicas se considera a la maquinaria junto a su cimiento como un bloque, y asumiendo que la base que soporta al conjunto posee algún grado de elasticidad, propia del terreno o añadida con algunos elementos intermedios entre la cimentación y el suelo.

Figura 32. **Posibles cargas dinámicas a considerar**



Fuente: CORONADO FLORES, Rafael Horacio. *Principios de diseño de cimentación de maquinaria industrial*. p. 6.

En la figura 11 se muestran las clasificaciones de movimientos, que pueden ser rotacionales o traslacionales.

Tabla IX. **Clasificación de cargas dinámicas**

Movimiento traslacional	Movimiento rotacional
Vertical	Balanceo
Longitudinal	Cabeceo
Lateral	Pateo

Fuente: elaboración propia.

Cada una de estas cargas, debe ser sustituida por un esfuerzo simplificado y estático que represente los valores de esfuerzo generados.

Para el análisis de traslación se puede utilizar el método de Dominik Barkan que hace la suposición de simplificar del sistema máquina-cimiento-suelo. Previo a realizar esta parte de los cálculos debe determinarse por medio de observación y los valores de cargas del equipo, si se presenta alguna de las cargas dinámicas definidas.

3.1.1.3. Vibraciones

Las vibraciones producidas por un equipo deben ser analizadas detenidamente. En la práctica el diseño sobre vibraciones debe desarrollarse a partir de: coeficientes de vibración, coeficiente de tensión, el valor de desplazamiento elástico del cimiento, y otros coeficientes de compresión elástica.

A partir de estos valores es posible considerar el estudio de las vibraciones que para este proyecto, se consideran despreciables y serán

amortiguadas por medio de material elástico antivibraciones, al momento de realizar el anclaje.

La vibración producida por la sierra en banda y el molino serán tratadas para este proyecto, como una molestia sonora y que a un plazo extremadamente largo, puede contribuir al desgaste ordinario de cualquier equipo que entra en función regularmente.

Las soluciones antivibrantes del mercado ya ofrecen materiales que se adquieren con base en el esfuerzo promedio estimado para la maquinaria, y que se enfocan directamente en aislar vibración y sonido. A continuación se muestran algunos de los valores disponibles en el mercado.

Tabla X. **Valores disponibles de anti vibrante**

0,11 kg/cm ²	1,1 kg/cm ²
0,18 kg/cm ²	2,2 kg/cm ²
0,28 kg/cm ²	4,5 kg/cm ²
0,42 kg/cm ²	8,5 kg/cm ²
0,55 kg/cm ²	12 kg/cm ²

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. **Diseño de la cimentación**

- Evaluación del terreno

Cuando el proyecto cuenta con maquinaria de proporciones y cargas altas en relación al soporte común del suelo, o cuando se duda de la capacidad del terreno para satisfacer los requerimientos de construcción, debe realizarse un estudio del subsuelo del área previo a realizar el diseño.

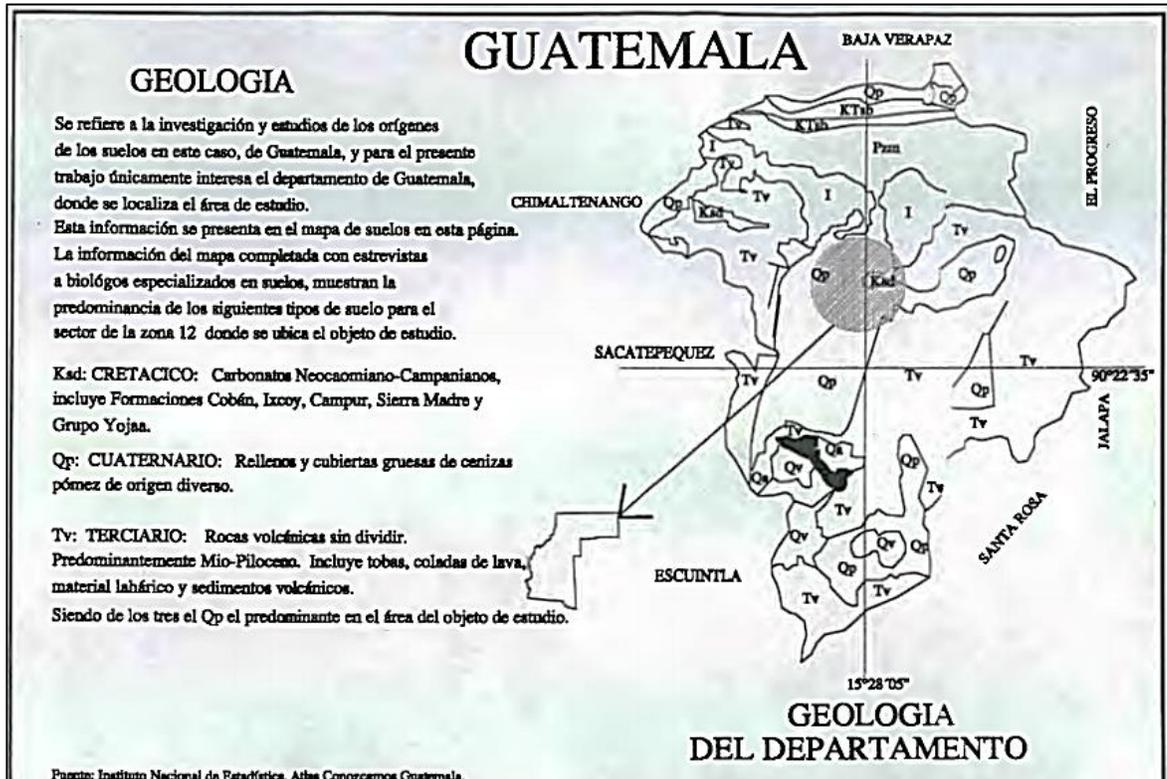
En el caso de la Sección de Gestión de la Calidad, fue construida dentro del campus universitario, el área fue previamente evaluada antes de iniciar la construcción de varias secciones pertenecientes al Centro de Investigaciones. No existe agua subterránea en el área de la cimentación, ni en áreas aledañas a la construcción de la sección.

Por ello con base en el análisis de sitio, realizado por Alenka Barreda Taracena en la tesis *Propuesta para el crecimiento urbano del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala zona 12, 2000-2020*, el tipo de terreno dentro del campus, pertenece a la categoría de suelo III, compuesto por arcillas, grava, incluso existe predominio de roca, lo que se clasificaría como un terreno de tipo IV.¹¹

Pero guardando las recomendaciones de la bibliografía consultada, es preferible tomar valores conservadores de diseño, así se asegura que el cimiento cumplirá con el objetivo estimado, y que siempre se debe priorizar seguridad en el diseño. Incluso en cuestión de costos es mejor opción asumir valores conservadores previamente estimados, que el estudio de variables como el estudio del suelo, claro, el método dependerá de las magnitudes de diseño y cargas a cimentar.

¹¹ BARREDA TARACENA, Alenka. *Propuesta para el crecimiento urbano del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala zona 12, 2000-2020*. p. 36.

Figura 33. Suelos en el departamento de Guatemala



Fuente: *Instituto Nacional de Estadística. Conozcamos Guatemala. 2000.*

Tabla XI. **Valores de diseño para suelos bajo cargas estáticas**

Categoría de Suelo	Grupo de suelos	Carga Permisible (kg/cm^2)	Coefficiente de compresión elástica uniforme (kg/cm^3)
I	Suelos poco resistentes (arcillas fangosas con arena en estado plástico); barro y arena fangosa. También suelos de categoría II y III con capa orgánica y turba	0-1,5	0-3,0
II	Suelos de resistencia media (arcillas y arcillas fangosas cerca del límite plástico, arenas)	1,5-3,5	3,0-5,0
III	Suelos fuertes (arcillas y arcillas fangosas con arena de consistencia dura; grava y arena gravosa; marga y suelos margosos)	3,5-5,0	5,0-10,0
IV	Roca	Mayor a 5,0	Mayor a 10,0

Fuente: CORONADO FLORES, Rafael Horacio. *Principios de diseño de cimentación de maquinaria industrial*. p. 31.

- **Determinación de cargas y dimensiones de la maquinaria**

Existen varios métodos de análisis para determinar los valores de cimentación dependiendo del tipo de maquinaria y suelo. Se considerarán los aspectos de cargas estáticas y dinámicas anteriormente mencionados, al tratarse de equipos de baja carga relativa a la carga permisible del tipo de suelo. Cuando no se cuenta con todos los datos el ingeniero debe realizar cálculos conservadores sin obviar el análisis de todos los detalles. Para comenzar se establece la estimación del valor del peso del cimiento, que excede generalmente un 50 % el peso de la máquina; y esa relación brinda un valor admisible para el diseño.

Otra consideración si el espacio es reducido, es diseñar una única losa para cimentar varias máquinas a la vez, lo cual reduce esfuerzos en el

subsuelo. Derivados del cambio de presión generado al tener distintos esfuerzos distribuidos en áreas diferentes.

- Para definir si es necesario el diseño de un cimiento especial

Los diseños de cimentación son fundamentales en la instalación de todo tipo de maquinaria. Sin embargo, algunos tipos de equipo pueden generar cargas de gran tamaño y otros tipos pueden ser muy pequeños para requerir un diseño especializado, como en cualquier actividad ingenieril, los adjetivos grande o pequeño deben estar sujetos a un parámetro cuantitativo de comparación.

Las dimensiones entonces, son comparadas con el valor de soporte del suelo del área de cimentación. Estos valores comparan la carga que se soporta por unidad de área.

Para el área de ubicación de la línea de producción se tiene un tipo de suelo III, es un suelo fuerte con una carga permisible de entre 3.5 y 5 kg/cm² de soporte.

Se tomará el valor más pequeño como el valor de diseño. Por lo tanto se determinará un valor aparente del esfuerzo que cada equipo ejerce en el suelo, distribuyendo el valor de carga en la dimensión del área de la base del equipo.

$$Esfuerzo\ total = \frac{Carga}{(largo * ancho)}$$

Con base en el valor aparente que de esfuerzo que cada equipo genera se procede a determinar cuáles requieren un diseño de cimentación y el esfuerzo que la misma debe soportar.

Para maquinarias de grandes magnitudes, donde el diseño de la cimentación es crítico para amortiguar riesgos en la estructura de la planta, las cargas dinámicas pueden contribuir a generar agrietamientos y fallas que dañan el equipo y ponen en riesgo el capital humano del sistema productivo.

Cuando el equipo se considera muy pequeño, es innecesario plantear el esfuerzo por cargas móviles, el procedimiento planteado es el dar el mismo valor de esfuerzo a las cargas dinámicas que a las cargas estáticas, ya que suponiendo cargas extremas de torques y vibración, ninguno de estos esfuerzos aislado puede superar al esfuerzo estático propio del equipo.

$$Esfuerzo\ Total = Esfuerzo\ Aparente + n(esfuerzo\ aparente)$$

Donde el valor de **n** representa el número de cargas dinámicas presentes en el equipo.

- Balanza de precisión

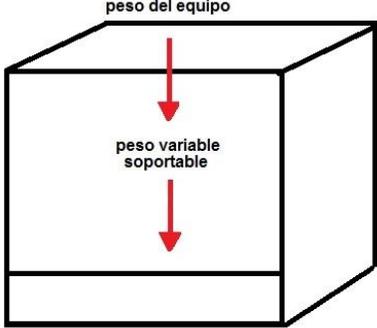
Tabla XII. **Esfuerzo aparente para la balanza de precisión**

<p>Cargas estáticas: Masa del equipo: 6 kg Capacidad del equipo: 6 kg Total de carga estática: 12 kg</p>	<p style="text-align: center;">Diagrama</p>  <p style="text-align: center;">Balanza</p>
<p>Cargas dinámicas: Ninguna</p>	
<p>Dimensiones de la base del equipo: Largo: 31,3 cm Ancho: 20,6cm</p>	
$Esfuerzo = \frac{12 \text{ kg}}{(31,3\text{cm} \times 20,6\text{cm})} = 0,018610 \text{ kg/cm}^2$	

Fuente: elaboración propia.

- Horno de convección forzada

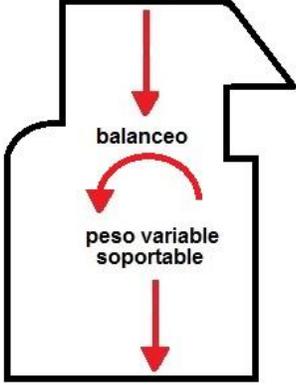
Tabla XIII. **Esfuerzo aparente para el horno de convección**

<p>Cargas estáticas: Masa del equipo: 140 kg Capacidad del equipo: 30 kg Total de carga estática: 170 kg</p>	<p style="text-align: center;">Diagrama</p> 
<p>Cargas dinámicas: Ninguna</p>	
<p>Dimensiones de la base del equipo: Largo: 72,39 cm Ancho: 40,64 cm</p>	
$Esfuerzo = \frac{170 \text{ kg}}{(72,39\text{cm} \times 40,64 \text{ cm})} = 0,05778 \text{ kg/cm}^2$	

Fuente: elaboración propia.

- Molino para plásticos

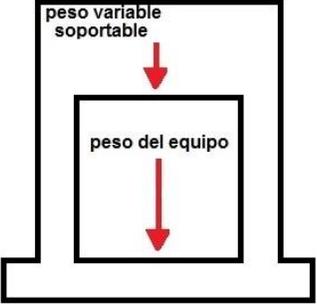
Tabla XIV. **Esfuerzo aparente para el molino de plásticos**

<p>Cargas estáticas: Masa del equipo: 160 kg Capacidad del equipo: 50 kg Total de carga estática: 210 kg</p>	<p style="text-align: center;">Diagrama</p> 
<p>Cargas dinámicas: Balanceo</p>	
<p>Dimensiones de la base del equipo: Largo: 110 cm Ancho: 66 cm</p>	
<p style="text-align: center;">$Esfuerzo = \frac{210 \text{ kg}}{(110 \text{ cm} * 66 \text{ cm})} = 0,02892 \text{ kg/cm}^2$</p>	

Fuente: elaboración propia.

- Prensa neumática

Tabla XV. **Esfuerzo aparente para la prensa neumática**

<p>Cargas estáticas: Masa del equipo: 172 kg Capacidad del equipo: 50 kg Total de carga estática: 210 kg</p>	<p style="text-align: center;">Diagrama</p> 
<p>Cargas dinámicas: Ninguna</p>	
<p>Dimensiones de la base del equipo: Largo: 88 cm Ancho: 77 cm</p>	
<p style="text-align: center;">$Esfuerzo = \frac{210 \text{ kg}}{(71.0 \text{ cm} * 48.6 \text{ cm})} = 0.06086 \text{ kg/cm}^2$</p>	

Fuente: elaboración propia

- Sierra en banda

Tabla XVI. **Esfuerzo aparente para la sierra**

Cargas estáticas: Masa del equipo: 160 kg Capacidad del equipo: 50 kg Total de carga estática: 210 kg	<p style="text-align: center;">Diagrama</p>
Cargas dinámicas: Ninguna	
Dimensiones de la base del equipo: Largo: 58 cm Ancho: 44 cm	
$Esfuerzo = \frac{210 \text{ kg}}{(58 \text{ cm} \cdot 44 \text{ cm})} = 0,08228 \text{ kg/cm}^2$	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Cargas a considerar para la cimentación**

Equipo	Esfuerzos estáticos	Esfuerzos dinámicos	Observaciones
Balanza de precisión	0,018610 kg/cm^2	No aplica	Por ser un equipo de alta precisión debe ubicarse sobre una mesa de trabajo.
Horno de convección	0,05778 kg/cm^2	No aplica	Debe ubicarse a la altura de trabajo del operario. Altura recomendada: 110 cm.
Molino para plásticos	0,02892 kg/cm^2	0,02892 kg/cm^2	La cimentación estará enfocada en dar soporte al anclaje.
Prensa neumática	0,06086 kg/cm^2	No aplica	La cimentación estará enfocada en dar soporte al anclaje.
Sierra en banda	0,08228 kg/cm^2	No aplica	La cimentación estará enfocada en dar soporte al anclaje.

Fuente: elaboración propia.

- Lineamientos para definir la propuesta

Para cualquier equipo se debe diseñar una cimentación capaz de soportar las cargas que se presentan durante su funcionamiento y tiempo de espera. Para el caso de la línea de producción de aglomerados del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, se establecieron los valores aproximados de cargas de trabajo, tanto estáticas como dinámicas. Varios de los equipos no requieren un diseño de cimentación específico ya que, por la naturaleza de su funcionamiento y peso, no generan cargas considerables para un diseño de cimentación específico.

Los diseños de cimentación son generalmente utilizados para la instalación de equipos que exceden el valor mínimo de carga permisible.

Para el caso de la línea de producción de aglomerados el valor mínimo de carga que alguno de los equipos y sus cargas variables debería generar sobre el suelo es de: $3,5 \text{ kg/cm}^2$.

Se propone entonces un único cimiento para las tres maquinarias que presentan el mayor esfuerzo y por lo tanto necesitan una cimentación enfocada a permitir que el posterior anclaje sea sólido.

A continuación se muestra una tabla comparativa sobre las ventajas y desventajas que se presentan al diseñar un cimiento compartido.

Tabla XVIII. **Sobre un cimiento compartido**

Ventajas	Desventajas
Costo: el costo de implementar un único diseño es menor que el diseñar cada cimiento por separado.	Costos ocultos: la cimentación debe sustentar el mayor esfuerzo, por lo que existe la posibilidad de que la cimentación sea más costosa de lo que sería al hacer un diseño individual.
Ajuste a espacios reducidos: cuando el espacio entre cimientos es menor al propio grosor del cimiento, se reducen puntos de tensión que pueden afectar todas las estructuras de cimentación cercanas.	Deterioro acelerado: aunque el diseño contempla los esfuerzos de cada equipo, el desgaste siempre será mayor, y afectara a todos los equipos.
Soporte mejorado: dependiendo de las funciones del equipo un único cimiento puede dispersar adecuadamente las cargas y vibraciones provocadas.	Inadecuado para cargas dinámicas oscilatorias: las oscilaciones de gran magnitud pueden maximizarse a través de los equipos.

Fuente: elaboración propia.

- Masa del cimiento:

Ya que no se diseñarán cimientos adaptados a esfuerzos específicos. Se consideran criterios generales de cimentación. En ellos se especifican las siguientes masas para el cimiento según la actividad general de la maquinaria:

- La masa del cimiento debe ser el doble que la de la maquinaria cuando esta sometida a cargas estáticas.
- De dos a tres veces la masa de la maquinaria cuando esta presenta movimientos que crean fuerzas centrífugas.
- De tres a cinco veces la masa de la maquinaria si esta presenta movimientos oscilantes.

- Grosor del cimientto debe ser mayor que
 - 1/5 de la dimensión más pequeña del cimientto
 - 1/10 de la dimensión mayor del cimientto

Los lineamientos generales tambien especifican que un 80 % del grosor del cimientto debe permanecer empotrado en el suelo.

- Masa del cimientto

Considerando la estabilidad al cambio volumetrico y la uniformidad que debe presentar el cimientto para evitar grietas, se aconseja una proporción de mezcla de concreto que incluya: 1 parte de cemento, 2 ½ partes de arena y 4 ½ partes de grava o roca triturada. El cemento debe poseer además un peso unitario alto, de entre los tipos de cemento se recomienda para cimentaciones emplear cemento tipo IV, de bajo calor de hidratación.

- Por cada metro cúbico de mezcla debe utilizarse 161 litros de agua, 236 kg de cemento, 530 kg de arena y 985 kg de grava de 5 a 6,5 cm de diámetro.
- Es importante considerar también que los agregados deben mezclarse de manera continua e inicialmente se recomienda mezclar todo en seco.
- En el momento en que el cimientto sea completamente formado con su refuerzo y pernos de anclaje, debe permanecer tres horas con la formaleta.
- La parte superior donde descansará la maquinaria debe ser correctamente alisada y el cimientto debe permanecer humedo

entre 4 y 7 días, para asegurar que los cambios volumétricos sean pausados y de pequeñas magnitudes, lo que permitira obtener un cimiento unificado.

- Propuesta

Se propone cimentar una única plancha que albergue los siguientes equipos:

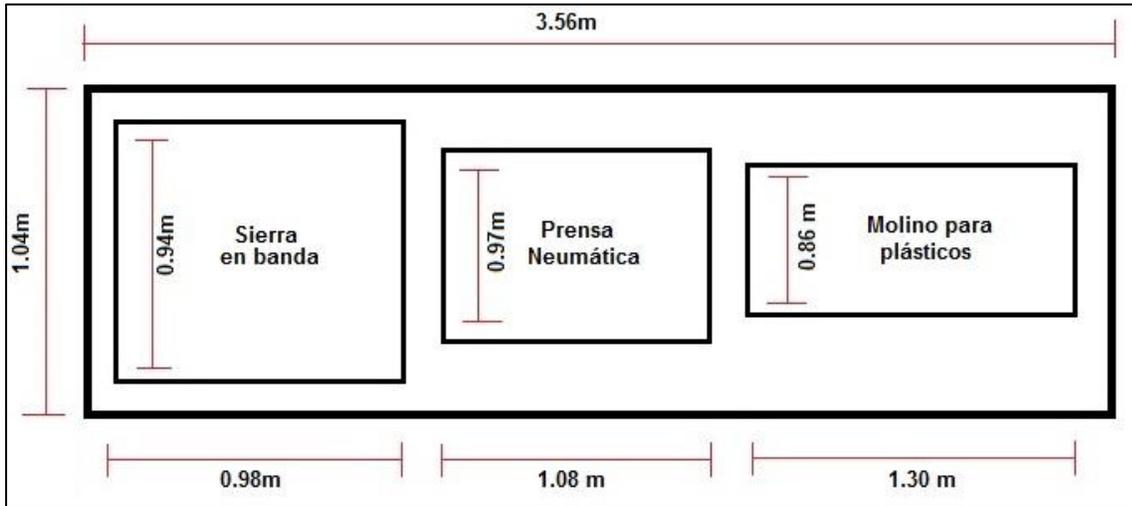
- Molino para plásticos
- Sierra en banda
- Prensa neumática

Tabla XIX. **Consideraciones del cimiento**

ASPECTO	RECOMENDACIÓN
Masa del cimiento	La masa total de la maquinaria es: 630 Kg Con base en este dato el cimiento debe tener una masa aproximada de 1 890 Kg, esto representa el triple de masa de la maquinaria; considerando que debe soportar también las cargas variables, oscilantes y móviles establecidas.
Área de trabajo a considerar	Para la sierra en banda se agregó la dimensión de la base de trabajo, que sobresale del área de la base del equipo. El área total a considerar es de 0,94 metros de ancho y 0,98 metros de largo.
Área para instalación de equipo	El área designada para el espacio de cada equipo tendrá un área adicional de 10 cm por cada lado, para permitir la instalación posterior de anclaje.
Espaciado entre equipos	Se considera una cota adicional de 5 cm alrededor del área total de instalación.
Área total	3,70 m^2 de los cuales 3.09 m^2 serán utilizados para la instalación. El 17 % restante de área, se considera para cumplir normas de distribución de espacio y holgura del cimiento.

Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Vista en planta de cimiento y distribución de área**



Fuente: elaboración propia.

Para garantizar que el cimiento cumpla con la especificación de masa mínima que debe ser de 1 890 Kg; se utilizará el valor más bajo permisible de densidad del concreto, el cual cumple con las especificaciones de soporte de esfuerzos necesarias para tolerar el esfuerzo máximo producido por lo equipos y su funcionamiento, que es de 3,5 kg/cm².

Siendo el valor de densidad a considerar de 2 200 kg/m³, y la forma del cimiento un paralelepípedo, se procede a realizar la relación de dimensiones.

Tabla XX. **Dimensión para el grosor del cimiento**

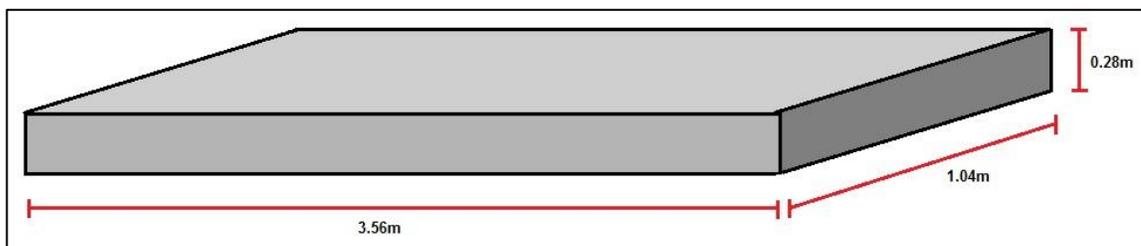
Parámetro	Dimensión (m)
1/5 de la dimensión más pequeña del cimiento	1/5 (1,04)=0,208
1/10 de la dimensión más grande del cimiento	1/10 (3,56)=0,356

Fuente: elaboración propia

Se propone entonces el grosor medio del rango obtenido, siendo de: 0,282 metros de grosor para el cimiento.

A continuación se presenta el modelo final del cimiento.

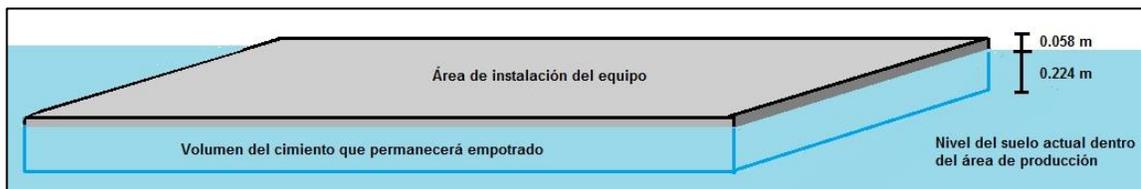
Figura 35. **Diseño final del cimiento**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

El 80 % del cimiento debe quedar dentro de la plancha de concreto que ya fue cimentada. Por lo tanto 0,224 metros del grosor quedarán empotrados.

Figura 36. **Nivel del cimiento**



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

- Estructura interna del cimiento

La estructura interna del cimiento debe contar con un armado longitudinal y transversal de acero estructural, y de acero por temperatura, que será el encargado de evitar la formación de grietas debidas al posible cambio de temperatura que la maquinaria y el ambiente pueden transmitir hacia el cimiento.

También es necesario incluir acero de refuerzo para absorber las vibraciones generadas, que, aunque serán poco sensibles por el cimiento, deben estar correctamente distribuidas a través de la masa del cimiento.

Barras de acero corrugado: deberán incluirse para garantizar propiedades de ductilidad dentro del cimiento y garantizar la funcionalidad del mismo. La norma general de calidad internacional para este tipo de varillas es la ASTM A-615/A 615 M, trabajar con elementos que cumplan estándares internacionales ofrece un respaldo indispensable sobre el proyecto.

Figura 37. **Barras de acero corrugado**



Fuente: *Aceros de Guatemala*. <http://www.acerosdeguatemala.com/>.

Consulta: 3 de septiembre de 2015.

Las longitudes y diámetros de este tipo de varilla varían según la aplicación requerida. Existen clasificaciones de grado que representan cual es la resistencia de cada tipo de varilla, se muestra a continuación las disponibilidades de varilla:

Tabla XXI. **Propiedades de varillas corrugadas de acero**

Propiedades mecánicas mínimas	Grado 40	Grado 60
Límite de fluencia	40 000 psi	60 000 psi
Máxima resistencia	60 000 psi	90 000 psi

Fuente: *Aceros de Guatemala*. <http://www.acerosdeguatemala.com/>.

Consulta: 3 de septiembre de 2015.

Ambas propiedades especifican un concepto definido, y debe ser considerado para la adecuada selección del tipo de varilla:

- Límite de fluencia: es la magnitud de tensión aplicada sobre el elemento, que provoca una deformación plástica sobre el material, dentro de un ensayo aplicando el valor de la tensión únicamente sobre un eje.
- Máxima Resistencia: es la máxima capacidad del material para resistir un esfuerzo aplicado, es decir la magnitud de una fuerza distribuida en el área transversal de las dimensiones del objeto.

Aunque existen algunos grados mayores, para este proyecto se puede trabajar con varilla de grado 40 en su límite de fluencia, ya que ofrece el diámetro y resistencia requerido para soportar la carga total establecida.

Se presenta el conjunto de datos técnicos del diseño de cimiento:

Tabla XXII. **Diseño de cimentación propuesto**

Dato	Valor
Área de utilización	3,09 m ²
Área total del cimiento	3,70 m ²
Volumen de concreto total	1,036 m ³
Densidad del concreto de diseño	2 200 kg/m ³
Capacidad mínima de esfuerzo del concreto de diseño	3,5 kg/cm ²
Masa del cimiento diseñado	2 279,2 kg
Masa mínima requerida para el cimiento	1 890 kg

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Área de anclaje

El anclaje es el encargado de mantener el equipo en el lugar establecido para su ubicación permanente. Las máquinas que presentan cargas continuas o periódicas deben estar ancladas directamente al cimiento. En los casos en que los esfuerzos se consideran grandes en relación a la resistencia de los materiales de anclaje tales como pernos, deberá evaluarse también el tiempo de fatiga del material. Un buen anclaje ofrece las siguientes ventajas:

- Reducción de vibración: las vibraciones producidas se transmiten a través de la placa de anclaje directamente hacia la cimentación; evitando los efectos de ruido, desajustes y desgastes en el equipo.
- Seguridad: una maquina anclada de manera adecuada evita el riesgo de accidentes hacia el operario, y evita también incrementar el riesgo si un fenómeno natural impacta en las instalaciones del lugar. El principal

factor de riesgo de origen natural dentro de Guatemala es la constante actividad sísmica que se reporta.

Una gran mayoría de anclajes utilizan pernos, sometidos a esfuerzos de tensión, flexión y esfuerzos combinados; de los cuales la mayor parte del esfuerzo se debe transmitir al cemento. Para mejorar la transmisión de esfuerzos puede colocarse una placa de anclaje, rectangular o circular según se adapte mejor a la base del equipo. Aunque los equipos de la planta de producción de aglomerados son muy pequeños; el diseño de anclaje debe satisfacer las condiciones de seguridad requeridas; asimismo, debe soportar la posición del equipo aunque experimente movimientos traslacionales o rotacionales.

3.1.3.1. Tipos de anclaje

Para los anclajes generalmente se utilizan barras de hierro lisas, las cuales pueden transformarse en frío o caliente según el tipo de perno que haya sido seleccionado.

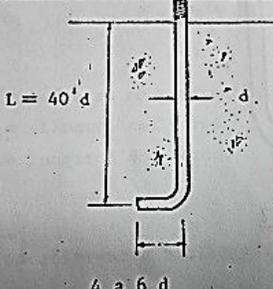
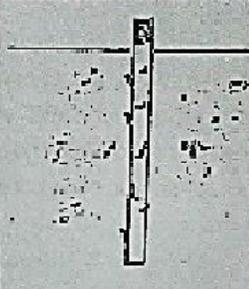
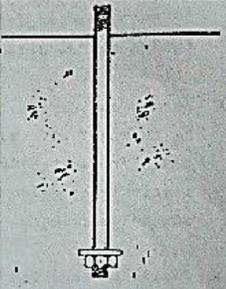
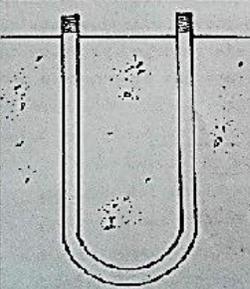
A continuación se presentan los tipos de pernos utilizados.

- Perno con pata en el extremo: la pata en el extremo del perno evita que la varilla pueda girar, este es el perno de más bajo costo y facilidad en su fabricación, es posible moldear la pata con un trabajo en frío bastante simple.
- Perno arponado: también se fabrica con barras lisas, el cálculo de sus dimensiones está basado en fórmulas de longitud de desarrollo con base

en las normas ACI. La fabricación es más complicada que la del tipo de perno mencionado anteriormente, por lo tanto su costo es más elevado

- Pernos con cabeza: se realizan agregando una tuerca y una arandela a la parte embebida, para mejorar su resistencia a la tracción. La función de la arandela es permitir la transmisión de la carga de tensión en el perno hacia el cimiento por aplastamiento.
- Varilla doblada: puede considerarse como una opción cuando se diseña utilizar un número de pernos par. Esta única varilla atraviesa el volumen de concreto bajo el cual estará cimentada la máquina, por lo tanto debe agregarse desde el momento de la fundición del cimiento, su costo es mucho más elevado al requerirse una cantidad mayor de material, suele utilizarse cuando debe soportarse esfuerzos de gran magnitud. También es necesario mencionar que se tiene un gran riesgo de burbujas de durante el depósito de concreto.

Tabla XXIII. Tipos de pernos

Perno con pata en el extremo	Perno Arponado	Perno con cabeza	Varilla doblada
 <p>Diagram of a hooked bar. The length of the vertical portion is labeled $L = 40d$. The diameter of the bar is labeled d. The hook at the bottom has a width labeled $4 a 6 d$.</p>	 <p>Diagram of a hooked bar, similar to the first one but without explicit dimensions.</p>	 <p>Diagram of a bar with a nut and washer at the bottom end.</p>	 <p>Diagram of a U-shaped bent bar.</p>

Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

3.1.3.2. Diseño de anclaje

- Perno a utilizar se plantea utilizar barras lisas para generar anclajes del tipo pata en el extremo, este tipo de anclaje es de fácil fabricación y es el de más bajo costo.

El tamaño de las barras a utilizar está definido por los esfuerzos a los cuales están sometidos los pernos.

Para seleccionar las dimensiones de las barras se presenta a continuación los parámetros a considerar en esfuerzos de corte y tensión aplicados a pernos.

Tabla XXIV. Corte y tensión permisible en pernos

Diámetro (pulgadas)	Anclaje Mínimo (centímetros)	Esfuerzo mínimo en el concreto (kg/cm^2)		
		Corte		Tensión
		141	211	141 a 352
1/4	6,4	227	227	91
3/8	7,6	499	499	227
1/2	10,0	907	907	431
5/8	10,0	1 247	1 361	680
3/4	12,7	1 334	1 615	1 021
7/8	15,2	1 624	1 882	1 451
1	17,8	1 624	1 882	1 451
1 1/8	20,3	1 624	2 041	1 451
1 1/4	22,9	1 624	2 404	1 451

Fuente: CORONADO FLORES, Rafael Horacio. *Principios de diseño de cimentación de maquinaria industrial*. p. 39.

Nuevamente se seleccionarán las dimensiones más pequeñas para el diseño de anclaje, debido a que los esfuerzos que deben soportar son muy inferiores a los descritos en este criterio general. Sin embargo, esta parte de la

gestión del montaje de la línea también debe ser desarrollado con base en criterios confiables.

- Dimensiones y material

La proporción de cada perno debe obedecer a las siguientes especificaciones:

Tabla XXV. **Proporción de pernos de anclaje**

Dimensión a considerar	Criterio
Diámetro de la varilla	Este se basa directamente en los esfuerzos calculados del esfuerzo simple y combinado que la maquinaria ejerce sobre el cimiento. Para este caso se considera un diámetro de ¼ de pulgada.
Longitud mínima	Esta longitud debe ser siempre de al menos 40 veces el diámetro para pernos con pata en el extremo.
Longitud de la pata	La proporción adecuada es de 4 a 6 diámetros del perno.
Orificio en el cimiento	El orificio donde se ubicará cada anclaje debe ser de 3 a 4 diámetros del perno, en este se introduce la varilla para posteriormente ser embebido con cemento.

Fuente: elaboración propia.

- Material de las barras de anclaje:

Para las barras de anclaje se debe utilizar barras de acero, de textura corrugada, el mismo tipo de barra que será utilizado en el refuerzo interno del cimiento.

Las barras corrugadas poseen características adecuadas para el moldeo de los anclajes, y debido a la textura corrugada exterior, ofrecen distribuir

adecuadamente las tensiones por la adherencia existente entre el acero y el concreto y además el anclaje mecánico mejora entre las corrugaciones y el concreto.

El tipo de acero empleado para este tipo de barras puede ser el mismo que se empleará para el refuerzo de la cimentación. El porcentaje de carbono y algunos otros minerales complementarios serán determinados por el fabricante según el grado de la varilla.

- Acero calmado: esta es la clasificación del acero empleado en las varillas de refuerzo para el cimiento y para el anclaje. La clasificación obedece al modo de fabricación en el cual ha sido completamente desoxidado, lo que evita la liberación de gases mientras se solidifica y de esta manera se obtienen piezas uniformes en su interior.

La dimensión adecuada con base en la tabla es el valor de 1/4 de pulgada para el diámetro, pero debido a que no existe disponibilidad de ese diámetro en el mercado, se ha contemplado el uso de barras de 1/2 pulgadas, ya que es necesario limar el corrugado y luego realizar el enroscado por medio de torno. Con ello se establecería un diámetro de rosca final de 3/8 de pulgada.

- Pernos y bases de anclaje

El anclaje será complementado con tuercas de 3/8 de diámetro interno. Y doce bases de anclaje ubicadas en cada uno de los cuatro extremos de cada una de las maquinarias, serán soldados y fabricados en hierro de 1/4 de pulgada de grosor para lograr una soldadura óptima, y con orificio circular para

ser atravesado por el perno y enroscado con una esponja antivibrante entre la base y el cimiento.

- Propuesta de anclaje

Tabla XXVI. **Diseño de anclaje propuesto**

Dato	Valor
Material	Varilla de acero corrugado
Diámetro de la varilla	1/2 pulgada=1,27 cm
Longitud mínima	25,4 cm
Longitud de rosca	5 cm
Longitud de la pata	(5 veces el diámetro) =6,35 cm
Orificio del cimiento	5,08 cm
Longitud total de material a utilizar (30,4 cm por anclaje), un total de 12 u	3,648 metros
Cantidad de pernos por maquina	4 unidades
Maquinarias a considerar en el anclaje	3 máquinas
Bases de anclaje soldadas	12 bases (1/4" grosor)
Tuercas de 3/8 de "de diámetro interno	12 tuercas
Esponja anti vibrante de 0,11 kg/cm^2	12 unidades de 1,5 cm de grosor

Fuente: elaboración propia.

3.1.4. Área de montaje

Debido a que el espacio es reducido, se plantea despejar el área donde permanecerá instalada la línea de producción. Deben retirarse los equipos desde el más cercano al acceso principal del área, ya que de esta forma se reducirán las complicaciones al mover el equipo.

El montaje se realizará colocando primero el equipo que permanecerá más alejado del acceso del área, y se realizará con base en el modelo de ubicación del equipo.

El correcto montaje del conjunto de equipos requerirá la adecuada cimentación presentada, la cual deberá incluir la instalación de los pernos de anclaje durante la distribución del material de cimentación, y de no ser posible por parte del personal que realice este proceso, deberá delimitarse el espacio en el cual los pernos estarán anclados para que la lechada de concreto sea simultánea a la colocación de las barras de anclaje.

3.2. Área neumática

Para el área neumática de la línea de producción se considera la implementación de un compresor liviano, que sea capaz de suministrar la potencia suficiente para accionar la prensa neumática.

La prensa neumática requiere un valor de pies cúbicos por minuto (CFM) de 3CFM a 80 psi de presión, estos como valores establecidos por el fabricante.

3.2.1. Compresor

La Sección de Gestión de la Calidad ya adquirió un compresor con base en el normativo de adquisición de equipo definido por la entidad que financia el proyecto. Ahora es necesario determinar qué capacidad debe tener el compresor y si es suficiente para incluir un sistema de aerografía además del suministro a la prensa neumática.

3.2.1.1. Características generales

El compresor será el equipo encargado de producir la energía neumática necesaria para el funcionamiento del sistema, se prevé que dentro del sistema neumático de la línea se agregue posteriormente equipo de aerografía.

Para esta línea se buscó un compresor que contará con una holgura al menos 2 veces el suministro que necesita la prensa. El 2 es un factor que absorbe la ausencia de otro compresor, ya que para un sistema neumático que requiere suministrar un flujo constante hacia un sistema productivo, se recomienda siempre la adquisición de dos compresores, que trabajen el 50 % del tiempo.

La línea productiva está diseñada para funcionar bajo un régimen intermitente, por ello el compresor podrá tener intervalos de tiempo de espera.

El compresor necesario para satisfacer los requerimientos de la prensa necesita:

$$CFM_{necesarias} = (Valor)2 = Re\ querimiento$$

$$CFM_{necesarias} = (3CFM)2 = 6CFM$$

La prensa tiene un requerimiento de 18 CFM acumuladas, a 80 psi, para lograr realizar la compresión requerida en el proceso. Por lo tanto el tiempo que requiere el compresor para satisfacer este valor es de 3 minutos.

La capacidad del compresor adquirido se resume a continuación:

Tabla XXVII. **Capacidad del compresor**

Aspecto	Valor
Volumen de aire requerido por la prensa	3 CFM
Holgura recomendada de flujo entregado	2
Volumen de aire necesario para cubrir la demanda y considerar la holgura	6CFM
Volumen de aire entregado por el compresor	6,3 CFM
Volumen excedente	0,3 CFM
Presión requerida por la prensa	80 psi
Presión que puede ser entregada	90 psi
Volumen de aire satisfecho	100 %
Valor de presión satisfecha	100 %
Excedente en la capacidad de entrega de volumen de aire	4,77%
Excedente en la capacidad de entrega de presión	11,11 %

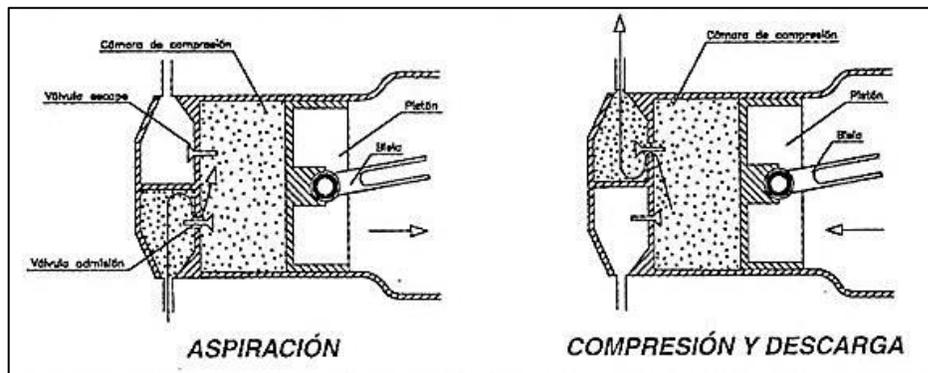
Fuente: elaboración propia.

El compresor adquirido se ajusta a las exigencias del sistema ya que es un compresor vertical de dos cilindros. Este tipo de compresor ampliamente utilizado en el mercado, ofrece la ventaja de requerir menos espacio para su instalación, un bajo costo en el mantenimiento general, asimismo, su precio se reduce hasta en un 50 % en comparación con compresores de tornillo.

El compresor de cilindros, o alternativo se adapta muy bien cuando se requiere descargar cargas parciales, y almacenar de manera intermitente la potencia neumática del mismo.

El mecanismo de cilindros puede trabajar con aire lubricado o limpio, estando situado en la parte superior del compresor, donde el cigüeñal actúa como base mientras favorece también la lubricación de los pistones.

Figura 40. **Principio de funcionamiento compresor alternativo**



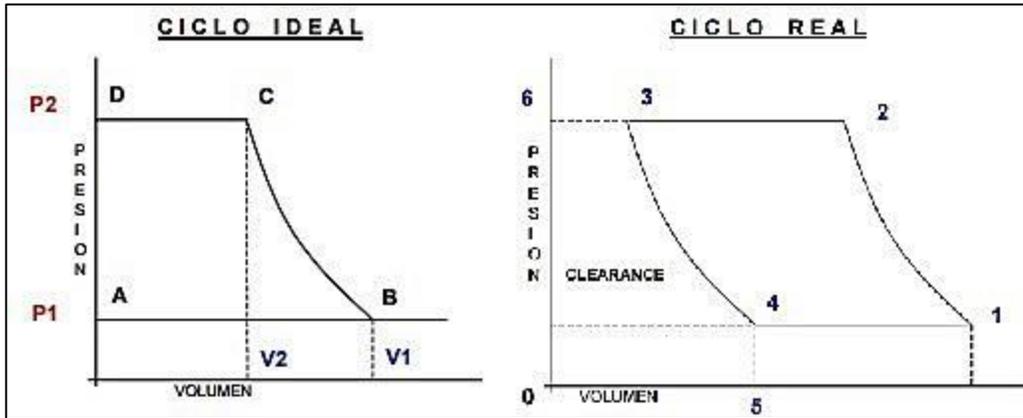
Fuente: GUERRA PEREZ, Javier. <http://tecnologia-compresores.blogspot.com/>.
Consulta: 3 de septiembre de 2015.

Tabla XXVIII. **Características del compresor**

Imagen de equipo	Datos de equipo	Valor
	Potencia	2,2 kW
	Corriente	20 Amperios
	Frecuencia	60 Hz
	Caudal de aire	5,2 CFM a 40 psi 6,3 CFM a 90 psi 8,7 CFM de desalajo

Fuente: elaboración propia.

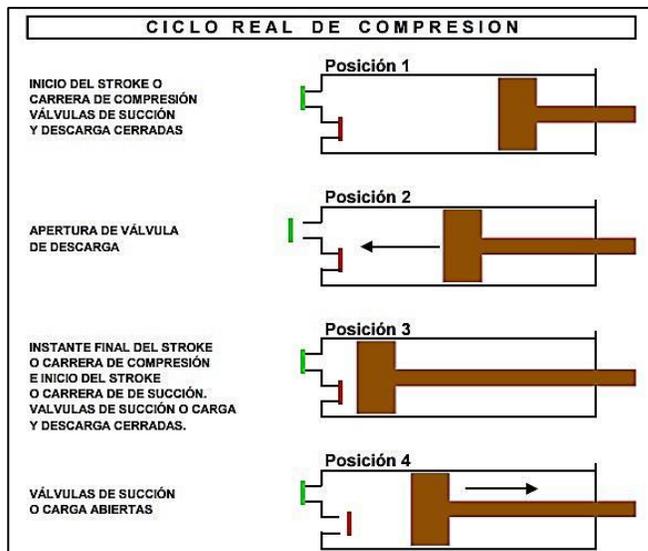
Figura 41. Ciclos de compresión



Fuente: GÓMEZ RIVAS, Pedro A. *Diseño y cálculo de compresores*. p. 3.

Asimismo, se muestra una imagen del detalle del proceso real de compresión por medio del mecanismo de pistón.

Figura 42. Proceso real de compresión



Fuente: GÓMEZ RIVAS, Pedro A. *Diseño y Cálculo de compresores*. p. 5.

Con base en los esquemas anteriores es necesario hacer las siguientes consideraciones para determinar la capacidad de un sistema neumático.

3.2.1.2. Accesorios requeridos

- Filtro regulador de presión

Es el encargado de eliminar contaminaciones sólidas y líquidas presentes en el gas que impulsará el sistema neumático y a su vez mantener una presión de suministro controlada.

Los filtros de aire deben eliminar varios tipos de agentes. Desde partículas de polvo presentes en todos los ambientes, gotas de lubricante provenientes del sistema de compresión, hasta agentes más específicos y de menor tamaño, según lo requiera el sistema al cual será entregado el suministro.

Los filtros pueden ser solicitados con diferentes elementos según los requerimientos, incluso filtros del tipo coalescente, que permiten incluir varias funciones específicas de filtrado que pueden eliminar residuos de aerosoles y partículas de hasta 0,3 μm . Los filtros estándar se venden con elemento apto para retener partículas de hasta 0,5 μm .

Para este sistema se requiere un filtro que sea capaz de retener polvo y algún agente lubricante adherido durante la compresión.

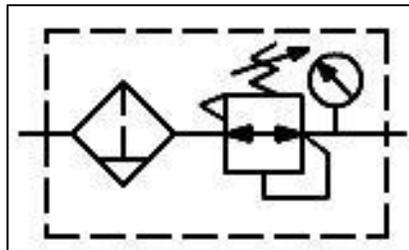
Según las especificaciones del compresor propuesto, el filtro que se ajusta mejor a las necesidades de operación es el siguiente:

Figura 43. **Filtro regulador de aire**



Fuente: *Black bull tools*. www.blackbulltools.com. Consulta: 3 de septiembre de 2015.

Figura 44. **Simbología de filtro y regulador de presión**



Fuente: BUENO, Antonio. *Neumática e hidráulica*. <http://www.portaleso.com/>. Consulta: 6 de septiembre de 2015.

Descripción: es un filtro regulador de aire con capacidad de filtrado de hasta 0,5 μm de partículas sólidas y líquidas, acoples de $\frac{1}{4}$ de pulgada y capacidad para retener hasta 150 psi de presión, un valor muy adecuado considerando que el máximo valor de presión que maneja el compresor es de 145 psi.

- Válvula actuadora

Esta será la responsable de permitir el paso de potencia neumática hacia la prensa. Se presenta el uso de una válvula actuadora manual, ya que la utilización de esta será intermitente, coordinada siempre por el operario. La válvula manual actuadora que se propone es la siguiente:

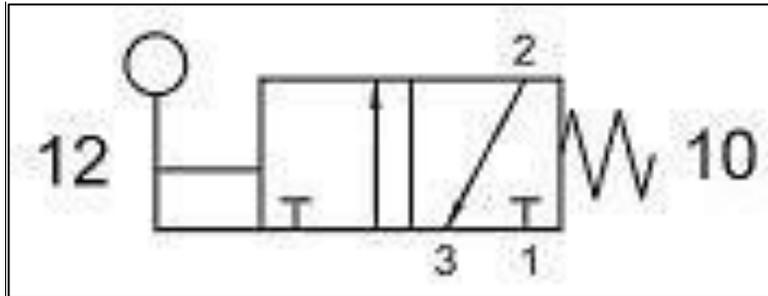
Figura 45. **Válvula manual actuadora**



Fuente: *Az Neumática*. <http://www.azpneumatica.com/>. Consulta: 5 de septiembre de 2015.

Descripción: es una válvula 3/2, además de tener un orificio de entrada y uno de salida, tienen una tercera posición al ser conmutadas para liberar el excedente del sistema, que no es posible con las posiciones básicas de abierto y cerrado, así como un mecanismo de retorno. Este accesorio cuenta con orificios nominales de 5 mm, un rango de temperatura de operación de hasta 60 °C, puede trabajar a un máximo de 10 bares y actuar en aire lubricado o no lubricado, con una filtración previa de al menos 50 µm, por lo cual no se presentará ningún problema de obstrucción de la válvula.

Figura 46. **Simbología de válvula manual actuadora**



Fuente: *Az Neumática*. <http://www.azpneumatica.com/>. Consulta: 5 de septiembre de 2015.

- Manguera de suministro y manguera auxiliar

La manguera contará con un diámetro de 3/8 y 20 pies de longitud, debido a que el compresor estará ubicado junto a la prensa. A través de este componente la válvula manual podrá enviar el excedente de presión directamente al sistema de la prensa neumática. Y bien, tener disponible la conexión para el sistema de aerografía.

Figura 47. **Manguera de suministro y auxiliar**



Fuente: *Black bull tools*. www.blackbulltools.com. Consulta: 3 de septiembre de 2015.

3.2.1.3. Procedimiento de instalación

- Todo compresor debe estar ubicado en un espacio con acceso a ventilación constante, seco y limpio. El compresor recomendado tiene un peso liviano, de 110 libras y facilidad de ubicación con un tren de ruedas para su movilización.
- Debido a que el área de producción posee un único ambiente, las futuras instalaciones para aerógrafos deberán realizarse en un área distinta, ya que no es adecuado que agentes corrosivos, solventes y volátiles ingresen al sistema de aire comprimido a través de la succión del compresor.
- El compresor debe ubicarse al menos a 1 pie de distancia de otros quipos y paredes, junto a la prensa, su principal objetivo de accionamiento.
- El acoplamiento del filtro regulador de presión será instalado directamente a la salida del compresor.
- Las manguera principal será conectada del filtro a la manguera auxiliar por un conector en te, una de las ramas será sellada con una rosca neumática, y la otra sección será enroscada a la entrada de la prensa.

3.2.1.4. Especificaciones para utilización

El compresor es entregado por el proveedor completamente armado y con los accesorios definidos anteriormente, cada uno de los accesorios posee conexiones de diámetro y unión correspondiente entre cada elemento.

- Sistema de aerografía: consta de un atomizador de funcionamiento neumático para producir rocíos de pintura o barniz, empleados en este caso para la realización de acabados en los productos.

Figura 48. **Aerógrafo simple**



Fuente: *Todo sobre aerografía*. www.forocoches.com. Consulta: 23 de septiembre de 2015.

En promedio los sistemas de aerografía más utilizados requieren los siguientes valores para su funcionamiento:

Tabla XXIX. **Valores requeridos para un aerógrafo**

Aspecto	Valor
Presión de trabajo	60 psi
Voltaje	110 Voltios
Caballaje	1/2 hp
CFM	2

Fuente: elaboración propia.

Nuevamente se considera que cantidad de CFM debe entregar el compresor para poder mantener la holgura en la capacidad necesaria.

$$CFM_{necesarias} = (Valor)^2 = Re\ querimiento$$

$$CFM_{necesarias} = (2CFM)^2 = 4CFM$$

El compresor cuenta con un excedente de volumen de aire =0,3 CFM Por lo tanto se concluye que es insuficiente para brindar el volumen requerido, incluso sin considerar en factor de holgura.

Para incluir el sistema de aerografía, el compresor debería tener la capacidad conjunta de:

$$Volumen_{compresor} + Volumen_{aerografo} = Capacidadnecesaria$$

$$6CFM + 4CFM = 10CFM$$

Para poder conectar el aerógrafo es necesaria la entrega de 10 CFM a una presión de al menos 90 psi. Ya que la prensa y el aerógrafo requieren una presión de 80 y 60 psi respectivamente, una holgura de 10 % entre la presión de entrega y la requerida por el equipo se considera aceptable.

3.2.2. Prensa accionada por fuerza neumática

La principal ventaja de promover el accionamiento neumático de la prensa es que puede reducir el tiempo de preparación de la compresión de 12 minutos, a un valor de 3 minutos para realizar la misma operación. Asimismo un compresor de cilindros puede trabajar a la presión que se especifique dentro de su capacidad, por ello debe considerar.

3.2.3. Accesorios requeridos

Se requieren dos conexiones neumáticas, una te para la conexión de flujo hacia la prensa directamente, y otra para cerrar la otra porción de la manguera auxiliar, que permanece como vía de escape para un excedente de presión en el sistema.

Figura 49. Conexiones



Fuente: *Todo sobre aerografía*. www.forocoches.com. Consulta: 23 de septiembre de 2015.

3.2.4. Procedimiento de instalación

- Cada uno de los elementos previos de la línea, en este caso el filtro y las mangueras deben estar correctamente enroscados.
- En el caso de las conexiones rápidas, estas funcionan sin enroscado, sino al presionar la entrada a cada manguera, se introduce la manguera y al dejar de presionar, la entrada automáticamente toma la manguera y el dispositivo queda asegurado para permitir el paso de flujo de aire.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Planificación de montaje, procedimiento y diagrama de operaciones

Un montaje exitoso dependerá siempre de cumplir a cabalidad la secuencia de pasos, que garanticen a cada fase generar las condiciones bajo las cuales el equipo funcionará adecuadamente y en condiciones seguras para sus operarios.

Figura 50. Planificación general



Fuente: elaboración propia.

También se detalla información general sobre los datos generales de la planificación, considerando la fecha de inicio propuesta y sujeta en su totalidad a cambios por parte de la Sección de Gestión de la Calidad, ya que la planificación del montaje puede realizarse en cualquier intervalo de tiempo.

Tabla XXX. **Datos de la planificación**

Aspecto	Valor definido
Fecha de inicio del proyecto	4 de enero de 2016
Fecha de finalización de proyecto	21 de enero de 2016
Tiempo de duración	17 días de calendario
Tiempo neto de trabajo	15 días de trabajo

Fuente: elaboración propia.

4.1.1. Área de cimentación

Para el área de cimentación se planifica el comienzo el lunes 4 de enero, haciendo la adquisición de material y delimitando el trabajo con las personas encargadas de la mano de obra. Ese mismo día el personal de la sección tiene la tarea principal de movilizar el equipo para que el siguiente día puedan iniciarse las tareas del proyecto.

Se estima un tiempo de duración de 12 día hábiles, a continuación se detalla el desarrollo de las actividades.

Figura 51. Planificación de la cimentación

	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1		Preparación de Cimentación	4 días	lun 04/01/16	jue 07/01/16	
2		Preparación de tareas y personal	1 día	lun 04/01/16	lun 04/01/16	
3		Corte del área	1 día	lun 04/01/16	lun 04/01/16	
4		Retiro de material	1 día	mar 05/01/16	mar 05/01/16	3
5		Excavación del área del cimiento	1 día	mié 06/01/16	mié 06/01/16	4
6		Realización de armadura	1 día	jue 07/01/16	jue 07/01/16	
7		Desarrollo de cimentación	8 días	jue 07/01/16	lun 18/01/16	
8		Preparación de formaleta	1 día	jue 07/01/16	jue 07/01/16	5
9		Verificación de la ubicación de los pernos	1 día	vie 08/01/16	vie 08/01/16	8
10		Fundición	1 día	lun 11/01/16	lun 11/01/16	9
11		Verificación de la ubicación de los pernos	1 día	vie 15/01/16	vie 15/01/16	
12		Máxima resistencia de concreto	1 día	lun 18/01/16	lun 18/01/16	

Fuente: elaboración propia.

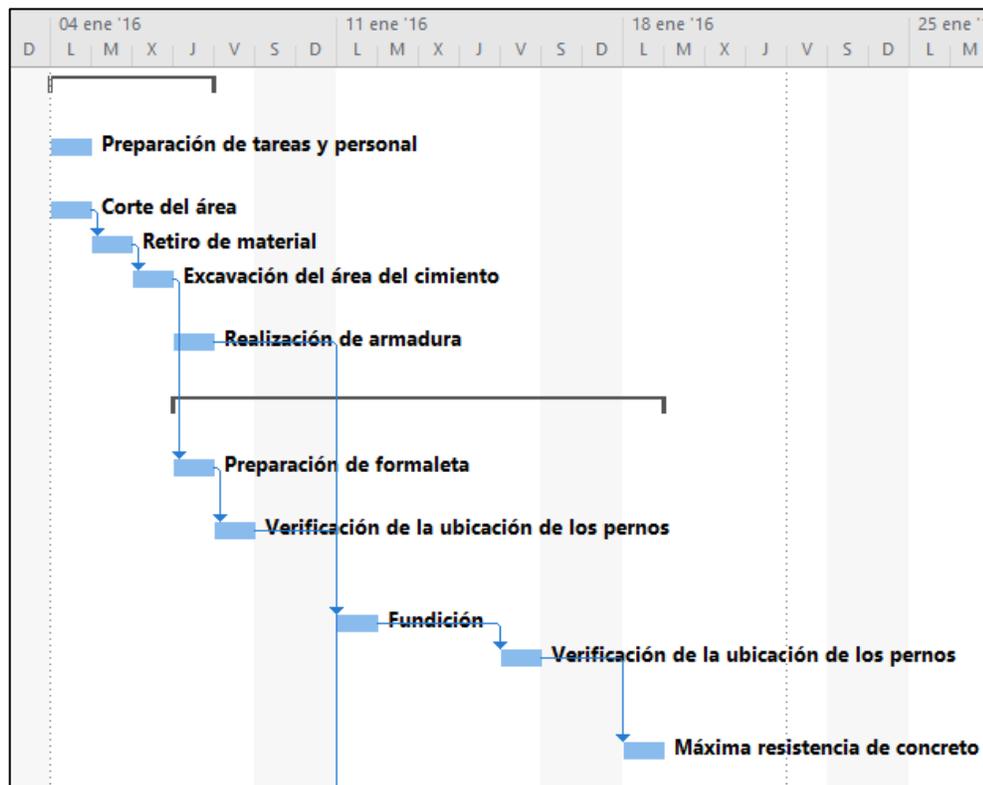
También se detalla el diagrama de Gantt, el cual muestra la sucesión de actividades planificadas, incluyendo las tareas que son predecesoras unas de otras, para lograr la realización del proyecto.

Debe considerarse que la planificación mostrada no muestra holguras ni estima posibles contratiempos que puedan variar la planificación propuesta.

Cada una de las tareas se ha estimado con un tiempo prudente de realización, asimismo se estimó la mano de obra adecuada según la magnitud de trabajo. Si se desea completar el trabajo con mayor rapidez debe contratarse un mayor número de empleados con un aumento consecuente en los costos por

mano de obra. Debido a que las actividades ya están superpuestas para optimizar atrasos entre tareas.

Figura 52. **Diagrama de Gantt de cimentación**



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Área de anclaje

El anclaje se inicia con la preparación de los pernos, que deben ser cortados y torneados para lograr el área de rosca en la cual se basa la cimentación, se establecen varillas de acero de ½ de pulgadas que pueden ser cortadas y torneadas con facilidad. Se estima una duración de doce días,

paralelos a la cimentación, en este periodo de tiempo se preparan los anclajes para su colocación durante la fundición.

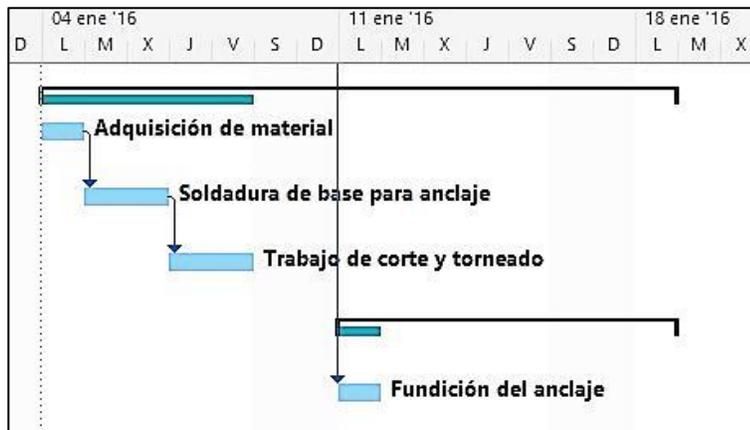
Figura 53. **Planificación del anclaje**

	Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
13	✈	Preparación de anclaje	11 días	lun 04/01/16	lun 18/01/16	
14	📄	Adquisición de material	1 día	lun 04/01/16	lun 04/01/16	
15	🔧	Soldadura de base para anclaje	2 días	mar 05/01/16	mié 06/01/16	14
16	📄	Trabajo de corte y torneado	2 días	jue 07/01/16	vie 08/01/16	15
17	✈	Desarrollo de Anclaje	6 días	lun 11/01/16	lun 18/01/16	
18	📄	Fundición del anclaje	1 día	lun 11/01/16	lun 11/01/16	9

Fuente: elaboración propia.

También se presenta la planificación a través de un Diagrama de Gantt

Figura 54. **Diagrama de Gantt de anclaje**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Procedimiento de compra de materiales y equipos, lineamientos y diagramas

El procedimiento para la adquisición de los materiales necesarios para implementar la propuesta debe corresponder a los procedimientos establecidos directamente por Concyt, la entidad encargada de suministrar los recursos para el desarrollo del proyecto.

4.2.1. Formato de compras

Es propiedad del Departamento que la origina y no debe ser cambiada por el Departamento que compra sin antes obtener la aprobación del Departamento que la originó.

Figura 55. Formato de compras

Sección de Gestión de la calidad Centro de Investigaciones de Ingeniería		ORDEN DE COMPRA			Formato de compras no. 0000 Fecha: 00/00/0000	
Actividad: _____						
Item	Descripción	Cantidad	Proveedor	Precio Unitario (Q)	Precio total (Q)	Subtotales (Q)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
TOTAL EXACTO (Q):						
TOTAL EXCATO EN LETRAS:						
Observaciones:						
Nombre de solicitante:				Autorización:		
Firma y Sello:				Firma y Sello:		

Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Adquisición

Cada adquisición realizada entre la Sección de Gestión de la Calidad y el Centro de Investigaciones de Ingeniería, deberá considerar los siguientes aspectos, establecidos en reuniones realizadas durante el primer semestre del 2014:

- La orden de compra debe presentarse a la Dirección del Centro de Investigaciones de Ingeniería, en donde será analizada para su autorización o posible reajuste. Esta orden debe incluir el listado de proveedores cotizados y una breve descripción de los ofrecimientos de acompañamiento como garantías y asesorías de instalación o reparación, por parte del proveedor propuesto para la realización de la compra. Deberá presentarse evidencia de cotización de al menos 4 proveedores del artículo de interés.
- Cada proveedor seleccionado debe llenar la documentación requerida por el Centro de Investigaciones de Ingeniería, para lograr el correcto control de la relación laboral.
- En caso que la Dirección del Centro de Investigaciones de Ingeniería desaprobe o especifique reajustes en la compra, la Sección de Gestión de Calidad deberá recibir una notificación por escrito, incluyendo los motivos del rechazo o reajuste.
- La Sección de Gestión de la Calidad podrá entonces replantear la solicitud de compra.

- Cuando una orden de compra sea aprobada deberá ser enviada por parte del Centro de Investigaciones de Ingeniería, al Departamento de Tesorería para su ejecución.

4.3. Procedimiento de uso

Cada compra dentro de la Universidad de San Carlos de Guatemala debe seguir un protocolo de funcionamiento establecido por el Sistema Integrado de Compras de la Usac, para cumplir con los requisitos esenciales dentro de una institución estatal.

Una vez la compra ha sido aprobada por el Centro de Investigaciones y la Facultad de Ingeniería, la solicitud deberá hacerse a nombre del Centro, que es la dependencia que está requiriendo la compra. Este es un procedimiento general que se aplicaría para realizar las compras requeridas en otras secciones dentro del Centro o bien, en las demás dependencias de la Facultad y otras facultades.

4.3.1. Etapa de inicio

Una vez que la compra ha sido autorizada por la Dirección del Centro. El Centro debe apoyar e iniciar el proceso para la realización de trámites previos.

El primer paso es completar el formulario de solicitud de compras que se muestra a continuación:

Figura 56. Primera fase de solicitud de compra

		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA SISTEMA INTEGRADO DE COMPRAS		FORM. SIC-06	
/ Unidad Ejecutora o Dependencia		Acta de Calificación y adjudicación No.			
En la ciudad de Guatemala,		de			
del _____		siendo las _____ horas		en el local que ocupa	
de la _____		de la Universidad		de San Carlos de Guatemala, se reunieron los miembros de la Junta de Cotización, Señores :	
Nombrados por el Rector de la Universidad, en acuerdo de Rectoría No. _____		de fecha _____		de _____, para proceder al	
de _____		de _____		acto de calificación y adjudicación para la compra de :	
Habiendo procedido de la manera siguiente:					
PRIMERO: se tuvo a la vista el Acta de Recepción y Apertura de Plicas No. _____ de fecha _____					
adjunta a las cotizaciones presentadas por las casas comerciales siguientes:					
- _____					
- _____					
- _____					
- _____					
Las cuales se anexan al expediente de cotización Número _____					
SEGUNDO: La Junta de Cotización, tomó en consideración lo establecido en las bases de cotización y acordó lo siguiente:					

Fuente: *Universidad de San Carlos de Guatemala*. <http://www.usac.edu.gt/>. Consulta: 5 de septiembre de 2015.

4.3.2. Requisitos

El formulario de compra debe acompañarse de las cotizaciones consideradas, es por ello que la sección interesada deberá presentar 4, para descartar 1 y comprobar por medio de una tabla de calificaciones sobre las opciones de compra, cuál ha sido seleccionada. Según el tipo de compra el Sistema Integrado de Compras podría requerir porcentajes de base establecidas para la realización de la compra.

Figura 57. Segunda fase de la solicitud de compra

No.	Aspecto	% s/bases	Oferta A	Oferta B	Oferta C
1	Calidad				
2	Garantía				
3	Experiencia del oferente				
4	Vida útil del bien				
5	Características del bien				
6	Aspectos técnicos				
7	Soporte técnico				
8	Tiempo de entrega				
9	Precio total				
10					
	Total	0	0	0	0

De acuerdo a la evaluación realizada se adjudica la compra a:

1. Empresa _____ Precio: Q. _____
 De darse el caso contenido en el Artículo 33 de la Ley de Contrataciones del Estado, el orden en que se adjudica será de la forma sig.

2. Empresa _____ Precio: Q. _____

3. Empresa _____ Precio: Q. _____

TERCERO: No habiendo más que hacer constar se da por terminada la reunión, en el mismo lugar y fecha indicados al principio de la presente acta, siendo las _____

f) Nombre _____ f) Nombre _____

f) Nombre _____

Nota: - El resultado de esta evaluación deberá ser parte del Acta de Calificación y Adjudicación de Ofertas.
 - Cuando en las bases únicamente se solicite el precio del bien, suministro o servicio, se tomará el precio más bajo.

1/3 Depto. De Prevención y Agencia de Tesorería
 2/3 Expediente
 3/3 Aditaría Interna

DDO abril 2008

Fuente: *Universidad de San Carlos de Guatemala*. <http://www.usac.edu.gt/>. Consulta:5 de septiembre de 2015.

4.3.3. Etapa de visado

En la etapa de visado se debe definir por parte de la Universidad de San Carlos de Guatemala, la autorización de la compra y el rubro que satisface esta compra debe ser el presupuesto directo, que se tiene en vigencia para el Centro

de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, en el caso de que este presupuesto no tenga fondos suficientes para la realización de la compra, la dependencia deberá presentar la documentación correspondiente para determinar si la compra puede ser completada por parte de la Facultad, a través de una reasignación de fondos interna. Esta reasignación también puede ser solicitada directamente a la Universidad, en este caso la solicitud será analizada por Rectoría, luego Auditoría, Contabilidad y finalmente es el Departamento de Tesorería quien emite el pago respectivo a la compra.

Figura 58. **Liquidación de compra**

Liquidacion de la Compra											
Se liquida esta orden de Compra y los fondos autorizado para la misma, para tal efecto se adjunta el expediente incluyendo la factura original No											
		(f)			(f)						
				Tesorero				Autoridad Responsable			
Fecha											
		Nombre:			Nombre:						
		No. Reg. Personal			No. Reg. Personal						
Uso exclusivo de Auditoria Interna											
				(f)							
								Profesional de Auditoria			
Fecha						Nombre					
						No. Reg. Personal					

Fuente: *Universidad de San Carlos de Guatemala*. <http://www.usac.edu.gt/>. Consulta:5 de septiembre de 2015.

4.3.4. Etapa de compra

Para realizar las compras necesarias para la implementación de este proyecto es necesario detallar la información necesaria de cada artículo, para que la Sección de Gestión de la Calidad pueda hacer la solicitud al Centro.

4.4. Costos

A continuación se muestran los costos estimados para implementar la propuesta planteada considerando el plan de montaje y el sistema neumático en conjunto.

4.4.1. Accesorios y equipo

Se muestran los costos de accesorios y equipo.

Tabla XXXI. Accesorios y equipos requeridos

Núm.	Descripción	Cantidad	Costo de adquisición (Q)
1	1 Compresor de 3hp de potencia	1	4 200,00
2	1 Válvula manual actuadora	1	225,00
3	Manguera de suministro de 3/8 plg	1	115,00
4	Manguera auxiliar de 3/8 plg	1	95, 00
5	Conexión neumática rápida, 3/8 plg	1	15, 00
6	Conexión neumática en te; 3/8 plg	1	20, 00
7	Tuercas de 3/8 de diámetro interno	12	60,00
8	Material antivibraciones de 0,11kg/cm ²	12	80,00
TOTALES		20 artículos	4 810,00

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Materiales

Se muestran los valores de materiales necesarios para la propuesta.

Tabla XXXII. **Materiales necesarios**

Núm.	Descripción	Cantidad	Costo de adquisición (Q)
1	1,0 m ³ de mezcla para concreto incluyendo todos los componentes se cotiza en Q1 000,00	1,036 m ³	1 036,00
2	Varillas de hierro corrugado para el área del cimientto 3/8 pulgada cotizadas en Q45, 00	20 unidades	900,00
3	Varillas de hierro corrugado para realizar los anclajes de 1/2 plg. de diámetro, cotizada en Q 51,00	1 unidad	51,00
TOTALES		22.036 unidades	1 987,00

Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Mano de obra

Esfuerzo físico y mental que se pone al servicio de la fabricación de un bien.

Tabla XXXIII. **Mano de obra estimada**

Núm.	Descripción	Tareas a desempeñar	Pago por día (Q)
1	Ayudante de construcción	Construcción del cimiento y anclajes.	150,00
2	Ayudante de construcción	Construcción del cimiento y anclajes	150,00
3	Maestro de obra	Supervisión de realización de cimientos y anclajes	250,00
SUBTOTAL POR DÍA		3 personas	550,00
TOTAL DE TRABAJO		15 Días	8 250,00

Fuente: elaboración propia.

4.4.4. Maquinados

Es un proceso de manufactura que tiene como objetivo producir piezas por remoción de material de la pieza original.

Tabla XXXIV. **Trabajos adicionales**

úm.	Descripción Tareas a desempeñar	Costo Estimado (Q)
1	Soldadura de bases de anclaje, se requieren 4 por cada maquinaria, de hierro de 1/4 de pulgada de grosor y con orificios para perno de 3/8 de pulgada	375,00
2	Torneado de rosca en los 12 anclajes	300,00
TOTAL POR DÍA		675,00

Fuente: elaboración propia.

Se presenta entonces el resumen de costos totales:

Tabla XXXV. **Resumen de costos**

Rubro	Costo total (Q)
Accesorios y equipo requerido	4 860,00
Materiales necesarios	1 987,00
Mano de obra estimada	8 250,00
Trabajos adicionales	675,00
TOTAL	15 722,00

Fuente: elaboración propia.

- **Presentación del flujo de fondos**

Considerando la cuantificación de costos de producción y beneficio planteada para conocer el impacto de la mejora, que se muestra en la sección 5.3, se muestra continuación una proyección de 5 años para evaluar el impacto de la mejora empleando un sistema neumático, a través del flujo de fondos planteado durante ese tiempo.

Para este flujo de fondos se considera un valor de inflación del 3 %, anual y constante con base en proyecciones del Banco de Guatemala presentadas en 2015. Y también se considera una depreciación del 20 % anual sobre el valor de inversión inicial. El valor de inversión inicial incluye el valor total del equipo, necesario para implementar la mejora adicional lograda por el compresor.

Tabla XXXVI. **Flujo de fondos del proyecto**

Concepto	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Producción (paneles)	4 320	4 320	4 320	4 320	4 320
Precio de venta (Q)	20,00	20,6	21,22	21,85	22,51
+Ingresos (Q)	86 400,00	88 992,00	91 670,40	97 188,25	97 243,20
-Costos de producción (Q)	53 051,18	55 173,23	57 380,16	59 675,36	62 062,37
-Costos de administración¹² (Q)	1 200,00	1 236,00	1 273,08	1 311,27	1 350,61
-Costo de ventas¹³ (Q)	1 512,00	1 557,36	1 604,08	1 652,20	1 701,77
-Costo total	55 763,18	57 966,59	60 257,32	62 638,83	65 114,75
Utilidad (Q)	30 636,82	31 025,41	31 413,08	34 549,42	32 128,45
-Depreciación (Q)	944,00	944,00	944,00	944,00	944,00
Flujo neto efectivo	31 580,82	31 969, 41	32 357,08	35 493,42	33 072,45

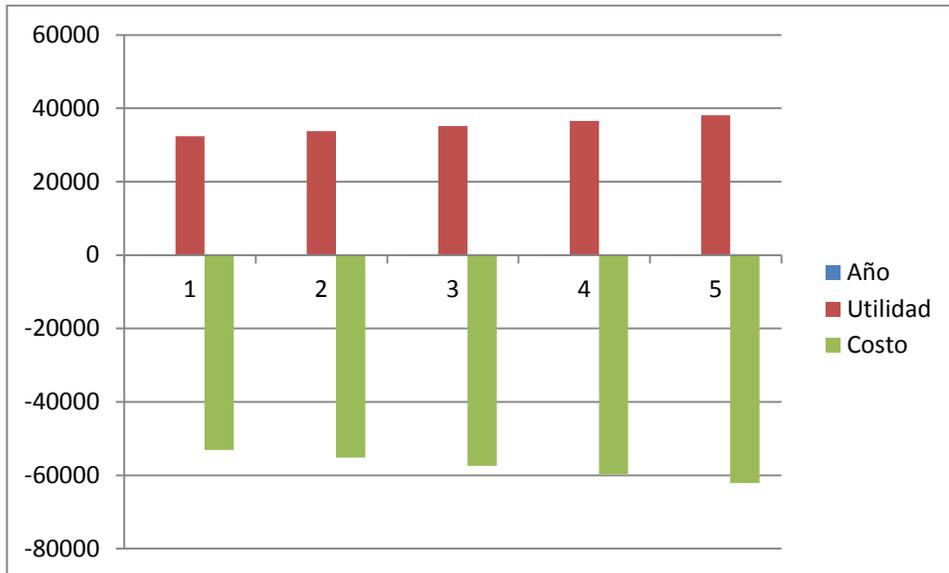
Fuente: elaboración propia.

Se presenta la gráfica del flujo de fondos correspondiente a la tabla XXXI.

¹² Estimación establecida por la Sección de Gestión de la Calidad, considerando las condiciones actuales de administración.

¹³ Estimación establecida por la Sección de Gestión de la Calidad, considerando las condiciones actuales de administración, valor unitario del costo de venta por panel es de Q 0,35.

Figura 59. Gráfica del flujo de fondos



Fuente: elaboración propia.

- TMAR (Tasa mínima atractiva de retorno)

Este indica la tasa mínima atractiva de retorno, es decir el valor mínimo que se espera recuperar de la inversión para definir cuantitativamente si una propuesta es capaz de satisfacer esta tasa. Para este proyecto el valor TMAR debería satisfacer al menos estos valores:

Inflación (f) =3 % anual

Interés (i) =15 %, establecido en el estudio inicial del proyecto, esta tasa es superior al interés establecido en el mercado para una inversión segura.

Depreciación (i) =20 % anual sobre el equipo utilizado.

$$Tmar = i + f + i * f$$

$$Tmar = 0,35 + 0,03 + (0,35 * 0,03) = 0,3905$$

Observación

El interés de recuperación de 15 % está sujeto a cambios determinados por los estudios de comercialización pendientes para introducir el producto desarrollado al mercado.

- VAN (valor actual neto)

El valor actual neto es una representación de cierto número de flujos considerados, derivados de una inversión, y que se presentan como un valor en el presente.

Para obtener el VAN de este proyecto se considera entonces como interés el valor de Temar (i), la tasa mínima que el proyecto debe satisfacer. Y se representa el valor de los flujos futuros del proyecto a través de (Q).

$$VAN = -P + \frac{Q_1}{(1+i)^1} + \frac{Q_2}{(1+i)^2} + \frac{Q_3}{(1+i)^3} + \frac{Q_4}{(1+i)^4} + \frac{Q_5}{(1+i)^5}$$

$$VAN = -4\,720,00 + \frac{31\,580,82}{(1+0,3905)^1} + \frac{31\,969,41}{(1+0,3905)^2} + \frac{32\,357,08}{(1+0,3905)^3} + \frac{35\,493,42}{(1+0,3905)^4} + \frac{33\,070,45}{(1+0,3905)^5} =$$

$$VAN = Q\,62\,417,88$$

Observación

Este valor indica que la inversión si rendirá la proyección del proyecto, en un plazo de 5 años las operaciones de este proyecto representa actualmente una ganancia de Q 62 417,88 es decir un promedio de

Q12 483,57 anual, o bien Q1 040,29 mensual, un valor relativamente bajo considerando las magnitudes de los costos de producción.

- TIR (Tasa interna de retorno)

El valor de la tasa interna de retorno muestra el valor del interés necesario para que el valor actual neto represente un valor igual a cero.

Debe observarse una tasa de inflación del 3 %, con base en la proyección presentada por el Banco de Guatemala, presentada durante el 2015. El valor de inflación de 20 % y una tasa de recuperación del 15 %.

Para obtener el valor de TIR, se utiliza la siguiente fórmula

$$Inversión = + \frac{Q_1}{(1+i)^1} + \frac{Q_2}{(1+i)^2} + \frac{Q_3}{(1+i)^3} + \frac{Q_4}{(1+i)^4} + \frac{Q_5}{(1+i)^5}$$

Donde al igual que para el cálculo de VAN, se representan los valores de los flujos futuros del proyecto a través de (Q).

$$4\,720,00 = \frac{31\,580,82}{(1+i)^1} + \frac{31\,969,41}{(1+i)^2} + \frac{32\,357,08}{(1+i)^3} + \frac{35\,493,42}{(1+i)^4} + \frac{33\,070,45}{(1+i)^5}$$

$$TIR = 0,723$$

Observación

Este valor indica directamente que la inversión es rentable. Sin embargo, indicadores financieros de este tipo están sujetos a cambios de los valores considerados como la inflación y el interés del 15 % estimado para este proyecto, el interés planteado, aunque supera los valores promedio de recuperación de inversiones, que oscilan entre un 3 y 12 % anual dependiendo del tipo de mercado, podría no ser suficiente para satisfacer las expectativas de crecimiento e industrialización que se han planteado para el proyecto.

El análisis beneficio costo de la propuesta se muestra en la sección 5.3, dentro del capítulo de Mejora continua.

5. MEJORA CONTINUA

Se presenta a continuación una serie de valores a considerar para tener un parámetro comparativo de los beneficios obtenidos al implementar la propuesta planteada, así como mejoras dentro del mismo proceso productivo que impactan de forma positiva su desempeño y la seguridad de los operarios.

5.1. Estadísticas

Se plantean a continuación las dos estadísticas directamente relacionadas con el impacto positivo que adecuar el montaje de la línea de producción de aglomerados del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería presentaría al ser implementado.

En el caso de las estadísticas sobre seguridad, se plantea de manera general un marco de referencia para el futuro desarrollo y cuantificación de un plan de seguridad y el ahorro que generaría cuando el proyecto esté más desarrollado.

5.1.1. Estadísticas sobre la reducción de tiempo en el proceso de compresión

Por cada operación de compresión en el proceso de fabricación de tetrapaneles CII, se invierten doce minutos, considerando que cada proceso requiere tres compresiones esto representa un total de 36 minutos invertidos en el proceso de suministrar trabajo a la prensa.

Al suministrar trabajo por medio del compresor, este debe emplear una media de 3 minutos para lograr la presión requerida dentro del cilindro de la prensa.

Este valor se ha obtenido realizando pruebas con un compresor de características descritas en el diseño de la línea. La mejora se muestra a continuación:

Tabla XXXVII. **Reducción del tiempo en el proceso**

Núm.	Aspecto considerado	Valor (minutos)
1	Tiempo original del proceso	104
2	Tiempo empleado en suministrar trabajo de forma manual	36
3	Tiempo empleado en suministrar trabajo neumático	9
4	Reducción de tiempo obtenida	27
5	Nuevo tiempo total para el proceso	80

Fuente: elaboración propia.

La Sección de Gestión de la Calidad tiene una jornada establecida de trabajo para la línea de 4 horas durante la mañana y cuatro horas durante la tarde, realizadas por cada uno de los dos operarios de la línea. Con el método de producción actual se logran producir tres paneles en el mismo lapso de tiempo. Lo que arroja los siguientes datos sobre la producción

Tabla XXXVIII. **Tiempo empleado en la producción**

Aspecto	Valor
Tiempo de producción mensual	9 600 minutos
Tiempo empleado por cada tres paneles	104 minutos
Tiempo empleado por cada panel	34,67 minutos /panel
Producción total mensual	276 paneles/mes

Fuente: elaboración propia.

Considerando la disminución de tiempo lograda al integrar el compresor a la línea se obtendrían los siguientes valores estimados:

Tabla XXXIX. **Tiempo estimado implementando mejora**

Aspecto	Valor
Tiempo de producción mensual	9 600 minutos
Tiempo empleado por cada tres paneles	80 minutos
Tiempo empleado por cada panel	26,67 minutos/panel
Producción total mensual	360 paneles/mes

Fuente: elaboración propia.

La mejora puede entonces resumirse a continuación:

Tabla XL. **Resultado de la mejora presentada**

Aspecto	Resultado
Aumento de la producción	84 paneles
Porcentaje de aumento en la producción	30,43 %
Ahorro de tiempo por cada panel	8 minutos

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Estadísticas generales sobre el correcto montaje y la reducción de riesgos de los operarios

Aunque actualmente no se cuenta con una estructura completa pues el proyecto aún se encuentra en una etapa de inicio, en el futuro debe considerarse el desarrollo de una organización más compleja que sea capaz de desarrollar el estudio de los ámbitos complementarios de todo sistema productivo.

El montaje adecuado dentro de cualquier institución influye no solo en la calidad de desempeño de los procesos productivos, sino también en las condiciones de seguridad que se presentan para todos los operarios y la estabilidad general de la empresa.

Según la Norma OSHA 18000, que contiene las directrices para mantener un ambiente y condiciones de trabajo adecuadas, los factores y causas de riesgo en distintas organizaciones son los siguientes.

Tabla XLI. **Factores y causas de riesgo**

Núm.	Factor	Porcentaje de Riesgo
1	Premisas y equipo	33 %
2	Falta del reconocimiento del riesgo	22 %
3	Desacuerdos en prácticas de seguridad	17 %
4	Cultura empresarial	9 %
5	Razones personales de preferencia	7 %
6	Otros variados	12 %

Fuente: elaboración propia.

Dentro del 33 % de premisas y equipo se menciona desde su correcta instalación hasta la implementación de un plan de mantenimiento y revisión constante de la adaptación del área de trabajo, con el objetivo de reducir factores de riesgo al utilizar el equipo.

Considerando como parámetro el marco de referencia que las normas OSHA brindan como organización administradora de las condiciones de seguridad y salud ocupacional, se plantea dentro del factor de falta de reconocimiento del riesgo el no brindar las condiciones de seguridad apropiadas a cada riesgo que plantea la normativa y asimismo, a cualquier factor que sea reconocido por la propia organización y no sea priorizado dentro de los rubros

destinados al área de seguridad. En este caso ya se ha reconocido el riesgo de tener maquinaria sin un correcto anclaje y cimentación, y al aplicar el plan se obtendrían directamente los siguientes beneficios:

- Eliminación de riesgo de accidentes por condiciones de instalación.
- Reducción del riesgo de presentar problemas de salud a causa del ruido producido por los equipos.
- Reducción de riesgos de accidentes por la posibilidad de los equipos de desplazarse al no estar anclados.

5.2. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos con base en las estadísticas que muestran el impacto de la mejora en términos productivos y de seguridad.

5.2.1. Interpretación

Se presenta la mejora como una ampliación en la capacidad de producción de la línea, un incremento en la cantidad producida genera oportunidades de ampliación de ingresos ya que se mejora la eficiencia del uso del tiempo en un 30,43 %.

Sin embargo, para que la productividad del proceso aumente es necesario considerar que los principales indicadores de productividad son la eficiencia y la eficacia:

- Eficiencia: la medida en la que se aprovechan de la manera más óptima los recursos para lograr un objetivo.

- Eficacia: la medida en la que un sistema es capaz de cumplir un objetivo.

Algunos de los indicadores para ambos parámetros de medición son:

Tabla XLII. **Indicadores de eficiencia y eficacia**

Indicadores de Eficiencia	Indicadores de Eficacia
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos muertos • Desperdicios • % Porcentajes de utilización de las variables del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de cumplimiento de los programas de producción o ventas • Demorar en los tiempos de entrega.

Fuente: elaboración propia.

A través de estas medidas es posible determinar que para incrementar la productividad de la línea se debe lograr alguna de las siguientes condiciones:

$$\text{Incremento de Productividad} = \frac{\text{Aumentar Valor}}{\text{Reducir Costo}} = \frac{\text{Mantener Valor}}{\text{Reducir Costo}} = \frac{\text{Aumentar valor}}{\text{Mantener costo}}$$

Estos parámetros pueden ser aplicados a cualquiera de las variables del sistema, ya que la productividad del sistema se puede medir en función de:

- Tiempo
- Recursos
- Material
- Mano de obra
- Ventas

Y cualquier otro valor que permita hacer una comparación del aprovechamiento y de la productividad que se tiene.

5.2.2. Mejora

Para la futura mejora de la propuesta, que busca contribuir al alcance del objetivo general de la línea de producción de aglomerados, que es lograr convertirlo en un proyecto autosostenible y de gran utilidad para futuros proyectos de investigación y comercialización, se plantea una serie de pasos que deben completarse en relación con la propuesta:

Tabla XLIII. **Oportunidades de mejora detectadas**

Núm.	Aspecto	Descripción
1	Estudio de la comercialización del producto	Al obtener datos concretos sobre la viabilidad y factibilidad al comercializar los productos obtenidos, se tendrían parámetros de costos de producción con los cuales es posible determinar los valores de productividad de la línea, emprender estrategias para mejorarlos.
2	Establecer un plan general del mantenimiento del equipo	Un plan de mantenimiento permitirá una preservación integral del equipo, ya que habiendo solventado las necesidades de montaje y cimentación, existen otros factores como la lubricación, chequeos, cambio de piezas y desgaste por el uso normal o el mal uso al cual el equipo puede ser sometido.
3	Planificación de productos a comercializar	De momento se tiene un estándar de la producción y del producto primario obtenido, los tetrapaneles. A esto debe sumarse que se pretende demostrar la innovación del proceso comercializando productos como sillas y pupitres conformados por lo paneles. La futura planificación de esta producción permitirá establecer valores de potencia necesarios en la segunda fase de la línea neumática, es decir en el uso de flujo de aire para la maquinaria de aerografía.
4	Revisión periódica del proceso	Con el proyecto planteado se aumenta el aprovechamiento del tiempo en un 30,43 %, sin embargo, la revisión periódica del método permitirá determinar otros puntos de mejora en la utilización del tiempo.

Continuación de la tabla XXXVIII.

5	Realizar diagramas Hombre máquina	Este tipo de diagramas permiten visualizar la distribución del tiempo entre el operario y la máquina, lo cual permitiría detectar tiempos de ocio y tiempos muertos del proceso. Incluso podría estudiarse la posibilidad de aumentar la producción ya que la producción actual, aun es menor a la necesaria para establecer estudios de comercialización, incluso estudios de industrialización del proceso.
---	--	---

Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Alcance

A continuación se presentan las delimitaciones que la propuesta encuentra en su aplicación:

- **Distribución de espacio:** la propuesta plantea la inclusión de un sistema de aerografía, pero no contempla la distribución de las áreas de trabajo, debido a que el área de acabados, debería estar seccionado debido a los requerimientos de ventilación de ese tipo de operaciones. La sección ya ha comenzado los estudios de una redistribución de espacio, de las posibilidades planteadas dependerá que pueda incluirse este sistema de una manera adecuada para la seguridad del operario y la fluidez del proceso.
- **Tiempo de realización del proyecto:** la planificación del montaje no considera holguras ni contratiempos.

De un total de 24 tareas establecidas, 14 es decir un 58,33 % son tareas predecesoras que podrían impedir el cumplimiento de la planificación.

- Obtención de los recursos: el proyecto se plantea para su implementación en una fecha que puede ser programada totalmente por la Dirección de la Gestión, pero no contempla la operación previa del trámite de los recursos que la propuesta necesita. Este es un tiempo que no fue posible estimar ya que se trata de trámites administrativos internos de la Universidad, no se cuenta con evidencia del tiempo que pueda tomar, ya que cada caso de solicitud de compras se basa en condiciones distintas y el trámite no es de carácter público.
- Variación de costos: todos los costos planteados son estimaciones basadas en los precios actuales de accesorios y materiales, estos pueden variar en función del tiempo y del proveedor seleccionado. El proyecto contempla los valores netos de los precios, en la futura implementación del proyecto es posible que los proveedores ofrezcan un valor agregado en la compra, ya sea con asesorías y garantías, o realizando ellos mismos las instalaciones que no fueron cuantificadas en este proyecto, ya que según la asignación actual de funciones, estas tareas deben corresponder al personal de la sección.
- Reasignación del espacio asignado para la línea: si se realiza el cambio de espacio, se mantiene el diseño planteado en el capítulo número 3, pero queda a discreción de la Dirección determinar un nuevo orden para la línea según futuros estudios del proceso y limitado por el nuevo espacio disponible para la línea.

5.3. Análisis beneficio costo

Se plantea un análisis beneficio costo debido a que el proyecto tiene un objetivo de sostenibilidad, planteado al desarrollo futuro de la línea de

producción y la comercialización de los productos obtenidos para continuar con el desarrollo de nuevas investigaciones, que tengan en mira innovar soluciones hacia problemas concretos de carácter ecológico, académico y social, aplicando las capacidades que los miembros de la Facultad de Ingeniería han adquirido durante el desarrollo de su carrera.

- El método de beneficio costo: permite encontrar un valor que determine si el proyecto funciona o no, si el valor obtenido es mayor a 1, el proyecto es viable, si el valor obtenido es menor a 1, no se obtendrán beneficios del proyecto por lo que se establece que no debe ser realizado.
- Razón para aplicar el método al proyecto:

Una gran ventaja de este método es que es posible aplicarlo a problemas de eficiencia de producción, pero también es posible trabajar con datos difíciles de estimar, como sucede en los problemas de servicios, o en proyectos que presentan un carácter social o académico, donde el mayor beneficio se refleja hacia la problemática de un sector en particular, o contribuyendo al desarrollo intelectual y científico.

La fórmula de este método es la siguiente:

$$\textit{Beneficio costo} = \frac{\textit{Beneficio}}{\textit{Costo}}$$

5.3.1. Cuantificación del beneficio

Considerando los siguientes valores obtenidos de la documentación general y estudios del proyecto realizados dentro de la sección de calidad se obtienen los siguientes valores:

Un precio estimado de venta para el panel de tetrabrik del siguiente valor:

- Con una producción de 276 paneles

Costo de suministros mensuales obtenidos de las siguientes tablas:

Tabla XLIV. **Requerimientos de agua en el proceso**

Aspecto	Capacidad de producción de 276 unidades al mes
Limpieza de envases de tetrabrik	6 762 litros
Separado de capas de los envases de tetrabrik	1 150 litros
Limpieza diaria general de la Sección de Gestión de la Calidad	172.5 litros
Agua disponible para el personal	690 litros

Fuente: Documentación Sección de la Calidad.

Tabla XLV. **Consumo de agua**

Consumo en litros/mes	8 774,5 litros/mes
Consumo en m^3 /mes	8 7745 metros cúbicos
Tarifa actual EMPAGUA ¹⁴	Q 2,42 m^3
TOTAL DE CONSUMO MENSUAL	Q 21,227

Fuente: elaboración propia.

También se deben considerar los costos por uso de energía eléctrica

Tabla XLVI. **Requerimiento de energía eléctrica**

Equipo	Potencia (kW)	Horas/día	Horas/mes	Consumo kW-h/día	Consumo kW-h/mes
Horno	1,6	8	160	14,4	256
Balanza	1,5	4	80	6	120
Molino	7,5	4	2	30	37,5
4 bombillas incandescentes	0,075	4	80	1,2	24
Microondas	1,2	0,5	10	0,6	12
2 computadoras	0,3	4	80	2,4	48

Fuente: Documentación Sección de la Calidad.

¹⁴ La ciudad es como tu. <http://mu.muniguatate.com/>. Consulta: 3 de octubre de 2015.
El consumo esta medido en metros cúbicos, y la tarifa se establece por rangos de consumo. Para este caso la tarifa es de 1 a 20, Q 2,16 + IVA

Tabla XLVII. **Consumo de energía eléctrica**

Consumo de kW-h-mes	497,5
Tarifa EEGSA ¹⁵	Q 1 333 kW-h
TOTAL DE CONSUMO MENSUAL	Q 663,16

Fuente: elaboración propia.

Y considerando los siguientes valores del costo de producción:

Tabla XLVIII. **Costo de producción por panel**

Aspecto	Costo (Q)	Subtotales (Q)
Libra de duroport	0,30	0,0652 Lb =0,019
Libra de Tetrabrik	0,24	1,72 Lb=0,41
Talco industrial	0,0004	0,0004
Aceite mineral	0,003	0,003
TOTAL POR PANEL		0,4324

Fuente: elaboración propia.

Y considerando los valores de mano de obra:

Tabla XLIX. **Mano de obra de la línea**

Trabajador	Pago por día (Q)	Pago por mes (Q)
Operario 1	75	1 500,00
Operario 2	75	1 500,00
TOTAL		3 000,00

Fuente: elaboración propia.

¹⁵ Comisión Nacional de Energía Eléctrica. <http://www.cnee.gob.gt/>. Consulta:3 de octubre de 2015. Tarifa según reajuste tarifario, en la tarifa ya está incluido el valor de IVA. Considerando que el distribuidor del área es EEGSA.

Se tiene entonces un costo total de producción mensual de:

Tabla L. **Costo actual mensual de producción de 276 paneles**

Aspecto	Valor (Q)
Consumo de agua	21,23
Consumo de energía eléctrica	663,16
Producción por panel = $0,4324 \times 276$ paneles	119,34
Mano de Obra	3 000,00
TOTAL	3 803,73

Fuente: elaboración propia.

La Sección de Gestión de la Calidad tiene un precio estimado de Q 20,00 por panel, en sus proyecciones iniciales del precio considerando todos los componentes estimados. Con base en este dato se plantea el beneficio de la mejora en un lapso de 1 año. La obtención se muestra a continuación

- Con una producción de 360 paneles

Todos los valores serán estimados con la proporción de un incremento del 30,43 % de los cálculos originales, que son para una producción mensual de 276 paneles. Y considerando también el valor de la mejora por medio de la línea neumática y el consumo de energía eléctrica del compresor. Se muestran a continuación:

Tabla LI. **Consumo del compresor**

Equipo	Potencia (kW)	Tiempo de uso en proceso	Procesos al mes	Horas/ mes	Consumo kW-h/mes
Compresor	2,2	12 min =0,2 hr	360	72	158,4
Tarifa EEGSA kW-h					Q 1,333
Total de consumo mensual					Q 211,15

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Costo mensual para la nueva producción**

Aspecto	Observación	Valor (Q)
Consumo de agua	Incremento del 30,43 %	27,6863
Consumo de energía eléctrica	El consumo se mantiene ya que las maquinas trabajan lo mismo, pero se ha reducido el tiempo del proceso. También se ha agregado el consumo del compresor	844,31
Producción por panel	Ahora se considera una producción de 360 paneles. Q 0,4324*360 paneles	155,66
Mano de Obra	La mano de obra permanece constante.	3 000,00
TOTAL		4 027.65

Fuente: elaboración propia.

En un año se tendrían los siguientes valores:

$$\begin{array}{rclcl}
 \text{Costo anual} & + & \text{Costo mejora} & = & \text{Costo total} \\
 12(4\ 027,65) = \text{Q } 48\ 331,18 & + & \text{Q } 4\ 720, & = & \text{Q } 53\ 051,8
 \end{array}$$

Beneficio Anual

$$\begin{array}{rclcl}
 \text{Q } 20,00 \text{ (360 paneles) } 12 \text{ meses} & - & \text{Costo total} & = & \text{Beneficio total} \\
 \text{Q } 86\ 400,00 & - & \text{Q } 53\ 051,8 & = & \text{Q } 33\ 348,2
 \end{array}$$

Por lo que al realizar el cálculo beneficio costo se obtiene:

$$\text{Beneficio costo} = \frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{33\,348,2}{53\,051,8} = 0,6286$$

Observación:

Este valor de beneficio costo concluye inicialmente que el proyecto de propuesta de incluir una línea neumática, dentro de la línea no debe realizarse pues según el valor obtenido, menor a 1, indica que el proyecto no es viable.

La viabilidad del proyecto podría volver a estudiarse si el proceso se industrializa, ya que esto disminuiría los costos, con lo que se incrementarían también los beneficios.

También debe considerarse que el precio utilizado para el cálculo aun es un valor estimado, y será la futura fase de comercialización la que establezca un valor definitivo con base en los costos y la demanda que pueda tener el producto.

CONCLUSIONES

1. Se describe el plan general del montaje adecuado para la línea de producción en la página 101 de este proyecto. Esta secuencia puede ser aplicada a cualquier proyecto de montaje en el que se requieran las mismas operaciones de cimentación, anclaje y montaje, las variaciones se encontrarían en el diseño de cada fase y las magnitudes del equipo.
2. El diseño de cimentaciones puede realizarse de manera simplificada para todo tipo de cargas y magnitudes, si los valores generados son expresados como esfuerzos estáticos que se adicionan al valor del esfuerzo base, que es el producido por el peso de la maquinaria en si.
3. En el diseño de cimentación y anclaje se debe brindar prioridad siempre a la utilización de valores que cubran por completo o excedan levemente los requeridos.
4. La instalación neumática que satisface las necesidades actuales de la línea se puede realizar por un costo de Q 4 720,00, y no es necesario incluir una instalación fija ya que las magnitudes del sistema pueden ser manejadas a través de mangueras flexibles y distancias reducidas.
5. La capacidad neumática que se obtiene actualmente del compresor seleccionado por la sección, no puede satisfacer los requerimientos que un sistema de aerografía convencional necesita.

6. El sistema neumático que se requiere para satisfacer las necesidades de suministro de aire comprimido para la prensa y el equipo de aerografía debe tener una capacidad de 10CFM a 90 psi de presión.
7. La mejora lograda con el plan de montaje se verá reflejada en la reducción de riesgos de accidentes y disminución de desgaste de los equipos. Esta mejora representa un costo total de Q 11 002,00.
8. La mejora planteada incluyendo el sistema neumático no representa actualmente una opción viable, se estimó un costo de Q 4 720,00, que no logra el suficiente impacto positivo en la relación de beneficios y costos calculados para el proyecto, aunque este valor podría ser estimado nuevamente cuando el precio de venta del producto sea sustituido por un valor calculado con base en estudios al dar inicio la comercialización.

RECOMENDACIONES

1. El proyecto Tetrapanel CII podrá ampliar sus posibilidades de crecimiento al contar con más estudios sobre el ámbito comercial y financiero del producto, ya que de momento las propuestas que se plantean se basan en estimaciones.
2. La viabilidad de la propuesta formulada podría volver a estudiarse si el proceso se industrializa, ya que esto disminuiría los costos, con lo que se incrementarían también los beneficios.
3. Establecer con prontitud un plan de mantenimiento general podrá preservar de forma integral el buen estado del equipo que sustenta la línea.
4. El ambiente seguro que pueda ofrecerse al operario debe incluir integralmente aspectos como el uso de equipo de seguridad y protocolos de utilización del equipo, ya que actualmente la prensa neumática y la sierra en banda no cuentan con un mecanismo que detenga su operación en caso de emergencia.
5. En un sistema productivo debe incluirse siempre el estudio de los requerimientos de potencia, energía, costos, mano de obra y materiales, con un criterio de holgura que evite faltantes por causas aleatorias de alguno de los elementos o en este caso, del suministro de volumen y presión que el compresor puede entregar para las tareas que debe satisfacer.

BIBLIOGRAFÍA

1. AHUJA, Walsh. *Ingeniería de costos y administración de proyectos*. México: Alfa y Omega, 1989.
2. ALDANA FERNANDEZ, David Enrique. *Consideraciones para cimentación de maquinaria*. Trabajo de Graduación de Ing. Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1978. 77 p.
3. ALENKA TARACENA, Alenka Irina. *Propuesta para el crecimiento urbano de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12 200-2020*. Tesis Arquitectura Universidad de San Carlos de Guatemala. 2002. p. 36.
4. BACA URBINA, Gabriel. *Evaluación de proyectos*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2001. p.383
5. BARRANCO GONZALEZ, Carlos Estuardo. Rediseño de la red de aire comprimido de la planta no. 2 de la Fábrica de Textiles del Lago, S.A. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001, 68 p.
6. BARREDA TARACENA, Alenka. *Propuesta para el crecimiento urbano del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala zona 12, 2000-2020*. p. 36.

7. BAUSTEMER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico*. 8a ed. México: Editorial Hispano Americana, 1980.
8. CAMARENA, Pedro. *Instalaciones eléctricas industriales*. 6a ed. México: Editorial Continental, 1984.
9. CHANG, Randolph. *Evaluación del montaje e instalación de una planta procesadora de café tostado*. Trabajo de Graduación de Ing. Mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999. 88 p.
10. CORONADO FLORES, Rafael Horacio. *Principios de cimentación de maquinaria industrial*. Trabajo de Graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1970. 67 p.
11. HORNGREN, George, *Contabilidad de Costos*. 6a ed. México: Prentice Hall Hispanoamérica, S. A. 1991.
12. JUAREZ, Pedro Antonio. *Diseño de sistemas neumáticos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979, 118 p.
13. NIEBEL, Benjamín. *Ingeniería Industrial, motores, tiempos y movimientos*. 3a ed. México: Alfa Omega, 1995.
14. THOMPSON, Roy. *Manual de montaje*. Papuzzi, Alberto (ed. lit.); Plot Ediciones; Benítez, Esther (trad.). Madrid: Taurus, 1988. 299 p.

15. WESTON, Eugene, *Fundamentos de Ingeniería y Administración*. 10a ed. MC Graw-Hill, México: 1994.

ANEXOS

1. Valores del compresor entregados por el fabricante



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

2. Algunos detalles del compresor adquirido



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

3. Visión general de la línea



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

4. Detalle de la exactitud en las mediciones durante el proyecto



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

5. Presentación del proyecto a la Facultad de Ingeniería



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica.

