

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Diseño de sistema eléctrico e ingeniería de sistemas para un
prototipo de compactadora de plástico del Centro Educativo
Técnico Chixot**

Trabajo de graduación presentado por Arturo José González Ruiz para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

Guatemala
2022

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería

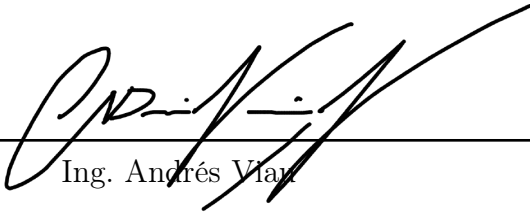


**Diseño de sistema eléctrico e ingeniería de sistemas para un
prototipo de compactadora de plástico del Centro Educativo
Técnico Chixot**

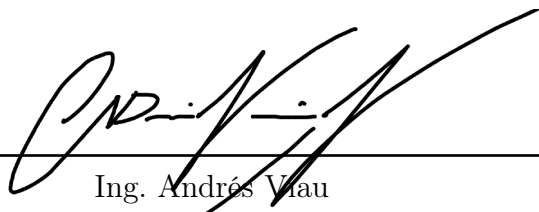
Trabajo de graduación presentado por Arturo José González Ruiz para
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica
Industrial

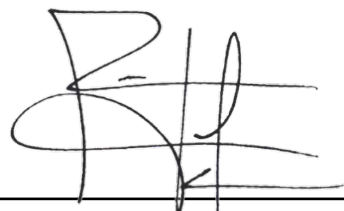
Guatemala
2022

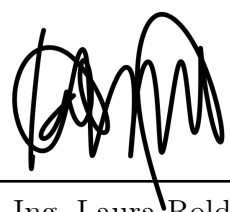
Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Andrés Vian

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Andrés Vian

(f) 
Ing. Rony Herrarte

(f) 
Ing. Laura Roldán

Fecha de aprobación: Guatemala, 6 de enero de 2022.

Lista de figuras	VIII
Lista de cuadros	IX
Resumen	XI
Abstract	XIII
1. Introducción	1
2. Justificación	3
3. Objetivos	5
3.1. Objetivos generales	5
3.2. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	7
4.1. Ingeniería de sistemas	7
4.1.1. Volumen de plástico PET desechado en Guatemala	7
4.1.2. Matriz de riesgo	8
4.1.3. Manejo de partes interesadas	8
4.2. Sistema eléctrico	9
4.2.1. Redes de baja y media tensión en Guatemala	9
4.2.2. Tipos de cables eléctricos y su clasificación	9
4.2.3. Paros de emergencia comúnmente utilizados en la industria	14
4.2.4. Control <i>On/Off</i>	15
4.2.5. Control PID	15
5. Metodología	17
5.1. Descripción de metodología	17
5.2. Identificación de necesidades	18
5.3. Definición de requisitos	21
5.4. Creación de un plan de trabajo por medio de la ingeniería de sistemas	22

5.5. Elaboración de la matriz de riesgo para el proyecto	23
5.6. Creación del manual de usuario	24
5.7. Diseños preliminares del sistema eléctrico	25
5.8. Diseño final para sistema eléctrico	29
5.9. Cálculos	33
5.9.1. Cálculo de valor agregado para el Centro Educativo Técnico Chixot	33
5.9.2. Cálculo de calibre para cableado	34
5.10. Proceso de manufactura	35
5.11. Pruebas	41
6. Resultados	43
6.1. Plan de trabajo	43
6.2. Valor agregado a Centro Educativo Técnico Chixot	45
6.3. Matriz de riesgo del proyecto	45
6.4. Manual de usuario y mantenimiento	47
6.5. Sistema eléctrico	47
6.6. Cumplimiento de requerimientos	48
7. Análisis de resultados	51
8. Conclusiones	53
9. Recomendaciones	55
10. Bibliografía	57
11. Anexos	59

Lista de figuras

1. Cable triplex	10
2. Cable de alimentación	10
3. Cable con revestimiento no metálico	11
4. Cable de una sola hebra	11
5. Cable UF y Romex	12
6. Cable multiconductor	12
7. Cable de par trenzado sin blindaje	13
8. Cable plano	13
9. Cable emparejado	14
10. Paros de emergencia tipo <i>push-pull</i> , <i>twist-release</i> y <i>key-release</i>	15
11. Cúpula recubierta con tejas de plástico PET	19
12. Techo construido a base de tejas de plástico PET	19
13. Muro construido a base de ecoladrillos	20
14. Ciclo de vida de un proyecto desde la perspectiva de la ingeniería de sistemas de la NASA	22
15. Diseño preliminar para sensores de parámetros	26
16. Diseño preliminar para paro de emergencia	26
17. Primer diseño para sistema eléctrico	27
18. Diseño final para el sistema eléctrico	30
19. Paro de emergencia <i>Twist-Release</i>	30
20. <i>Switch</i> para controlador REX C-100	31
21. Controlador de temperatura REX C-100	31
22. Relé de estado sólido	32
23. Termocupla tipo K	32
24. Temperatura máxima de operación según las condiciones de aplicación	34
25. Ampacidades permitidas según calibre AWG	35
26. De izquierda a derecha: Terminal macho y terminal hembra	36
27. Proceso de soldadura de terminales a cables	36
28. Ejemplo de etiquetado de terminales	37
29. Gabinete metálico seleccionado	37
30. Agujeros gabinete	38
31. Panel de control	38

32. Panel de control etiquetado	39
33. Relé fijo en placa desmontable de gabinete metálico	39
34. Proceso de conexión de sistema eléctrico	40
35. Proceso de recubrimiento de cable de corriente	41
36. Leyenda para identificación de módulo por actividad	43
37. Plan de trabajo: Primera parte	44
38. Plan de trabajo: Segunda parte	44
39. Plan de trabajo: Tercera parte	45
40. Matriz de riesgo del proyecto	45
41. Clasificación según nivel de riesgo	46
42. Medidas según clasificación	46
43. Planes de contingencia y medidas preventivas por riesgos	46
44. Sistema eléctrico ensamblado en compactadora	47
45. Interior de gabinete metálico	48

Lista de cuadros

1. Requerimientos funcionales	21
2. Requerimientos operacionales	21
3. Limitantes	21
4. Niveles de riesgo por rango de valores	24
5. Matriz de decisión para controlador de temperatura	28
6. Matriz de decisión para tipo de paro de emergencia	29
7. Peso y tiempo de obtención de ladrillo utilizado anteriormente	33
8. Dimensiones del ladrillo propuesto	33
9. Comparación entre ecoladrillos	45
10. Cumplimiento de requerimientos funcionales	48
11. Cumplimiento de requerimientos operacionales	49
12. Cumplimiento de limitantes	49

Se identificó la necesidad de encontrar un uso para los residuos que el Centro Educativo Técnico Chixot produce durante la fabricación de techos con botellas PET. El Centro educativo utiliza la parte central de las botellas para la construcción de techos, dejando como remanente las partes superior e inferior de las botellas. Existe un potencial para darle un valor agregado a estos desechos a través de su compactación, obteniendo un bloque para construcción. Por lo que, se diseñó y fabricó un prototipo de una compactadora de plástico, la cual esta conformada por cuatro módulos: carcasa y estructura, sistema de calentamiento y molde, sistema de compresión, y sistema eléctrico e ingeniería de sistemas.

A través de la ingeniería de sistemas se buscó asegurar la compatibilidad funcional entre los módulos. Mientras que a través del módulo del sistema eléctrico se buscó energizar al sistema de calentamiento para lograr una compactación adecuada. Se realizó un análisis de riesgos para el proyecto en general y se llevó a cabo un plan de contingencia, aplicado a un plan de trabajo en donde se detallaron tiempos de ejecución de actividades dependientes entre los diferentes módulos. Del mismo modo, se creó un manual de usuario en donde se especifica la manera adecuada de operar la máquina de manera segura y el mantenimiento que debe hacerse. También se determinó que el valor agregado por la compactadora para el Centro Chixot recae en el ámbito monetario y en el del aprovechamiento de tiempo de las personas. Por último se manufacturó un sistema eléctrico capaz de variar el parámetro de temperatura para la operación en tiempo real y que provee la energía suficiente para el funcionamiento adecuado del sistema de calentamiento.

The need to find a use for the waste that the Centro Educativo Técnico Chixot produces during the manufacturing of roof tiles with PET bottles was identified. The educational center uses the central part of the bottles for the construction of roofs, leaving the upper and lower parts of the bottles as a remnant. There is a potential to add value to these wastes through compaction, obtaining a building block. Therefore, a prototype of a plastic compactor was designed and manufactured, which is made up of four modules: casing and structure, heating system and mold, compression system, and electrical system and systems engineering.

Through systems engineering, it was sought to ensure functional compatibility between the modules. Meanwhile, through the electrical system module it was sought to energize the heating system to achieve adequate compaction. A risk analysis and a contingency plan was carried out for the project in general, applied to a work plan where execution times of dependent activities were detailed among the different modules. Similarly, a user manual was created which specifies the proper way to operate the machine safely and the maintenance that must be done. It was also determined that the value added by the compactor for the Chixot center lies in the monetary sphere and in the use of people's time. Lastly, an electrical system was manufactured capable of varying the temperature parameter for operation in real time and that provides enough energy for the adequate operation of the heating system.

El Centro Educativo Técnico Chixot lleva a cabo proyectos sostenibles que involucran la reutilización de materiales desechados, aprovechándolos sobre todo para la fabricación de estructuras civiles. Actualmente trabajan varios proyectos que involucran botellas de plástico PET. Entre estos, se encuentra la fabricación de ecoladrillos utilizando botellas de PET. El problema que tienen es que no utilizan toda la botella. Por esta razón, el centro cuenta con una cantidad considerable de plástico que sigue acumulándose. Además, a esto se añade el hecho de que, para la fabricación de los ecoladrillos que utilizan en este centro para construcción, se invierte mucho tiempo y esfuerzo manual. Por esta razón, la actividad se vuelve tediosa para las personas dedicadas a ella e incluso otorgue resultados inaceptables. Esto pretendió resolverse por medio de una compactadora capaz de facilitar el proceso de fabricación de ecoladrillos por medio de la aplicación de calor y presión. Por lo tanto, se diseñó su sistema eléctrico y se aplicó ingeniería de sistemas para un prototipo de esta compactadora de plástico. Con esto se buscó asegurar la compatibilidad funcional entre los diferentes módulos que componen la compactadora e implementar un sistema eléctrico capaz de abastecer con la energía necesaria para un funcionamiento adecuado.

Las grandes instituciones con un largo recorrido que les brinda basta experiencia en el campo de manejo de proyectos deben ser referencias para casos como este. Este es el caso de la *NASA*, que año con año logra llevar a cabo proyectos que manejan presupuestos millonarios y que involucran diferentes partes que al final deben de ser compatibles unas con otras para cumplir con los objetivos. A este proceso se le conoce como ingeniería de sistemas. Por otro lado, es recomendable regirse a parámetros establecidos por el máximo exponente del manejo de proyectos en el mundo: el *Project Management Institute (PMI)*. Esta organización pone a disposición del público todas las herramientas que son indispensables al momento de llevar a cabo un proyecto, sea cual sea su índole. De la misma forma, esta institución que tiene presencia a nivel mundial, ofrece formas de medir el éxito de un proyecto por medio de una serie de pasos que deben seguirse.

Por otro lado, se puede mencionar que los sistemas de abastecimiento eléctrico regularmente utilizados en la industria cuentan con sistemas de control electrónicos también. Si un

sistema depende de una medición de parámetros, como puede ser el caso de presión, fuerza o temperatura, a nivel industrial se recomienda utilizar sistemas de control, concretamente los PID. Además, es necesario proteger a los usuarios de los diseños y manufacturas que se trabajan. Por esto es indispensable recurrir a la instalación de paros de emergencia que sean capaces de detener la operación con tan solo presionar un botón. Pero el factor más importante es adecuar estos elementos de forma que el abastecimiento de energía eléctrica sea el adecuado para operar de la manera deseada.

El Centro Educativo Técnico Chixot se caracteriza por realizar proyectos sostenibles a partir de desechos reciclados. El proyecto principal consta de ecoladrillos para construir muros utilizando botellas PET completas, rellenándolas con otros residuos sólidos para fortalecer su estructura. Además, utilizan la parte central de botellas de plástico PET para la fabricación de techos para sus salones. Debido a que no se utilizan las botellas completas, este proceso resulta en una acumulación de desechos de partes superiores e inferiores de las botellas PET. Las personas encargadas del centro educativo piensan que dichos residuos podrían ser utilizados para llevar a cabo más proyectos sostenibles. El proceso de fabricación de estos ecoladrillos es de forma manual, por lo que producir una gran cantidad de ecoladrillos consume mucho tiempo del personal.

Por lo tanto, el diseño y manufactura de una unidad de reciclaje para producir ladrillos de plástico compactado, representa una oportunidad para el aprovechamiento de los desperdicios de las botellas PET y reducir el tiempo de fabricación de estos en comparación al proceso actual. De esta manera se le puede brindar un segundo uso a los residuos de botellas PET que generen un valor para la construcción de infraestructura local. La unidad de reciclaje consta de una máquina compactadora de residuos de botellas PET conformada por cuatro módulos individuales: carcasa y estructura, sistema de calentamiento y molde, sistema de compresión, y sistema eléctrico e ingeniería de sistemas.

El módulo correspondiente a la ingeniería de sistemas y al sistema eléctrico es importante debido a la planeación del proyecto y a la generación de calor. El sistema eléctrico es fundamental debido a que, sin este, no se podrían energizar los sistemas para la compactación. Además, también es el responsable de brindar el control de los componentes eléctricos, de la temperatura de operación del plástico y de detener el proceso en caso de emergencia. Por otra parte, la ingeniería de sistemas es necesaria para garantizar el funcionamiento en conjunto de los módulos, realizando una planificación adecuada, y asegurando una comunicación efectiva entre las partes interesadas, y una correcta ejecución del presupuesto y fases dentro del proyecto. También tiene como propósito proteger la integridad del usuario y la unidad por medio de un manual de operación y mantenimiento. Se espera que guíe el

desarrollo satisfactorio del proyecto.

3.1. Objetivos generales

1. Crear un plan de trabajo para asegurar la compatibilidad funcional entre los diferentes módulos de la compactadora.
2. Diseñar el sistema eléctrico necesario para que la compactadora pueda energizar los diferentes componentes como las resistencias eléctricas.

3.2. Objetivos específicos

1. Crear un cronograma de trabajo en el que se especifiquen los tiempos destinados a cada uno de los módulos.
2. Realizar una matriz de riesgo que considere diferentes escenarios dentro de la realización del proyecto.
3. Llevar a cabo un análisis de valor agregado que da la máquina a los residuos utilizados.
4. Diseñar e implementar un sistema eléctrico que funcione bajo las condiciones disponibles en el área de trabajo del Centro Educativo Técnico Chixot.
5. Diseñar e implementar un sistema de paro de emergencia para la compactadora.
6. Crear un manual de usuario.

4.1. Ingeniería de sistemas

Según la *National Aeronautics and Space Administration*, NASA, la ingeniería de sistemas es un conjunto de métodos y técnicas que se utilizan para el diseño, realización y administración técnica de un sistema. Dentro del contexto de esta ingeniería, los sistemas son un conjunto de elementos como *hardware*, *software*, procesos, personal de trabajo, instalaciones, etc., que operan en conjunto para producir la capacidad de cumplir una necesidad específica. Por ende, un ingeniero de sistemas tiene la tarea de administrar todos estos elementos que conforman un sistema o proyecto. Debido a esta razón, la ingeniería de sistemas se abordará desde una perspectiva de administración de proyectos.

Antes de desarrollar los puntos relacionados a la ingeniería de sistemas, es importante mencionar que se tomaron como referencia los conceptos definidos dentro del método de la administración de proyectos del *Project Management Institute* (PMI). Esta metodología puede encontrarse en el libro publicado por dicha institución, titulado *A guide to the project management body of knowledge - PMBOK Guide*. Una vez aclarado este punto, se pueden desarrollar los conceptos respectivos a la ingeniería de sistemas.

4.1.1. Volumen de plástico PET desechado en Guatemala

Desde una perspectiva general, se puede decir que se estima que el guatemalteco promedio desecha 0.51 kilogramos de basura diaria, según el Ministerio de Ambiente. Esto se traducía en unas cifras que alcanzaban las 7 mil toneladas diarias de desechos sólidos para todo el país, hacía el año 2006, según el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar. Para el año 2010, la Cuenta Integrada de Residuos y Emisiones (CIRE) publicó que se produjeron aproximadamente 113 millones toneladas de desechos sólidos, de los cuales el 13% corresponden a residuos de plástico. Convirtiendo dicho porcentaje en masa, se puede decir que se produjeron aproximadamente 15 millones

de toneladas de desechos plásticos.

Actualmente existe un problema sistemático referente al reciclaje de plásticos, en el que las recicladoras que se encuentran alrededor del país no pueden abastecerse para trabajar a su máxima capacidad. Esto se debe a que no existe un sistema de recolección y transporte fiable estructurado para lograr un abastecimiento apropiado para trabajar al cien por ciento de sus capacidades. Debido a esto se estima que únicamente es posible reciclar cerca del 25 % del plástico desechado, dejando sin reciclar aproximadamente 11 millones de toneladas de plástico. Tomando en cuenta esta problemática y la actividad de las recicladoras, el Ministerio de Ambiente y Recursos Humanos estima que el 85 % del plástico desechado es PET. Esto se traduce en 12.75 millones de toneladas de desechos PET alrededor de todo el país en el lapso de un año. (González, 2018)

4.1.2. Matriz de riesgo

Una matriz de riesgo es una herramienta que se utiliza para el manejo y administración de proyectos. Dicha herramienta es un compilado de varios aspectos relacionados a los riesgos que existen al momento de llevar a cabo un proyecto. Para realizar una matriz de riesgo se deben identificar y analizar los potenciales riesgos, crear planes de contingencia ante ellos, y monitorear dichos riesgos. El objetivo de realizar una matriz de riesgo es aumentar la probabilidad e impacto de los riesgos positivos y disminuir la probabilidad e impacto de los riesgos negativos para optimizar la probabilidad de éxito del proyecto. (Project Management Institute, 2017)

4.1.3. Manejo de partes interesadas

El manejo de las partes interesadas a la hora de realizar un proyecto es importante, debido a que otorga una visión más amplia en cuanto a los obstáculos, potenciales inconvenientes, y a resultados del proyecto llevado a cabo. El proceso del manejo de las partes interesadas incluye los procesos necesarios para identificar a las personas, grupos, u organizaciones que pueden impactar o tener impacto por el proyecto. También incluye el proceso de análisis de las expectativas de estas partes interesadas, y el estudio apropiado para desarrollar las estrategias apropiadas para abordar o aproximarse a estas personas. Más concretamente, este proceso consta de 4 pasos claros: Identificar las partes interesadas, planear la aproximación y compromiso con las partes interesadas, administrar el compromiso con las partes interesadas, y monitorear dicho compromiso. (Project Management Institute, 2017)

El manejo de las partes interesadas es esencial en casos en los que se tienen varias que pertenecen al lado de la ejecución del proyecto, ya que definirá la efectividad de la comunicación y por ende, la compatibilidad entre los módulos respectivos a cada parte.

1) Identificar partes interesadas

Este proceso consta de identificar quiénes son las partes interesadas, analizar y documentar información relevante enfocada a sus intereses, nivel de involucración, interdependencias, influencia, y potencial impacto en el éxito del proyecto.

2) Planear aproximación y compromiso con las partes interesadas

Este proceso consta de desarrollar estrategias de aproximación hacia las partes interesadas, basadas en sus necesidades, intereses y expectativas.

3) Administración de compromiso con partes interesadas

Este paso es esencial, ya que consta de comunicarse y trabajar directamente con las partes interesadas del proyecto, y crear un compromiso de trabajo que ataque los problemas identificados.

4) Monitoreo de compromiso con partes interesadas

Este es el proceso por el cual se monitorean las relaciones con las partes interesadas y las estrategias empleadas para crear el compromiso con ellas.

4.2. Sistema eléctrico

4.2.1. Redes de baja y media tensión en Guatemala

Regularmente, las redes de distribución de energía eléctrica en Guatemala son de media y baja tensión. En la red de baja tensión se encuentran voltajes de 110 voltios y 220 voltios, mientras que en la red de media tensión se encuentran voltajes de 7,900 voltios 13,800 voltios y 34,500 voltios. (Energuate, 2016)

Este es un parámetro que debe conocerse para el apartado de diseño de conexiones eléctricas debido a que generalmente, todos los componentes electrónicos indican el voltaje para el cual están diseñados para operar.

4.2.2. Tipos de cables eléctricos y su clasificación

Dado que el sistema eléctrico cuenta con conexiones hacia una fuente de corriente y hacia diferentes componentes electrónicos, se debe de tener presente la clasificación de los diferentes tipos de cables que existen según sus diferentes composiciones físicas y aplicaciones.

Existen básicamente 5 tipos de cables eléctricos: los triplex, los de alimentación, los de alimentación de panel, con revestimiento no metálico, y de una sola hebra. (Mohammed Alhashimi y col., 2019)

1) Cables triplex

Este tipo de cable es usado regularmente en conductores de bajada de servicio monofásico.



Figura 1: Cable triplex

(Incable, 2017)

2) Cables de alimentación

El cable de alimentación es el cable convencional que se utiliza en cualquier dispositivo eléctrico para ser conectado a la red por medio de un enchufe.



Figura 2: Cable de alimentación

(Stereon, 2021a)

3) Cables de alimentación de panel

Estos se aplican para alimentar el contenedor de conexiones del núcleo y los paneles de interruptores automáticos. Físicamente es igual al cable de alimentación. Se le denomina de esta forma únicamente por su aplicación.

4) Cables con revestimiento no metálico

Estos cables se caracterizan por tener un recubrimiento plástico y por ser utilizados comúnmente en los edificios para la distribución de corriente.

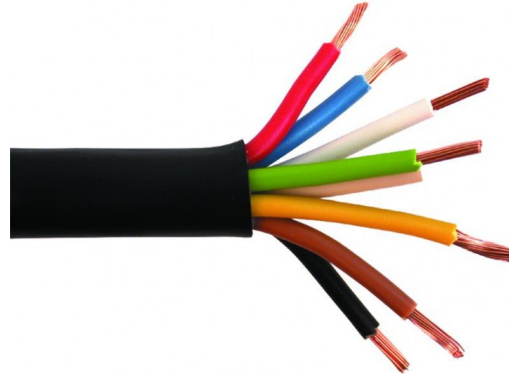


Figura 3: Cable con revestimiento no metálico

(Mayers, 2019)

5) Cables de una sola hebra

Este tipo de cable se caracteriza por ser regularmente unido con otros del mismo tipo mediante el uso de tuberías propias para cables.



Figura 4: Cable de una sola hebra

(Cables, 2019)

Al conocer los tipos de cables que se utilizan típicamente, se puede mencionar ahora la forma en la que se clasifican según su configuración física y aplicación. A continuación se encuentran los cables comúnmente encontrados en la industria y en los hogares o edificios.

1) Cables UF y Romex

Estos cables, al no tener revestimiento metálico, suelen ser utilizados para aplicaciones al aire libre, ya que pueden soportar factores como la humedad al poseer un revestimiento termoplástico.

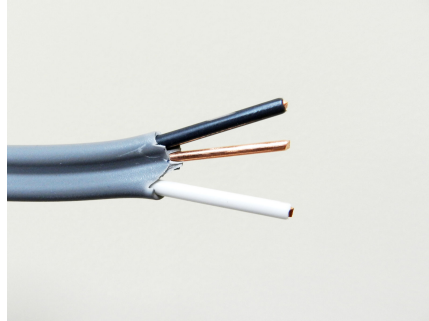


Figura 5: Cable UF y Romex

(Wire, 2021)

2) Cable multiconductor

Este cable es el que comúnmente se encuentra en los hogares, ya que se compone de varias hebras aisladas individualmente, formando un solo cable con revestimiento propio.

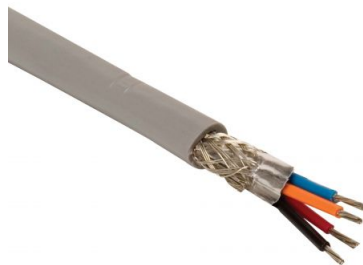


Figura 6: Cable multiconductor

(Stereon, 2021b)

3) Cable de par trenzado sin blindaje

Se refiere a dos cables trenzados en conjunto. Al no tener recubrimiento ninguno de ellos, se vuelve una opción perfecta para ser utilizados en cuestiones relacionadas a la transmisión de señales. Es por esto que suelen verse en teléfonos, cámaras de video o en redes de datos.

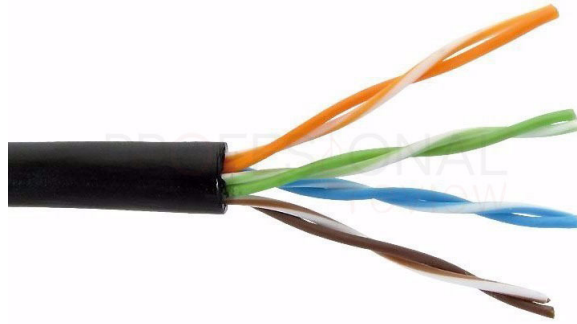


Figura 7: Cable de par trenzado sin blindaje

(Review, [2019](#))

4) Cable plano

Estos cables se aplican regularmente en computadoras. Cuentan con varios cables conductores puestos en paralelo entre sí sobre una base plana.



Figura 8: Cable plano

(Stereon, [2020](#))

5) Cable emparejado

Contando con dos conductores aislados, es el cable típico utilizado para aplicaciones de corriente directa o de corriente alterna de baja frecuencia.



Figura 9: Cable emparejado

(Electrónica, 2021)

4.2.3. Paros de emergencia comúnmente utilizados en la industria

Un paro de emergencia se define como un control o circuito anti-fallos que desenergiza, parando la operación del equipo asociado y que neutraliza cualquier peligro potencial que se encuentre fuera del control del accionamiento de energización principal.

Comúnmente conocidos como “*E-Stops*” por su traducción en inglés *emergency stops*, estos son un tipo especial de dispositivos piloto que llevan a cabo un apagado de operación total de una máquina o sistema eléctrico. Son diferentes a un botón de apagado normal, ya que tienen que pasar a través de varias pruebas y tienen que cumplir una serie de especificaciones.

Los paros de emergencia pueden encontrarse en básicamente cualquier industria. Industria de manufactura, industrias comerciales, e incluso instalaciones públicas son ejemplos de sitios en donde pueden encontrarse estos dispositivos. Existen varios tipos de paros de emergencia, pero los tres tipos de paros de emergencia más comunes son los *push-pull*, que simplemente se tira de ellos o se aprietan para accionarlos; los *twist-release*, los cuales deben girarse para poder apretarse y accionarse; y los *key-release*, que necesitan de una llave para poder ser accionados. (ABB, 2015) En la **Figura 10** pueden verse estos tres tipos de paros de emergencia.



Figura 10: Paros de emergencia tipo *push-pull*, *twist-release* y *key-release*

(fastlec, 2020)

4.2.4. Control *On/Off*

Un control *ON/OFF* es un tipo de sistema de control que envía una señal de activación cuando la señal de entrada es menor que un nivel de referencia predeterminado, y la desactiva cuando la señal de entrada es mayor a la señal de referencia predeterminada.

Algunas de las características de este tipo de sistema de control podrían ser que depende del signo del error encontrado de la señal, tiende a tener una respuesta oscilatoria, no es del todo estable, es ideal para procesos lentos y con tiempo de retardo mínimo, y que es de simple construcción y económico. (Recalde, 2015)

Debido a su bajo nivel de complejidad a la hora de construirlo, el sistema de control *ON/OFF* es utilizado comúnmente para el control de un parámetro de temperatura. Esto se debe a que generalmente la variación de este parámetro dentro de un sistema es un proceso lento y cuenta con tiempos de retardo mínimos.

4.2.5. Control PID

Un sistema de control proporcional-integral-derivativo, PID, se refiere a un controlador que se utiliza comúnmente en el ámbito moderno del control de sistemas. Dentro de sus características más representativas cuenta con elementos esenciales para el control de procesos, como una respuesta rápida del cambio de la entrada del controlador y un error cercano a cero. Esto lleva a que la señal sea estable en comparación con otro tipo de controladores, como el comúnmente utilizado *ON/OFF*. (Ali Najim Abdullah, 2020)

Puede decirse que un controlador PID es considerado, en la mayoría de las ocasiones, como la opción número uno a implementar en cualquier aplicación que conlleva control dentro de un proceso de manufactura. Esto se debe a que ofrece simplicidad, versatilidad, confiabilidad, flexibilidad y velocidad, lo que lo hace muy popular en la industria.

Hablando desde el punto de vista más teórico, este tipo de control cuenta con tres diferentes parámetros que, en conjunto, ayudan a que el error se acerque a cero y mantenga una señal estable. Estos tres parámetros son K_p , K_i , y K_d . Estos se refieren a la ganancia proporcional, a la ganancia integral, y a la ganancia derivativa, respectivamente. (Aveen Uthman, 2018)

5.1. Descripción de metodología

La creación de un plan de trabajo para asegurar la compatibilidad funcional de los diferentes módulos y, el diseño y manufactura del sistema eléctrico debieron pasar por un proceso de investigación y definición de parámetros como los tiempos disponibles y condiciones de operación. Este proceso se llevó a cabo por medio de un plan comprendido por las siguientes siete fases: Creación de plan de trabajo, evaluación de potenciales riesgos del proyecto, análisis de valor agregado para desechos reutilizados, definición de condiciones de operación del sistema eléctrico, diseño de paro de emergencia, pruebas y ensamble final, y diseño y creación de manual de usuario y mantenimiento.

Para la creación del plan de trabajo se debieron planificar las fechas en las cuales se realizaron las diferentes actividades que llevaron a cabo los encargados de los diferentes módulos. Para esto, fue necesario conocer todas las fechas límite para los diferentes entregables. Además, se coordinó con los demás módulos y recopiló información acerca de los tiempos que necesitaron para realizar las diferentes acciones respectivas de cada uno.

En cuanto a la evaluación de los potenciales riesgos del proyecto, se procedió con la elaboración de una matriz de riesgos. Esta se basó en un análisis exhaustivo en cuanto a la prevención de retrasos causados por entregas de materiales, complicaciones dentro del proceso de manufactura, cambios de fechas límites de entregables, etc. Para cada uno de los riesgos identificados se debía tener previsto un camino alternativo que tomar en caso de que alguno de los escenarios mencionados se hiciera presente.

En lo que atañe al análisis de valor agregado para los desechos reutilizados fue necesario tomar un parámetro de comparación. Se utilizó el precio que ponen recicladoras nacionales por cierto peso de plástico PET. Se comparó la cantidad de dinero por masa que producen

actualmente en el Centro Educativo Chixot por medio de los ecoladrillos, con la cantidad de dinero por masa que producirán utilizando la máquina. Además, se realizó el mismo análisis utilizando el volumen producido según qué tan rápido se lleven a cabo las construcciones que realizan con los ecoladrillos, comparando el método manual con el método que involucra a la compactadora.

Para diseñar el sistema eléctrico de la compactadora se definieron condiciones de operación como el tipo de lugar en el cual se encontraría operando la compactadora. Fue necesario conocer el voltaje de distribución disponible, si la compactadora se encontraría expuesta a la intemperie, etc. Luego, se seleccionó la forma de proteger los diferentes componentes electrónicos que se utilizaron para este sistema. Además, se definió el tipo de control para la temperatura.

En cuanto al diseño del paro de emergencia, este se realizó luego de investigar acerca de los diferentes tipos de paros de emergencia que existen en la industria y cuál era el óptimo para la compactadora. Además, se verificó que cada componente utilizado para el paro de emergencia se encontrara disponible en el mercado guatemalteco.

Por otro lado, se realizaron pruebas verificando que el sensor de temperatura realizara lecturas adecuadas y que los diferentes componentes del sistema fueran capaces de modificar este parámetro. Además, se comprobó la funcionalidad del paro de emergencia y se verificó que protegiera al usuario y al producto. Para finalmente coordinar con los encargados de los demás módulos para el ensamblaje de los diferentes sistemas.

Por último, para el diseño y creación del manual de usuario y mantenimiento debió basarse en los diferentes módulos ya acoplados. Este manual debía contener el equipo de seguridad necesario para operar la compactadora, los pasos explícitos para operar correctamente, y los pasos para realizar el mantenimiento adecuado, junto con las indicaciones necesarias para saber cuándo hay que realizarlo.

5.2. Identificación de necesidades

Se obtuvo un contacto con el Centro Educativo Chixot por medio de la persona encargada de la realización de los proyectos sostenibles que se llevan a cabo dentro de este. Se tuvieron aproximaciones de manera virtual y presencial con esta persona, y se tocaron puntos como el tipo de proyectos que se llevan a cabo en el centro y los desafíos que estos representan para el personal. Se explicó que los proyectos llevados a cabo se realizan, en su mayoría, utilizando plástico reutilizado. Pero concretamente, se enfocó en el proyecto de realización de techos como los que se muestran en la **Figura 11** y en la **Figura 12** y paredes por medio de partes de botellas PET y en las dificultades que conlleva. Se identificó una necesidad a raíz de estos procedimientos, ya que, para la construcción de los techos, se crean tejas de plástico provenientes de la parte del medio de las botellas de dos y tres litros. Dejando así, como residuos, la parte superior e inferior. Actualmente no se utilizan estos residuos, por lo que existe un problema de acumulación de estos desechos.



Figura 11: Cúpula recubierta con tejas de plástico PET



Figura 12: Techo construido a base de tejas de plástico PET

Por otro lado, también se nos mencionó que fabrican ecoladrillos para la creación de muros. Estos se crean a base de botellas PET de dos y tres litros. Estas se llenan de otros desechos sólidos como bolsas de supermercados, envoltorios de comida, tapas de botellas, etc. Estos ladrillos son apilados con una configuración que permite armar muros resistentes y que pueden ser utilizados para crear salones de clases o bodegas para el centro, como puede apreciarse en la **Figura 13**.



Figura 13: Muro construido a base de ecoladrillos

El problema de los residuos de plástico PET identificado se asoció a esta creación de muros que llevan a cabo en el centro, y de esta forma surgió una idea para solucionar dicho problema. Se dio a entender que sería de gran ayuda contar con una forma de poder utilizar estos residuos para la creación de los ecoladrillos que ya se fabrican. De esta forma, se podría sacar provecho de los residuos PET y se podría volver más eficiente el proceso de fabricación de ecoladrillos. Se discutió la posibilidad de diseñar una máquina capaz de cumplir con estas dos funciones, por lo que se preguntó por datos relacionados a dimensiones de los ladrillos necesitados, concretamente hablando de tamaño y peso. Por lo tanto, se decidió comenzar el proceso de diseño y manufactura de la unidad de reciclaje que cumpla con los propósitos discutidos.

5.3. Definición de requisitos

Cuadro 1: Requerimientos funcionales

Código	Requerimiento
FISSE-001	Las conexiones electrónicas deben estar identificadas por un código de color o etiquetas en los cables.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2: Requerimientos operacionales

Código	Requerimiento
OISSE-001	La unidad de reciclaje debe contar con una carcasa para proteger los componentes electrónicos del exterior.
OISSE-002	Debe contar con un panel de despliegue capaz de controlar de la temperatura.
OISSE-003	El panel de control debe tener identificadas las acciones como encender, accionar el paro de emergencia, apagar y modificar la temperatura.
OISSE-004	Las terminales electrónicas deben estar debidamente señalizadas.
OISSE-005	El operario debe de tener acceso a los componentes electrónicos en caso de que exista la necesidad de reconexión.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3: Limitantes

Código	Requerimiento
LISSE-001	El voltaje de operación debe ser de 120/240 V.
LISSE-002	Los componentes electrónicos deben de estar disponibles en el mercado guatemalteco.

Fuente: Elaboración propia

5.4. Creación de un plan de trabajo por medio de la ingeniería de sistemas

Para la creación de un plan de trabajo que involucrara a los cuatro módulos que componen la compactadora de plástico se utilizó de referencia la concepción que tiene la NASA del ciclo de vida de un proyecto. Esta se muestra en la **Figura 14**, y muestra las diferentes fases por las cuales pasa un proyecto manejado desde la perspectiva de la ingeniería de sistemas.

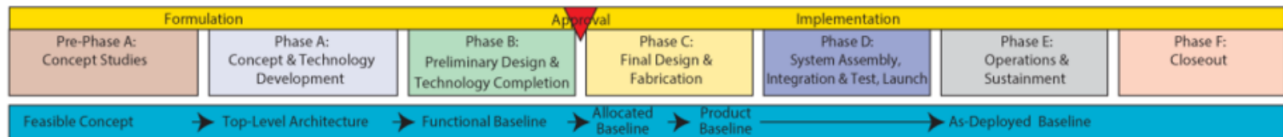


Figura 14: Ciclo de vida de un proyecto desde la perspectiva de la ingeniería de sistemas de la NASA

(Shea & Dunbar, 2019)

Utilizando la **Figura 14** de referencia, se sostuvieron reuniones con las personas encargadas de los módulos que conforman la compactadora para discutir cuestiones relacionadas a tiempos necesarios para la concepción de diseños, realización de simulaciones de ser necesarias, y la manufactura correspondiente.

Para la pre fase A (*Concept studies*) se acordó realizar una investigación para afianzar los conceptos que debían conocerse para comenzar a trabajar en los diseños de cada módulo. En esta fase, los encargados de dichos módulos debían recopilar toda la información que pudiera ser útil para la realización de los diseños posteriores.

Para el caso de la fase A (*Concept & Technology Development*) se estableció que debía comenzar un proceso de aplicación de la información recopilada en la fase anterior. En esta parte del ciclo de vida del proyecto, todos los conceptos aprendidos en la pre fase A debían utilizarse como herramientas, orientándolos a convertirse en una potencial solución para cada uno de los módulos.

En la fase B (*Preliminary Design & Technology Completion*) del proyecto cada encargado de los módulos planteó una o varias posibles soluciones para sus sistemas correspondientes, aplicando los conceptos aprendidos en las anteriores fases. Además, se acordó realizar estos diseños preliminares sin dejar de lado la compatibilidad que debía existir entre un módulo y otro. De esta forma, en esta fase se incluyó un proceso de iteración por el cual debía pasar el diseño de cada sistema diferente para asegurar la compatibilidad entre ellos.

El diseño definitivo para cada sistema que comprende la compactadora debía estar definido para la fase C (*Final Design & Fabrication*), de esta forma se podía proceder con el proceso de manufactura. Cabe mencionar que para esta fase se consideró la posibilidad de realizar cambios leves en el diseño final por contratiempos en el proceso de manufactura. Sin embargo, el objetivo era considerar estos posibles contratiempos desde el proceso de diseño.

Para la fase D (*System Assembly, Integration & Test, Launch*) fue importante considerar los tiempos necesarios para el diseño y manufactura de cada uno de los sistemas. Se acordó

sostener reuniones periódicas con los encargados de los módulos para idear la manera más eficiente de aprovechar el tiempo en caso de que el proceso de diseño y manufactura de un módulo necesitara menos tiempo que los demás. Debido a que este escenario era posible, se acordó plantear un tiempo coherente para el proceso de diseño y manufactura de cada sistema al inicio del proyecto, para poder realizar una distribución más equitativa de actividades.

La fase E (*Operations & Sustainment*) para el caso de este proyecto consistía en asegurar que las condiciones que fueron consideradas al inicio del proyecto no hubieran cambiado durante el transcurso del mismo. Estas condiciones serían las referentes al lugar de operación de la compactadora, necesidades que cubriría y si el resultado era satisfactorio. Esto se comprobaría por medio de una prueba realizada en el lugar de operación.

Por último, se acordó que para la fase F (*Closeout*) únicamente se debía verificar que el funcionamiento de la compactadora se mantuviera cubriendo las necesidades para las cuales fue concebida después de un tiempo establecido. Esto se relizaría por medio de una reunión con el contacto del Centro Educativo Técnico Chixot.

5.5. Elaboración de la matriz de riesgo para el proyecto

El primer paso para la elaboración de la matriz de riesgo fue considerar todos los aspectos en los que se encontraría envuelto el proyecto. Se identificaron aspectos como la utilización del taller de manufactura de la Universidad del Valle de Guatemala, la dependencia que se tendría del mercado para la obtención de los materiales necesarios y de los proveedores de estos para sus respectivas entregas, etc. Una vez identificadas estas variables, se extrajeron las potenciales situaciones que podrían haber pesto en riesgo al proyecto.

En lo que atañe a la elaboración de la matriz de riesgo en sí, se tomaron de base las recomendaciones que da el *Project Management Institute* (PIM) en su metodología referente al manejo de proyectos. En su libro titulado *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* se recomienda que los riesgos considerados para el proyecto se clasifiquen de manera que puedan identificarse a los que más atención hay que prestarles.

Para clasificar los riesgos de manera adecuada, es necesario ponderarlos de manera cuantitativa. Debido a esto, el PMI recomienda utilizar una misma escala para calificar cada riesgo desde el punto de vista de la probabilidad de ocurrencia y de la gravedad del impacto que tendría en caso de que el riesgo llegara a concretarse en un hecho. Por esta razón, se utilizó una escala del 1 al 5 para calificar estos dos rubros, para luego poder obtener un valor cuantitativo del riesgo a partir de estas dos calificaciones y clasificar este valor de riesgo. Para calcular dicho valor cuantitativo del riesgo se utilizó la **Ecuación 1**

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Gravedad} \quad (1)$$

Luego de obtener dicho valor para cada riesgo identificado, se siguió la recomendación del PMI de definir y calificar, según el nivel de riesgo, rangos para estos valores. Por lo que se decidió calificar estos valores de la manera que se muestra en el **Cuadro 4**

Cuadro 4: Niveles de riesgo por rango de valores

Valor de riesgo	Nivel de riesgo
1-2	Marginal
3-8	Apreciable
9-12	Importante
13-25	Muy grave

Fuente: Elaboración propia

Como siguiente paso, se definió lo que implica cada nivel de riesgo. A continuación se presentan las implicaciones de cada uno:

- **Marginal:** Debe vigilarse, pero no requiere medidas preventivas desde un inicio.
- **Apreciable:** Estudiar de qué manera es posible introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. De no ser posible, mantener controladas las variables.
- **Importante:** Es obligatorio aplicar las medidas preventivas. Es necesario controlar las variables fuertemente.
- **Muy grave:** Deben aplicarse medidas preventivas con urgencia. No debe iniciarse el proyecto hasta que las medidas preventivas sean claras y se haya acotado el riesgo.

Por último, se definieron las medidas preventivas y de contención para cada uno de los riesgos según el nivel de cada uno. De esta manera, se pudo dar inicio al proyecto con un plan alternativo por si el plan de trabajo contemplado se veía afectado por alguno de los riesgos tomados en consideración.

5.6. Creación del manual de usuario

Para la creación del manual de usuario fue necesario recopilar información correspondiente a cada módulo que compone la compactadora. Esta información incluía todo lo relacionado al funcionamiento de cada sistema, con un enfoque más destacado para el sistema de compresión y el de calentamiento en conjunto con el eléctrico.

La forma en la que se llevó a cabo la recopilación de la información fue por medio de reuniones con los encargados de los demás módulos. A ellos se les solicitó especificar la manera en la que se debía utilizar, los riesgos contra los que se debía tener protección, el mantenimiento necesario para los diferentes componentes de sus sistemas, y todas las acciones que fueran necesarias para que este funcionara de forma correcta. Se debe recordar que para este punto, el diseño final realizado por cada encargado ya estaba concebido, por lo que cuestiones como la compatibilidad entre módulos eran asuntos resueltos.

Luego de recopilar la información necesaria, se ordenó de la siguiente manera:

- **Introducción:** En esta sección se especifica que antes de utilizar la compactadora es necesario leer el manual de usuario y seguir paso a paso las instrucciones. Además, se

muestra un diagrama señalando cada una de las partes de la máquina y su nombre respectivo.

- **Normas de seguridad durante la operación:** Esta sección indica las acciones que deben llevarse a cabo para estar protegido siempre al momento de operar la compactadora. Al mismo tiempo, se indican las acciones que deben llevarse a cabo para proteger la máquina también.
- **Pictogramas:** Se muestra el equipo de protección mínimo necesario para poder utilizar la compactadora.
- **Instrucciones de uso:** En esta sección se explica cómo operar la compactadora paso por paso de manera correcta, tomando en cuenta los diferentes módulos que componen todo el proceso.
- **Inspección rutinaria por módulo:** Se agregó esta sección para tener un método más de protección para la compactadora. Se especifican las revisiones que deben realizarse de manera periódica por módulo para asegurar un funcionamiento adecuado siempre que quiera utilizarse.
- **Mantenimiento:** En esta sección se indican cuáles son los procedimientos de mantenimiento necesarios por sistema para asegurar un funcionamiento óptimo de la máquina.
- **Posibles fallas:** Se agregó esta sección para destacar posibles fallas que podrían ocurrir mientras se está operando con la compactadora, y se les asignó un número a cada una de ellas.
- **Solución de problemas:** Finalmente, esta sección se enlaza con la sección de posibles fallas, debido a que se presenta la posible causa y la manera de solucionar cada una de las fallas descritas e la sección anterior. Fue importante la incorporación de esta parte, de esta forma el usuario de la máquina puede solucionar las fallas sin necesidad de acudir a los fabricantes.

5.7. Diseños preliminares del sistema eléctrico

Como primer paso, se abordó un diseño para el sistema encargado de lidiar con las lecturas de los sensores de temperatura y presión, sin tomar en cuenta el paro de emergencia necesario en primera instancia. Para este primer diseño, se tenían contemplados un sensor de temperatura, un sensor de presión, un ARDUINO UNO y una pantalla *display*. La conexión pensada para este diseño puede verse en la **Figura 15**. La idea para este diseño era que los sensores fueran colocados en una posición estratégica de la máquina para captar los parámetros que se deseaban controlar. Se tuvo la idea de utilizar un ARDUINO UNO y convertir la información correspondiente de los sensores para que esta pudiera ser desplegada en la pantalla debido a que el tipo de conexiones necesarias para la realización de este diseño no representaban un nivel de complejidad alto.

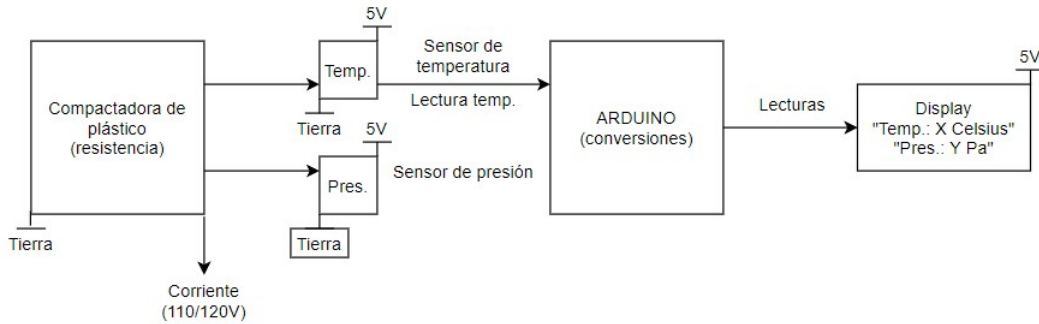


Figura 15: Diseño preliminar para sensores de parámetros

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, también se tuvo la concepción de una primera idea para la conexión correspondiente al paro de emergencia. En la **Figura 16** puede apreciarse que la idea consistía básicamente en que el paro de emergencia enviara un comando al ARDUINO UNO para que este activara un *switch* que cortara la corriente en dirección a las resistencias. De este modo, la máquina dejaría de calentar el molde si se accionaba el paro de emergencia.

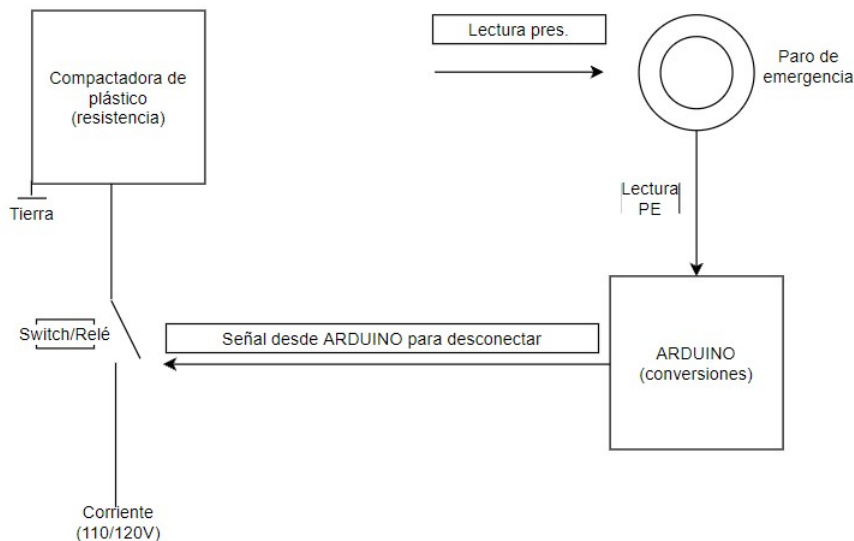


Figura 16: Diseño preliminar para paro de emergencia

Fuente: Elaboración propia

Habiendo ya considerado las dos partes importantes que debía contener el sistema eléctrico de la máquina, se procedió a unir estas dos propuestas en una sola. La **Figura 17** muestra la forma en que el primer diseño para sensores y el primer diseño para el paro de emergencia se acoplarían en un mismo cableado.

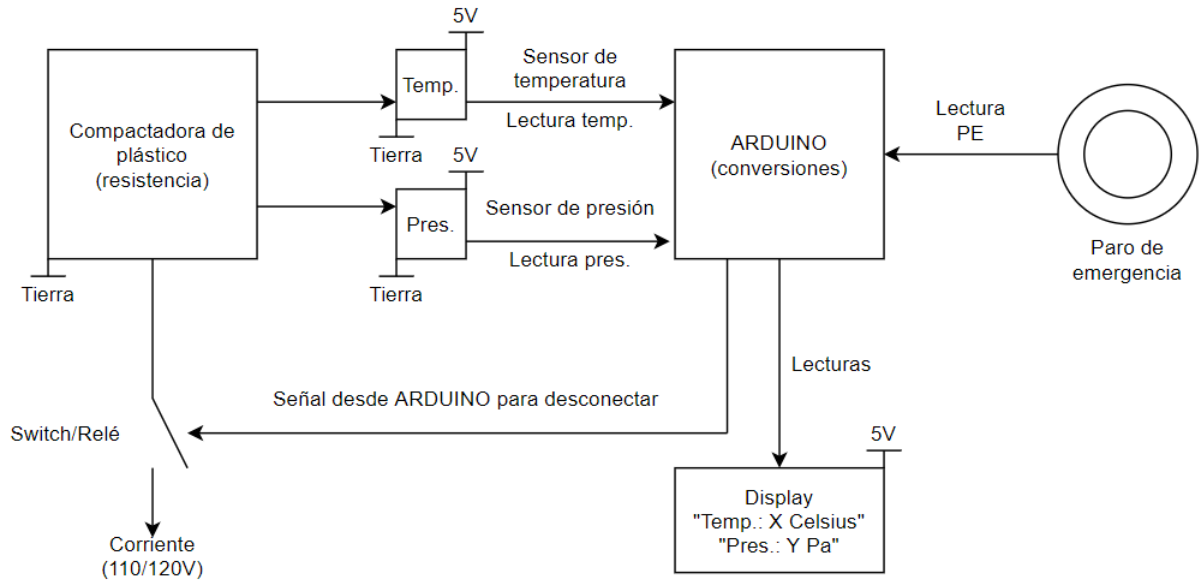


Figura 17: Primer diseño para sistema eléctrico

Fuente: Elaboración propia

Llegados a este punto, se consideraron las desventajas de este diseño. La mayor desventaja que se identificó fue el hecho de que no existían subsistemas dentro del diseño pensado. Es decir, únicamente contaba con componentes electrónicos básicos conectados entre sí. Esto tendría dos repercusiones negativas potenciales. La primera: Al no contar con ningún subsistema dentro del sistema mismo, el proceso de mantenimiento y de corrección de fallas sería más complicado. Debido a que el número de conexiones sería mayor a que si se tuvieran menos componentes que pudieran cumplir con la misma función, el nivel de complejidad al momento de lidiar con problemas en el sistema sería mayor. Y la segunda: En caso de fallar algún componente esencial de este diseño, como podría ser el caso del ARDUINO UNO, tendría que reemplazarse. Esto conlleva iniciar la búsqueda de este tipo de componente, el cual no es abundante en el mercado, por lo que incluso podría surgir la necesidad de importarlo. Además, si este fuera el caso, la programación debería de volverse a cargar en el nuevo componente, y el personal del Centro Educativo Técnico Chixot no posee conocimientos ni recursos necesarios para llevar a cabo dicha acción.

Además, a esto se le añadió el hecho de que ya no sería necesario el sensor de presión por cuestiones del diseño concebido para el sistema de compresión. Este sistema se ideó pensando en utilizar un gato hidráulico que tendría que ser utilizado hasta su máxima capacidad para realizar la compresión. Por esta razón, la idea de tener un sensor con el objetivo de poder variar la presión perdió sentido, ya que en ningún momento sería necesario utilizar el gato hidráulico a una capacidad que no fuera la máxima. Por lo tanto, este elemento debía eliminarse del sistema eléctrico.

Por estas dos razones, se decidió optar por la utilización de un sistema de control de temperatura PID. La ventaja que otorgaba un componente de este tipo al sistema eléctrico es que unía la pantalla de despliegue junto al sistema de control que en un principio se

encontraría cargado en el ARDUINO UNO. Además, estos pueden encontrarse en el mercado guatemalteco con relativa facilidad. Por lo tanto, también fue necesario acotar el tipo de sensor de temperatura que se utilizaría, ya que estos sistemas de control de temperatura funcionan por medio de la utilización de termocuplas.

Se procedió con la toma de decisión en cuanto a qué controlador de temperatura disponible en el mercado utilizar para el sistema eléctrico. Esto llevó a realizar una matriz de decisión en la cual se tomaron en cuenta cinco aspectos:

- **Amigable:** Se calificó el nivel de facilidades que otorga el controlador al usuario de la máquina.
- **Capacidad:** Se calificó con base a cuestiones como el rango de temperatura que soporta la lectura, la cantidad de controles que pueden llevarse a cabo simultáneamente, la cantidad de métodos de control diferentes y la cantidad de diferentes tipos de termocuplas que soporta.
- **Conexiones:** Se calificó la facilidad que otorga al momento de realizar e identificar las conexiones necesarias para su funcionamiento.
- **Abundancia en mercado:** Se calificó la facilidad para encontrar en el mercado guatemalteco.
- **Precio:** Se calificó qué tan económico era cada controlador a nivel de precio.

Luego de calificar cada uno de estos aspectos con una escala del 1 al 10, en donde 10 es el valor más alto y 1 el más bajo, se multiplicó por el peso dado a cada uno de estos aspectos, para finalmente sumar cada valor obtenido y contar con una nota total.

Cabe resaltar que los controladores que fueron sometidos a estas calificaciones fueron el controlador REX C-100 y el controlador N1040T, debido a que son los más fáciles de encontrar en la industria y mercado guatemalteco. Las calificaciones obtenidas pueden apreciarse en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Matriz de decisión para controlador de temperatura

Aspecto	Peso	Rex C-100	N1040T
Amigable	9	9	7
Capacidad	7	10	10
Conexiones	8	8	6
Abundancia en mercado	8	8	8
Precio	10	9	7
	TOTAL	369	315

Fuente: Elaboración propia

Considerando las puntuaciones que se muestran en el Cuadro 5, se decidió utilizar el controlador de temperatura REX C-100, debido a que sus características se adecuaban más para el proyecto que las del controlador N1040T.

Por otro lado, se tuvo que pasar por el mismo proceso de selección para el paro de emergencia que actuaría dentro del sistema eléctrico. Se tomaron en consideración los tres tipos de paro de emergencia abordados en el marco teórico, ya que son los comúnmente utilizados en la industria. La matriz de decisión realizada para este caso tomó en consideración los siguientes factores, los cuales fueron calificados bajo los mismos parámetros que en el caso del controlador de temperatura.

- **Simplicidad:** Se calificó el nivel de simplicidad al momento de activar o desactivar el paro de emergencia.
- **Seguridad:** Se calificó qué tanta seguridad brinda cada tipo de paro en base a cuestiones como la facilidad con la que podría activarse o desactivarse por accidente y si las conexiones internas brindan certeza al momento de que el paro esté en operación.
- **Precio:** Se calificó qué tan económico era cada tipo de paro de emergencia a nivel de precio.

El Cuadro 6 muestra las puntuación total obtenida para cada tipo de paro de emergencia considerado.

Cuadro 6: Matriz de decisión para tipo de paro de emergencia

Aspecto	Peso	<i>Push-Pull</i>	<i>Twist-Release</i>	<i>Key-Release</i>
Simplicidad	5	10	7	5
Seguridad	10	5	7	10
Precio	7	10	10	5
TOTAL		170	175	160

Fuente: Elaboración propia

En lo que atañe al sensor de temperatura, se debía utilizar una termocupla de tipo K, ya que el controlador de temperatura REX C-100 funcionaba con base a lecturas provenientes de una termocupla de este tipo.

5.8. Diseño final para sistema eléctrico

El diseño final para el sistema eléctrico se planteó con base en las ideas concebidas como diseños preliminares y en las decisiones tomadas por diferentes cuestiones enfocadas a la comodidad del usuario y a la compatibilidad con los otros sistemas que componen la compactadora. Este diseño puede apreciarse en la Figura 18.

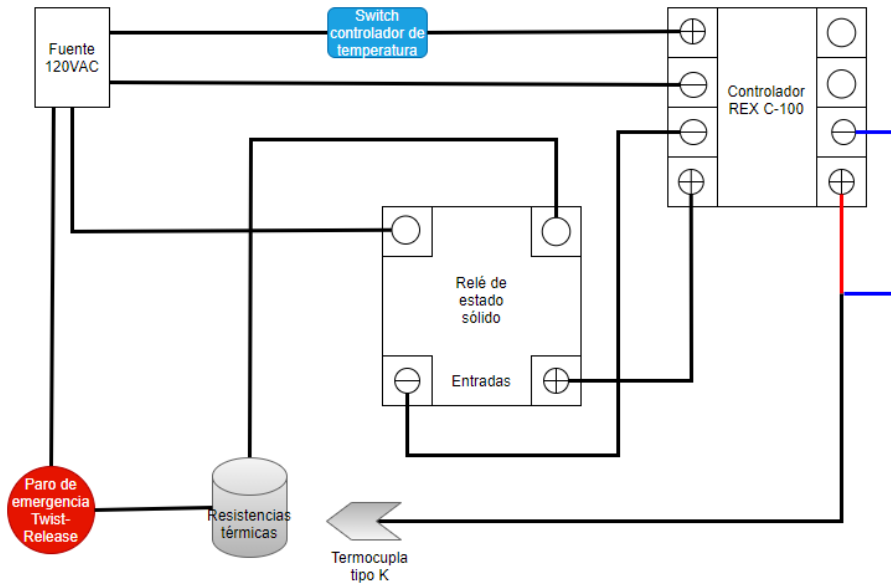


Figura 18: Diseño final para el sistema eléctrico

Fuente: Elaboración propia

El diseño de este sistema se compone por cinco componentes ubicados entre la fuente de corriente y lo que se quiere energizar, que en este caso se refiere a las resistencias térmicas propias del sistema de calentamiento de la máquina. Estos cinco componentes cumplen la función de proteger al usuario y al equipo, y al mismo tiempo, otorgan la capacidad de controlar la temperatura a la cual se quiere llevar a cabo la compactación del plástico PET dentro de los moldes. La razón y función de cada uno de esos cinco componentes es la siguiente:

1. **Paro de emergencia *Twist-Release*:** Es el primer componente del sistema a partir de la fuente de corriente debido a que tiene la función de desactivar la conexión directa que tienen las resistencias térmicas con la corriente al momento de ser activado. Soporta hasta 660V Y 10A. En la **Figura 19** puede apreciarse el componente.

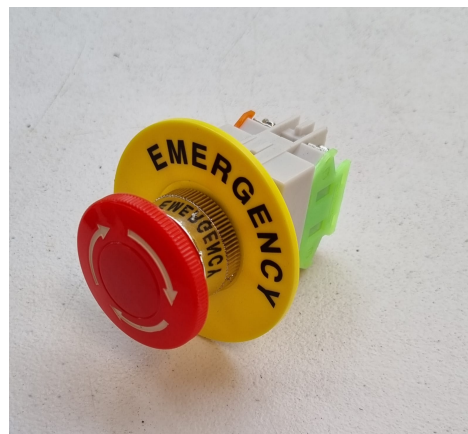


Figura 19: Paro de emergencia *Twist-Release*

2. **Switch para el controlador REX C-100:** Este *switch* tiene la función de abrir el paso de corriente a través del circuito para energizar al controlador. Por lo tanto, aunque el paro de emergencia no se encuentre activo, si este *switch* se encuentra en modo desactivado, el controlador REX C-100 no entrará en funcionamiento. Soporta hasta 250VAC y 12A. En la **Figura 20** puede apreciarse el componente.



Figura 20: *Switch* para controlador REX C-100

3. **Controlador REX C-100:** Este es el componente más importante de todo el sistema eléctrico, ya que es el que muestra al usuario la temperatura a la cual están operando las resistencias térmicas y el que las controla, por medio del relé de estado sólido, para que operen a la temperatura deseada. Este tiene un rango de lectura de temperaturas que va desde los 0 hasta los 400 grados Celsius utilizando una termocupla de tipo K. Además, soporta una fuente desde 100 hasta 240 VAC. En la **Figura 21** puede apreciarse el componente.



Figura 21: Controlador de temperatura REX C-100

4. **Relé de estado sólido:** El relé de estado sólido es necesario para proteger al controlador REX C-100 del uso continuo de los contactos. Este componente permite el funcionamiento del controlador prolongado en el tiempo y energiza a las resistencias térmicas. Este soporta una entrada desde 3 hasta 32 VDC y una salida desde 24 hasta 380VAC. En la **Figura 22** puede apreciarse el componente.



Figura 22: Relé de estado sólido

5. **Termocupla tipo K:** La termocupla tipo K es una de las terminaciones del sistema eléctrico, junto a las resistencias térmicas. Esta se encuentra en contacto directo con uno de los moldes para obtener la lectura correspondiente a la temperatura de este y se encarga de enviarla al controlador REX C-100. Cuenta con una terminal positiva y una terminal negativa que deben de ir conectadas a las terminales correspondientes en el controlador, y posee una longitud de cable de 2 metros. En la **Figura 23** puede apreciarse el componente.



Figura 23: Termocupla tipo K

5.9. Cálculos

5.9.1. Cálculo de valor agregado para el Centro Educativo Técnico Chixot

Para el cálculo del valor agregado que se le otorgaría al Centro Chixot por medio de la compactadora, fue necesario conocer factores relacionados al ladrillo utilizado anteriormente. Factores como peso de plástico PET contenido en el ecoladrillo y su tiempo de obtención. El **Cuadro 7** muestra estos factores, que fueron obtenidos mediante una entrevista con el contacto respectivo del lugar.

Cuadro 7: Peso y tiempo de obtención de ladrillo utilizado anteriormente

Peso (oz)	2.5
Peso (lb)	0.16
Tiempo de obtención (h)	1.5

Fuente: Elaboración propia

Añadido a estos factores, fue necesario conocer las dimensiones del ladrillo propuesto, para así poder calcular su volumen y, por medio de la densidad del plástico PET, calcular su peso. Además, también fue necesario utilizar la información relativa al número de ladrillos que pueden ser producidos en el mismo tiempo en el que se producían los ladrillo utilizados anteriormente. El nuevo ladrillo puede ser fabricado 2 veces en aproximadamente 2 horas y 40 minutos. El **Cuadro 8** muestra dicha información.

Cuadro 8: Dimensiones del ladrillo propuesto

Altura (mm)	300
Diámetro (mm)	100
Volumen (cm³)	2,356.19
Peso (g)	2,267.96
Peso (lb)	5

Fuente: Elaboración propia

Se decidió proseguir con este cálculo asumiendo un parámetro de valoración para los ladrillos relacionado con el precio que se maneja en el mercado para plástico PET reciclado. Se recopilaron varios precios de diferentes recicladoras del país y se estableció un precio promedio de 50 centavos de quetzal por libra de plástico PET. Si tomamos en consideración este precio y lo multiplicamos por las libras que se pueden producir con el método antiguo y utilizando la máquina, podemos obtener resultados de Q0.05 y Q1.87 por hora, respectivamente.

5.9.2. Cálculo de calibre para cableado

Según el libro titulado *Standard Handbook For Electrical Engineers*, de los autores H. Wayne Beaty y Donald G. Fink, para conocer el calibre necesario para el cableado es necesario conocer la ampacidad a raíz de los componentes que se buscaban energizar; para este caso, las resistencias térmicas. Se contaba con 8 resistencias de 300 vatios cada una, por lo que la potencia total era de 2,400 vatios. Además, fue necesario conocer la tensión de suministro proporcionado en el Centro Educativo Técnico Chixot, que es de 120 voltios. Con esta información y utilizando la **Ecuación 2** resultante de la Ley de Watt, fue posible calcular la corriente máxima que el cableado debería de transportar continuamente estando en operación.

$$I = \frac{P}{V} \quad (2)$$

Realizando el cálculo se obtuvo una corriente máxima a transportar de 20 amperios, pero se decidió aplicar un factor de 1.15 al cálculo para asegurar la correcta selección del calibre. Debido a esto, la corriente máxima a transportar pasó a ser de 23 amperios.

Una vez con el valor de ampacidad calculado, y siguiendo la metodología que se propone en la bibliografía ya mencionada, fue necesario conocer la temperatura máxima de operación para un cable con las características deseadas. Para este caso, se decidió utilizar un cable de alimentación con aislamiento de PVC (policloruro de vinilo) ya que es el tipo de cable comúnmente utilizado en electrodomésticos, por lo que los encargados del Centro Educativo Técnico Chixot se sentían más cómodos con este tipo de cable.

Ya identificadas estas características, se utilizaron las **Figuras 24** y **??** para conocer la temperatura máxima de operación y el calibre AWG según esta temperatura, respectivamente.

Trade Name	Type Letter	Maximum Operating Temperature	Application Provisions	Insulation	Thickness of insulation			Outer Covering ^d
					AWG or kcmil	mm	mils	
Moisture- and heat-resistant thermoplastic	THHW	75°C 167°F	Wet location	Flame-retardant, moisture- and heat-resistant thermoplastic	14-10	0.76	30	None
			Dry location		8	1.14	45	
		6-2			1.52	60		
		1-4/0			2.03	80		
		213-500			2.41	95		
		501-1000	2.79		110			
Moisture- and heat-resistant thermoplastic	THW ^d	75°C 167°F	Dry and wet locations	Flame-retardant, moisture- and heat-resistant thermoplastic	14-10	0.76	30	None
			Special applications within electric discharge lighting equipment. Limited to 1000 open-circuit volts or less (size 14-8 only as permitted in 410.33)		8	1.14	45	
		6-2			1.52	60		
		1-4/0			2.03	80		
		213-500			2.41	95		
		501-1000	2.79		110			
1001-2000	3.18	125						

Figura 24: Temperatura máxima de operación según las condiciones de aplicación

(Beaty & Fink, 2012)

Como puede apreciarse en la **Figura 24**, fue necesario definir las condiciones de la aplicación del cableado para poder determinar la temperatura máxima de operación. Para este caso las condiciones para la aplicación considerarían ubicaciones secas y húmedas, ya que la ubicación del Centro Educativo Técnico Chixot posee estas características. Por lo tanto, la temperatura máxima de operación sería de 75°C.

	Temperature Rating of Conductor (See Table 19-1)						
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)	
	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Types TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Types TW, UF	Types RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Types TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
Size AWG or kcmil	Copper			Aluminum or Copper-clad Aluminum			Size AWG or kcmil
18	—	—	14	—	—	—	—
16*	—	—	18	—	—	—	—
14*	20	20	25	—	—	—	—
12*	25	25	30	20	20	25	12*
10	30	35	40	25	30	35	10*
8	40	50	55	30	40	45	8

Figura 25: Ampacidades permitidas según calibre AWG

(Beaty & Fink, 2012)

Por último, con apoyo en la **Figura ??**, sabiendo que el conductor del cable sería de cobre y recordando que la corriente máxima calculada a transportar por el cable es de 23 amperios, se buscó este valor en dicha figura, concretamente en la columna correspondiente a 75°C por ser la temperatura máxima de operación. Se obtuvo que el primer calibre que cubre esta ampacidad es el 12 AWG, pudiendo soportar hasta 25 amperios. Por lo tanto, se seleccionó este calibre para el cableado en cuestión.

5.10. Proceso de manufactura

El proceso de manufactura se comenzó por realizar las conexiones necesarias para que el circuito funcionara correctamente. El cableado necesario se mostró en la **Figura 18**. Este se llevó a cabo utilizando cable de alimentación emparejado, debido a que es el tipo de cable que ofrecía un espectro más amplio en cuanto a calibres y es el cable con el cual se sentían más cómodos en el Centro Educativo Técnico Chixot. El calibre seleccionado fue el 12 AWG, que corresponde a un calibre en milímetros de 2.016 mm.

Pensando en el mantenimiento que se tendría que dar al sistema eléctrico y en que las personas encargadas del Centro Educativo Técnico Chixot y nosotros, fabricantes de la compactadora, tendríamos que realizar reconexiones repetidamente, se pensó en soldar terminales macho y hembra a los finales de los cables para agilizar el proceso de conexión. Para esto se utilizaron las terminales mostradas en la **Figura 26**, un cautín y estaño. En la

Figura 27 se muestra el proceso de soldadura de dichas terminales.



Figura 26: De izquierda a derecha: Terminal macho y terminal hembra



Figura 27: Proceso de soldadura de terminales a cables

Además, para facilitar la revisión y mantenimiento del sistema eléctrico para las personas encargadas en el Centro Chixot, se decidió etiquetar cada terminal de cada cable con un código. La Figura 28 muestra la forma en la que se se decidió colocar dichas etiquetas. De esta forma se le puede proporcionar a la gente del centro una tabla que indique las conexiones pertinentes a cada componente del sistema por medio de códigos.



Figura 28: Ejemplo de etiquetado de terminales

El siguiente paso fue adecuar una carcasa que cumpliera con la función de proteger a los componentes electrónicos aislándolos del exterior. Para esto se utilizó un gabinete metálico que puede apreciarse en la **Figura 29**. Este tenía unas dimensiones de 250 mm de alto, 200 mm de ancho y 150 mm de profundidad. Contaba con un sello para asegurar el cierre de la puerta y se abría por medio de una llave. Además, contaba con una placa interior desmontable con agujeros que podrían utilizarse para la fijación de componentes como el relé de estado sólido.



Figura 29: Gabinete metálico seleccionado

(CELASA, 2021)

Debido a la necesidad de tener un panel de control, se tomó la decisión de adaptar la puerta del gabinete metálico para poder incrustar los componentes con los cuales el usuario debe tener interacción. Ese fue el caso para el controlador, el *switch* de encendido para el controlador y el paro de emergencia.

Se procedió a cortar los orificios necesarios en la puerta del gabinete. Para esto se utilizó una caladora. Este procedimiento se llevó a cabo en el taller de la Universidad del Valle de Guatemala. En la **Figura 30** se muestran los agujeros cortados en la puerta del gabinete. Mientras que en la **Figura 31** se muestra el resultado final del panel de control, una vez colocados los componentes en su posición.



Figura 30: Agujeros gabinete



Figura 31: Panel de control

Para la seguridad y comprensión de los usuarios de la compactadora en el Centro Educativo Técnico Chixot, los componentes del panel de control fueron debidamente etiquetados. El resultado se muestra en la **Figura 32**.



Figura 32: Panel de control etiquetado

Una vez que se contó con el gabinete metálico, se procedió a fijar el relé de estado sólido en la placa desmontable. La **Figura 33** se muestra la configuración de este.

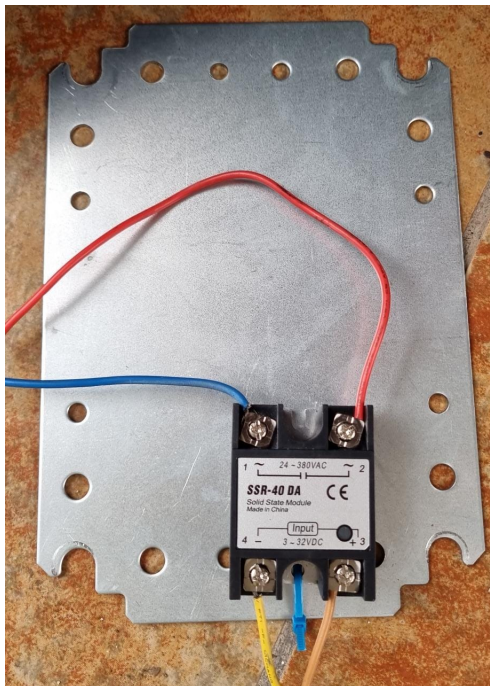


Figura 33: Relé fijo en placa desmontable de gabinete metálico

Luego, se procedió a conectar el sistema eléctrico con los componentes electrónicos en su posición, para después recubrir los cables de corriente con un aislante térmico unificador. Las Figuras 34 y 35 muestran el proceso de conexión del sistema eléctrico y el recubrimiento del cable de corriente, respectivamente.



Figura 34: Proceso de conexión de sistema eléctrico

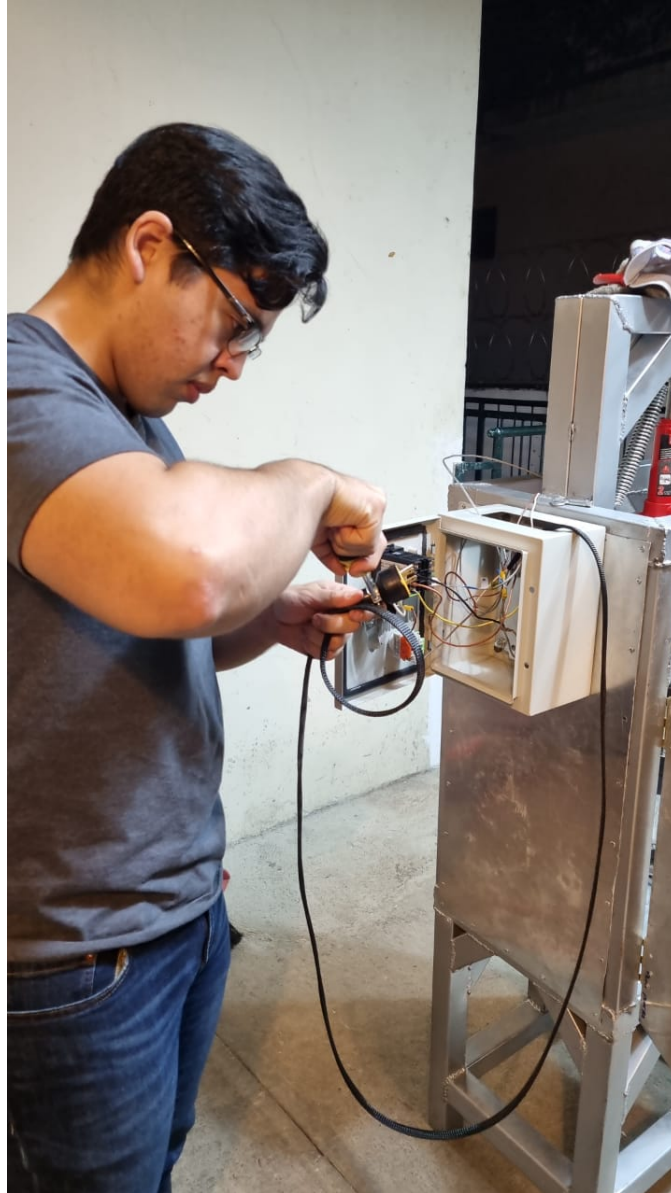


Figura 35: Proceso de recubrimiento de cable de corriente

5.11. Pruebas

Se llevó a cabo un protocolo de pruebas para determinar si el sistema eléctrico cumplía con todos los requerimientos mencionados anteriormente. Estas pruebas consistieron en la utilización de la máquina compactadora ya ensamblada en su totalidad. Este protocolo puede apreciarse en el **Anexo 1**.

6.1. Plan de trabajo

Con base en el procedimiento descrito en la metodología, se creó un plan de trabajo y se plasmó en forma de cronograma. La **Figura 36** muestra el código de colores utilizado para identificar el módulo o sistema correspondiente de la compactadora al cual pertenece cada actividad considerada en el plan de trabajo. Por otro lado, las **Figuras 37**, **38** y **39** muestran el plan de trabajo concebido.

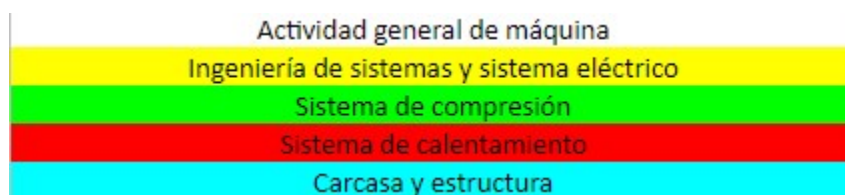


Figura 36: Leyenda para identificación de módulo por actividad

Fuente: Elaboración propia

Actividad	Febrero				Marzo					Abril		
	1 al 7	8 al 14	15 al 21	22 al 28	1 al 7	8 al 14	15 al 21	22 al 28	29 al 31	1 al 7	8 al 14	15 al 21
	Definición de producto a fabricar con la comunidad involucrada.	■										
Concretar términos de trabajo con comunidad involucrada y cuestiones financieras.	■	■										
Definición del rango de temperaturas de operación.		■										
Determinar qué resistencias eléctricas se utilizarán.		■										
Cuadro comparativo de sistemas de compresión.		■	■									
Revisión de material disponible en el taller de la universidad.		■	■	■								
Determinar el material del molde.		■	■	■								
Investigar los componentes y materiales disponibles en el mercado guatemalteco.		■	■	■	■							
Pruebas piloto del proceso para presentar producto a comunidad involucrada.		■	■	■	■	■						
Determinar los componentes y materiales a utilizar.		■	■	■	■	■						
Cotizar materiales no disponibles en la universidad para la estructura.		■	■	■	■	■						
Visita a comunidad para verificar necesidad y validar prototipo.		■	■	■	■	■						
Boceto de diseño general de máquina.							■	■	■			
Diseñar en software la carcasa.							■	■	■			
Diseño 3D del sistema de compresión.							■	■	■			
Diseño de acoplamiento para diferentes moldes.							■	■	■			
Recopilación de información en cuanto a tiempos necesarios de demás módulos.							■	■	■			
Reunión con encargados de módulos para programar fechas límites.							■	■	■			
Análisis de riesgos potenciales para proyecto.							■	■	■			
Diseño 3D del molde y el sistema de calentamiento.							■	■	■	■		
Comprar componentes del sistema de compresión.							■	■	■	■	■	
Creación de matriz de riesgos.							■	■	■	■	■	■

Figura 37: Plan de trabajo: Primera parte

Fuente: Elaboración propia

Actividad	Abril				Mayo					Junio				Julio			
	8 al 14	15 al 21	22 al 28	29 al 30	1 al 7	8 al 14	15 al 21	22 al 28	29 al 31	1 al 7	8 al 14	15 al 21	22 al 28	29 al 30	1 al 7	8 al 14	15 al 21
	Cálculo de valor añadido para centro.	■															
Análisis térmico y estructural con iteración.	■	■															
Ensamble de módulos en 3D.	■	■	■														
Análisis de esfuerzos y expansión térmica.	■	■	■														
Prototipo del molde.	■	■	■														
Comprar los materiales.	■	■	■														
Definición de condiciones de operación.	■	■	■														
Manufactura de primera iteración sistema de compresión.	■	■	■														
Determinar sistema de paro de emergencia para sistema de calentamiento a utilizar.	■	■	■														
Manufactura del molde y sistema de calentamiento.	■	■	■														
Comprar componentes electrónicos.	■	■	■														
Iteraciones y mejoras al diseño luego del análisis estructural y térmico.	■	■	■														
Comprar el material necesario.	■	■	■														
Prueba componentes electrónicos.	■	■	■														
Pruebas de la primera iteración del sistema de compresión.	■	■	■														
Ensamble del sistema eléctrico.	■	■	■														
Pruebas sistema eléctrico.	■	■	■														
Pruebas del sistema de calentamiento y molde.	■	■	■														
Manufactura de la estructura.	■	■	■														

Figura 38: Plan de trabajo: Segunda parte

Fuente: Elaboración propia

Actividad	Junio			Julio			Agosto						
	15 al 21	22 al 28	29 al 30	1 al 7	8 al 14	15 al 21	22 al 28	29 al 31	1 al 7	8 al 14	15 al 21	22 al 28	29 al 31
Correcciones al sistema de compresión.													
Pruebas del sistema de compresión.													
Creación de manual de usuario y mantenimiento.													
Ensamble de compactadora de plástico.													
Pruebas preliminares de la compactadora de plástico.													

Figura 39: Plan de trabajo: Tercera parte

Fuente: Elaboración propia

6.2. Valor agregado a Centro Educativo Técnico Chixot

Con base en lo explicado en la sección de metodología, se utilizó un precio promedio que pagan recicladoras por plástico PET de Q0.50. Este fue el parámetro para obtener el valor monetario que se generaba produciendo los ecoladrillos antiguos y el que se genera ahora al producir los ecoladrillos nuevos por medio de la compactadora. Estos resultados se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Comparación entre ecoladrillos

	Ecoladrillo antiguo	Ecoladrillo nuevo
Tiempo de obtención por unidad (h)	1.5	2.67
Peso de plástico PET (lb)	0.16	5
Valor monetario generado en una hora	Q 0.05	Q 1.87

Fuente: Elaboración propia

6.3. Matriz de riesgo del proyecto

La Figura 40 muestra los riesgos identificados con sus calificaciones de probabilidad y gravedad correspondientes, además del valor de riesgo calculado y su nivel de riesgo.

No.	RIESGO	Probabilidad (Ocurrencia)	Gravedad (Impacto)	Valor del Riesgo	Nivel de Riesgo
1	Incompatibilidad entre diseños de diferentes módulos.	1	5	5	Apreciable
2	Escasez de materiales en el mercado.	2	4	8	Apreciable
3	Atraso de entrega de materiales.	3	4	12	Importante
4	Indisponibilidad de taller para avanzar en proceso de manufactura.	4	3	12	Importante
5	Retraso general en plan de trabajo.	4	5	20	Muy grave
6	Insatisfacción por parte del Centro Educativo Técnico Chixot.	1	5	5	Apreciable

Figura 40: Matriz de riesgo del proyecto

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las Figuras 41 y 42 nos muestran la leyenda que especifica la clasificación según el valor de riesgo y las implicaciones que conlleva cada una de estas clasificaciones, respectivamente.

		GRAVEDAD (IMPACTO)					
		MUY BAJO 1	BAJO 2	MEDIO 3	ALTO 4	MUY ALTO 5	
PROBABILIDAD	MUY ALTA	5	5	10	15	20	25
	ALTA	4	4	8	12	16	20
	MEDIA	3	3	6	9	12	15
	BAJA	2	2	4	6	8	12
	MUY BAJA	1	1	2	3	4	5

Figura 41: Clasificación según nivel de riesgo

Fuente: Elaboración propia

	Riesgo muy grave. Deben aplicarse medidas preventivas con urgencia. No debe iniciarse el proyecto hasta que las medidas preventivas sean claras y se haya acotado el riesgo.
	Riesgo importante. Es obligatorio aplicar las medidas preventivas. Es necesario controlar las variables fuertemente.
	Riesgo apreciable. Estudiar de qué manera es posible introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. De no ser posible, mantener controladas las variables.
	Riesgo marginal. Debe vigilarse, pero no requiere medidas preventivas desde un inicio.

Figura 42: Medidas según clasificación

Fuente: Elaboración propia

Además, la Figura 43 muestra los planes de contingencia o de prevención para afrontar cada uno de los riesgos identificados.

No.	RIESGO	PLAN DE CONTINGENCIA/ MEDIDA PREVENTIVA
1	Incompatibilidad entre diseños de diferentes módulos.	Se llevará a cabo un proceso de iteración de diseño para eliminar incompatibilidad entre sistemas.
2	Escasez de materiales en el mercado.	Se acomodará el plan de trabajo de forma que la escasez de materiales no represente un atraso grave.
3	Atraso de entrega de materiales.	El plan de trabajo se realizará tomando en consideración un tiempo de duración pesimista para cada actividad. De esta forma se prevee el riesgo.
4	Indisponibilidad de taller para avanzar en proceso de manufactura.	El plan de trabajo se realizará tomando en consideración un tiempo de duración pesimista para cada actividad. De esta forma se prevee el riesgo.
5	Retraso general en plan de trabajo.	El plan de trabajo se realizará tomando en consideración un tiempo de duración pesimista para cada actividad. De esta forma se prevee el riesgo.
6	Insatisfacción por parte del Centro Educativo Técnico Chixot.	Se tomarán en cuenta las razones de la insatisfacción y se darán a conocer a la universidad, de modo que otros alumnos puedan proponer un diseño alternativo que pueda satisfacer sus necesidades.

Figura 43: Planes de contingencia y medidas preventivas por riesgos

Fuente: Elaboración propia

6.4. Manual de usuario y mantenimiento

Se desarrolló un manual de usuario que contempla las medidas de seguridad necesarias para operar la compactadora, las instrucciones de cómo utilizarla correctamente y las instrucciones para darle mantenimiento a cada módulo que la compone. Este manual puede apreciarse en el **Anexo 2**.

6.5. Sistema eléctrico

El sistema eléctrico cuenta con una espiga que se conecta a la corriente para energizar todo el sistema. La corriente puede ser interrumpida por un paro de emergencia que al mismo tiempo habilita un botón de encendido. Este botón enciende y apaga el controlador de temperatura con pantalla display, modelo REX C-100. Este ofrece la oportunidad de configurar un *set-point* o temperatura límite de operación y tiene una lectura que indica la temperatura de operación en tiempo real, obtenida por medio de una termocupla de tipo K que se conecta directamente a este controlador. Además, el controlador envía una señal por medio de un relé de estado sólido a las resistencias térmicas, ofreciendo protección al poder energizar y desenergizar dependiendo de la lectura que ofrezca la termocupla. Todo este sistema se encuentra protegido y aislado de las condiciones ambientales por un gabinete metálico con unas medidas de 250 milímetros de alto, 200 de ancho y 150 de profundidad. Las **Figuras 44** y **45** muestran el sistema eléctrico ensamblado a la compactadora de plástico.



Figura 44: Sistema eléctrico ensamblado en compactadora

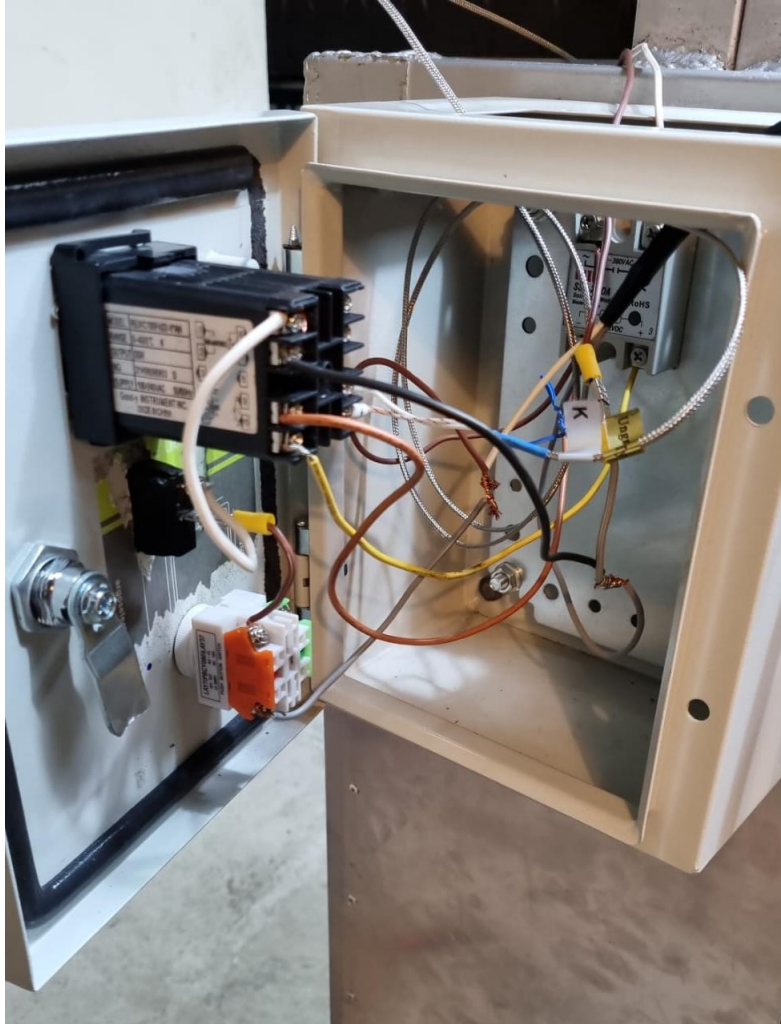


Figura 45: Interior de gabinete metálico

6.6. Cumplimiento de requerimientos

Segun las pruebas realizadas a la máquina compactadora, se pudo evaluar si los requerimientos establecidos anteriormente se cumplieron o no para el sistema eléctrico. Los Cuadros 10, 11 y 12 muestran estos resultados.

Cuadro 10: Cumplimiento de requerimientos funcionales

Código	Requerimiento	¿Cumplió?
FISSE-001	Las conexiones electrónicas deben estar identificadas por un código de color o etiquetas en los cables.	Sí

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 11: Cumplimiento de requerimientos operacionales

Código	Requerimiento	¿Cumplió?
OISSE-001	La unidad de reciclaje debe contar con una carcasa para proteger los componentes electrónicos del exterior.	Sí
OISSE-002	Debe contar con un panel de despliegue para el control de los parámetros variables.	Sí
OISSE-003	El panel de control debe tener identificadas las acciones como encender, accionar el paro de emergencia, apagar y modificar la temperatura.	Sí
OISSE-004	Las terminales electrónicas deben estar debidamente señalizadas.	Sí
OISSE-005	El operario debe de tener acceso a los componentes electrónicos en caso de que exista la necesidad de reconexión.	Sí

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 12: Cumplimiento de limitantes

Código	Requerimiento	¿Cumplió?
LISSE-001	El voltaje de operación debe ser de 120/240 V.	Sí
LISSE-002	Los componentes electrónicos deben de estar disponibles en el mercado guatemalteco.	Sí

Fuente: Elaboración propia

Análisis de resultados

Comenzando a analizar el plan de trabajo desarrollado que se muestra en las **Figuras 37, 38 y 39**, se puede mencionar que se tuvieron imprevistos que no permitieron cumplirlo según lo estipulado. Razones varias como la indisponibilidad del taller de la Universidad del Valle de Guatemala por horarios restringidos, cuestiones de salud y disponibilidad de los encargados de cada módulo, y retrasos de entregas por parte de proveedores fueron las principales responsables de esta situación. Cabe añadir que el plan de trabajo se desarrolló desde un inicio con una holgura de tiempo respecto a la fecha de entrega final. Esto permitió que el proyecto se sobrepusiera a estos eventos y lograra cumplir con los plazos límites de entrega.

En lo que atañe al valor agregado que otorgará la compactadora al Centro Educativo Técnico Chixot, puede verse en el **Cuadro 9** que, utilizando el precio promedio que pagan las recicladoras de Guatemala por plástico PET, la utilización de la compactadora de plástico daría un valor agregado de Q1.82 más de lo que generan actualmente con el método manual. Hay que recordar que actualmente, la gente encargada de la fabricación de ecoladrillos utiliza una hora efectiva de trabajo manual para completar la tarea. Mientras que, utilizando la compactadora, se pueden realizar otras actividades en los tiempos en los cuales se deja el plástico calentando. De esta forma, las personas ahorran tiempo con la compactadora en comparación con el método actual. Por esta razón, puede decirse que el valor agregado generado por la compactadora no es únicamente económico, sino que también genera un valor intangible en dirección de la comodidad de las personas del centro.

La matriz de riesgo mostrada en la **Figura 40** fue una herramienta útil al momento de que se presentara un imprevisto o de querer mitigar el riesgo potencial. Se pueden remarcar dos casos en concreto: el retraso que tuvo el proveedor de las resistencias eléctricas y la incompatibilidad entre los diseños de carcasa y estructura y el del sistema de compresión. Estos casos representaron un atraso de más de un mes en el plan de trabajo, ya que también se contaba con actividades dependientes, como el ensamble del sistema de calentamiento y

sistema eléctrico. Pero estos riesgos fueron mitigados o reducidos a su mínimo trabajando el plan de trabajo tomando en cuenta tiempos pesimistas e iterando los diseños de los sistemas incompatibles, como lo indicaba el plan de contingencia.

En cuanto al manual de usuario, que puede apreciarse en el **Anexo 2**, puede decirse que se realizó con el objetivo de proteger tanto a la gente del Centro Educativo Técnico Chixot como a la máquina en sí. Por medio de instrucciones claras y gráficas, el usuario que opere la compactadora podrá conocer el proceso adecuado para operar y dar mantenimiento. Esto garantiza un buen funcionamiento que pueda seguir dando valor al centro. El proceso por el cual se trabajó este manual tuvo que esperar hasta el final del ensamble de los diferentes módulos que componen a la compactadora de plástico debido a las iteraciones en los diseños de todos los sistemas. Además, hasta no terminar las pruebas no se tenía certeza de cuáles serían las instrucciones específicas para hacer que la máquina operara adecuadamente.

Desde una perspectiva general de la planeación y ejecución del proyecto, puede decirse que no todo el proceso se llevó a cabo de la manera esperada por los diferentes encargados de los diferentes módulos. Cuestiones como disponibilidad de material en la UVG o en el mercado guatemalteco condicionaron los diseños. Por ejemplo, solo se contaba con perfiles cuadrados de acero de 2 pulgadas en la UVG, por lo que el módulo correspondiente a la carcasa y estructura tuvo que adecuar sus diseños a dicho material. También puede mencionarse el caso del sistema de compresión, el cual tuvo que iterar sobre el primer diseño ideado porque solo se contaba con una barra rectangular de aluminio de 4 pulgadas por 1 pulgada. Estos casos provocaron desajustes en el cronograma realizado, ya que el cambio en el diseño de un solo módulo tenía repercusión en los otros diseños.

Puede mencionarse también que la ingeniería de sistemas de un proyecto debe estar consciente de imprevistos relacionados a errores cometidos por el equipo de trabajo. Se dio el caso en el cual el módulo de la carcasa y estructura de la compactadora se manufacturó erróneamente. Se cortaron perfiles a una medida más corta de la que se necesitaba para el ensamble del sistema de compresión. Esto no pudo corregirse utilizando otro perfil debido a que la disponibilidad de material no era suficiente como para volver a manufacturar la pieza. Debido a esto, se tuvo que modificar el sistema de compresión ya manufacturado, realizando un corte en las extensiones compresoras del mismo. Este error representó un atraso de 2 semanas en el cronograma, y repercutió teniendo que modificar el diseño de un sistema que ya estaba manufacturado en su totalidad. Por eso se considera que este tipo de imprevistos deben tomarse en cuenta dentro de los riesgos que amenazan un proyecto, debido a que gran parte de este se sostiene por la confianza que se tiene en el equipo de trabajo. No puede darse por hecho que siempre se dará el mejor de los casos.

En cuanto al sistema eléctrico, se cumplió con los requisitos establecidos. Todas las terminales de cables se encuentran identificadas por medio del etiquetado con código. Este código será otorgado al personal del Centro Chixot en caso de que sea necesario revisar las conexiones por alguna falla en su funcionamiento. Por otro lado, el sistema eléctrico es capaz de brindar la energía necesaria para hacer funcionar las resistencias térmicas y calentar el molde por medio de una conexión en paralelo. Esto se realizó de esta manera debido a que una conexión en paralelo no presenta caídas de tensión, como sí lo hace una conexión en serie. Además, el sistema se encuentra protegido del exterior por un gabinete y el usuario de la máquina puede acceder a él por medio de la utilización de una llave.

1. Se desarrolló un plan de trabajo que tomó en cuenta los diferentes diseños y actividades dependientes y aseguró la compatibilidad funcional entre los módulos de la compactadora.
2. Se diseñó el sistema eléctrico capaz de energizar las resistencias eléctricas para calentar el molde de la compactadora, con la posibilidad de variar el parámetro de temperatura en caso de que se desee.
3. Se desarrolló un cronograma de trabajo, mostrado en las **Figuras 37, 38 y 39**, en donde se especificaron los tiempos necesarios para llevar a cabo cada actividad correspondiente a cada uno de los cuatro módulos que componen la compactadora.
4. Se tomaron en cuenta los riesgos potenciales que amenazaban al proyecto y, por medio de una matriz de riesgo, que se muestra en la **Figura 40**, fueron cuantificados y analizados para crear un plan de contingencia según el valor de riesgo asignado.
5. Se llevó a cabo un análisis de valor agregado para el Centro Educativo Técnico Chixot en donde se determinó que el impacto de la compactadora es positivo, tanto en el ámbito económico como en el ámbito de la comodidad, en comparación con el método actual para la fabricación de ecoladrillos.
6. Se diseñó e implementó un sistema eléctrico a la compactadora capaz de operar con la tensión de distribución de energía eléctrica de 120 voltios disponible en el Centro Educativo Técnico Chixot.
7. Se diseñó e implementó un paro de emergencia contenido dentro del sistema eléctrico capaz de desconectar la máquina de la corriente eléctrica, protegiendo así al usuario en caso de emergencia.
8. Se creó un manual de usuario en donde se especifican las normas de seguridad para protegerse al momento de operar la máquina, las instrucciones de uso para un funcionamiento adecuado y las instrucciones para dar mantenimiento a cada módulo.

Recomendaciones

- Agregar un *switch* de control exclusivo para las resistencias eléctricas. De esta manera puede utilizarse el controlador de temperatura sin tener las resistencias eléctricas encendidas.
- Investigar una manera de conectar más de una termocupla al controlador de temperatura REX C-100.
- Realizar el análisis de costo-beneficio en conjunto con los demás módulos, para determinar si la implementación de más moldes sería conveniente considerando las modificaciones necesarias a la compactadora y el aumento en los costos de materiales y componentes.

- ABB. (2015). Emergency Stops. *Training guide No. 2*. <https://library.e.abb.com/public/e32f367d17642f29852575d20068205e/1SXU150186X0201.pdf>
- Ali Najim Abdullah, M., H. (2020). *Direct torque control of IM using PID controller* (Universitario). College of Engineering, University of Diyala. Iraq. https://www.academia.edu/43734625/Direct_torque_control_of_IM_using_PID_controller
- Aveen Uthman, S. S. (2018). *Antenna Azimuth Position Control System using PID Controller & State-Feedback Controller Approach* (Universitario). Sulaimani Polytechnics University. Iraq. https://www.academia.edu/43667068/Antenna_Azimuth_Position_Control_System_using_PID_Controller_and_State_Feedback_Controller_Approach
- Beaty, H. W. & Fink, D. G. (2012). *Standard Handbook For Electrical Engineers* (16th). McGraw Hill.
- Cables. (2019). Single Strand Wire: Types of Electrical Wires. <https://cables.ph/2019/08/01/single-strand-wire-types-of-electrical-wires/>
- CELASA. (2021). GABINETE METALICO IP66 250X200X150MM CON PLACA ARGOS. <https://celasa.com.gt/shop/product/gab09-gabinete-metalico-ip66-250x200x150mm-con-placa-argos-90?search=gabinete+metalico#attr=>
- Electrónica, L. (2021). CABLE PARALELO BIMETÁLICO SPT 2X14, BLANCO - METRO. <https://laelectronica.com.gt/cable-paralelo-bimetalico-spt-2x14-blanco---metro>
- Energuate. (2016). Seguridad eléctrica. <https://www.energuate.com/seguridad-el-ctrica>
- fastlec. (2020). Emergency Stop Button Twist Release + 1 N/O and Collar. <https://www.fastlec.co.uk/emergency-stop-button-twist-release-1-n-o-and-collar>
- González, A. L. (2018). La guerra del plástico. *elPeriódico*. <https://elperiodico.com.gt/domingo/2018/07/22/la-guerra-del-plastico/>
- Incable. (2017). CABLES DE ALUMINIO MÚLTIPLEX AAC 600V XLPE TRIPLEX. <http://incable.com/producto?id=12>
- Mayers, C. (2019). Clasificación de los Cables Eléctricos. <https://www.casamayers.com.mx/blog/clasificacion-de-los-cables-electricos/>

- Mohammed Alhashimi, M. T., Kadhim Nukhailawi, Y. J. & Tahseen Ali, A. (2019). Review on Electrical Wiring (Types, Sizes and Installation). https://www.researchgate.net/publication/339786179_Review_on_Electrical_Wiring_Types_Sizes_and_Installation
- Project Management Institute, I. (2017). *A guide to the project management body of knowledge* (6th). PMI - Global Standard. <https://book.akij.net/eBooks/2018/March/5abcc35b666f7/a%5C%20guide%5C%20to%5C%20the%5C%20project%5C%20management%5C%20body%5C%20of%5C%20knowledge%5C%206e.pdf>
- Recalde, D. X. (2015). *Control On-Off de temperatura con Arduino* (Universitario N.º 1). Universidad de las fuerzas armadas. Ecuador. https://www.academia.edu/15210722/CONTROL_ON_OFF_LM35
- Review, P. (2019). Tipos de cable de par trenzado: cables UTP, cables STP y cables FTP. <https://www.profesionalreview.com/2019/01/26/cables-utp-cables-stp-cables-ftp/>
- Shea, G. & Dunbar, B. (2019). An Overview of the SE Engine by Project Phase. https://www.nasa.gov/seh/2-2_overview-se-engine
- Steren. (2020). Cable plano de 24 vías, color gris. <https://www.steren.com.gt/cable-plano-de-24-vias-color-gris.html>
- Steren. (2021a). Cable de alimentación (Interlock), de 2 m. <https://www.steren.com.gt/cable-de-alimentacion-interlock-de-2-m.html>
- Steren. (2021b). Cable multiconductor de 4 vías, 22 AWG. <https://www.steren.com.gt/cable-multiconductor-de-4-vias-22-awg.html>
- Wire, W. (2021). 14/2 UF-B WG Underground Feeder Direct Burial. <https://wirewireelectricssupply.com/product/14-2-uf-b-wg-underground-feeder-wire-cable/>

CAPÍTULO 11

Anexos

Anexo 1. Protocolo de pruebas

UVG - Trabajo de graduación

Juan Diego Girón Córdón - 16138

Ricardo Javier Herrera Contreras - 16749

Erick Eduardo Lafuente Hillermann - 16161

Arturo José González Ruiz - 16896



Protocolo de pruebas

“Diseño y manufactura de un prototipo de una compactadora de plástico para el Centro Educativo Técnico Chixot”

Octubre 27, 2021

Alcance

El siguiente documento describe el procedimiento a seguir para fabricar dos ecoladrillos simultáneamente en la máquina compactadora. En este se describen los pasos cronológicos a seguir, el equipo necesario y las medidas de seguridad para operar la máquina adecuadamente y evitar cualquier riesgo.

Las pruebas se enfocaron en medir la temperatura y el tiempo adecuado para lograr un producto funcional por medio de la compactación del plástico reciclado, el cual debe ser firme y rígido al momento de su extracción.

Objetivos

1. Determinar si la temperatura de operación propuesta (180 °C) es adecuada para la obtención de un ecoladrillo utilizando una cámara termográfica.
2. Determinar si la capacidad del gato hidráulico (2 toneladas) es suficiente para obtener un ecoladrillo.
3. Determinar el tiempo necesario desde el ingreso del plástico al molde hasta que se realiza la última compresión para obtener dos ecoladrillos.
4. Determinar el tiempo necesario desde que se realiza la última compresión hasta que la lectura de temperatura sea de 50 °C.

Materiales y equipo

- Llaves de tuercas (Allen ¼" e inglesa de ¼")
- Plástico PET reciclado (retazos)
- Cronómetro
- Cinta métrica
- Balanza electrónica
- Lentes de seguridad
- Guantes de seguridad resistentes al calor
- Botas de punta de acero
- Bata para taller
- Kit de primeros auxilios
- Extintor

Medidas de seguridad

Las pruebas se llevaron a cabo dentro de un garaje grande y despejado con conexión a un tomacorrientes de 120V por medio de una extensión. Todos los integrantes del grupo deben de utilizar guantes y lentes de protección para evitar quemaduras provocadas por el calor producido por la resistencia y que los pedazos de plástico tengan contacto con los ojos. A excepción de Ricardo Herrera, quien es el encargado de supervisar la operación y se debe asegurar de que se cumplan con las medidas de seguridad adecuadas. Además, mientras la

máquina se encuentre operando, se debe mantener la puerta cerrada para evitar cualquier contacto accidental con los moldes y las resistencias.

- **Teléfonos de emergencia:**

- Bomberos municipales: 123
- Alerta médica: 1711
- Juan Diego Girón: 3011-2202 (Mónica Cordón)
- Eduardo Lafuente: 5493-8563 (Erick Lafuente)
- Ricardo Herrera: 3115-4732 (Ricardo Herrera)
- Arturo González: 4219-8059 (Sergio González)

Consideraciones

En cada prueba se debe insertar residuos de plástico PET en el molde. A partir de la segunda prueba se debe extraer la totalidad del plástico comprimido de la prueba anterior y limpiar el molde. Todo esto con el fin de evitar que las pruebas sean afectadas por restos plásticos ya deformados.

Además, se debe dejar enfriar el molde a una temperatura de 50 °C, capaz de resistir el calor con guantes de seguridad, y con el gato hidráulico ejerciendo presión para mantener cerrado el molde. De esta manera, se evitará una posible deformación en el plástico durante el curado.

Esquemmatización de la máquina

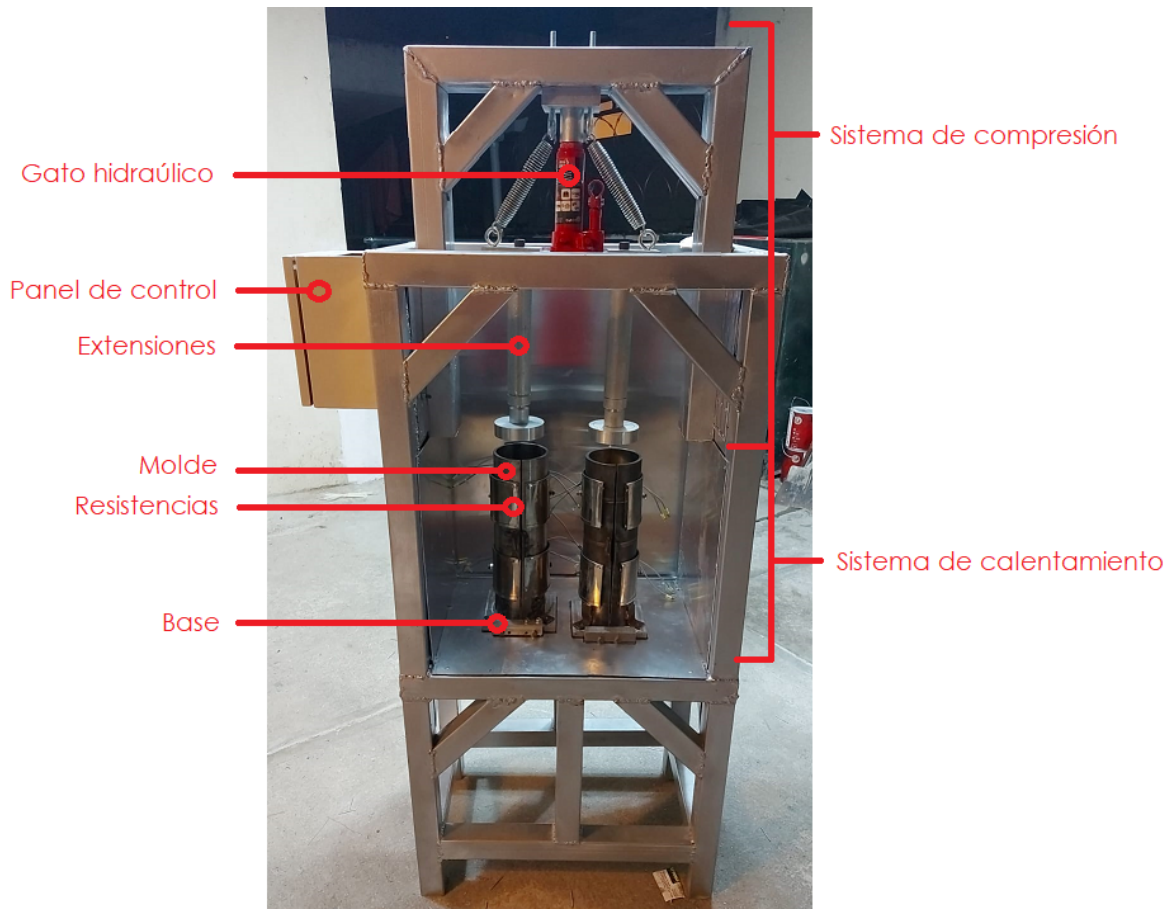


Figura 1. Esquema de la máquina

Procedimiento de preparación y configuración

1. Asegurarse que todos cuentan con el equipo de protección y vestimenta adecuada.
2. Verificar que se cuenta con los materiales y equipo necesario para llevar a cabo las pruebas.
3. Verificar que el paro de emergencia esté presionado, como se muestra en la **Figura 2**.

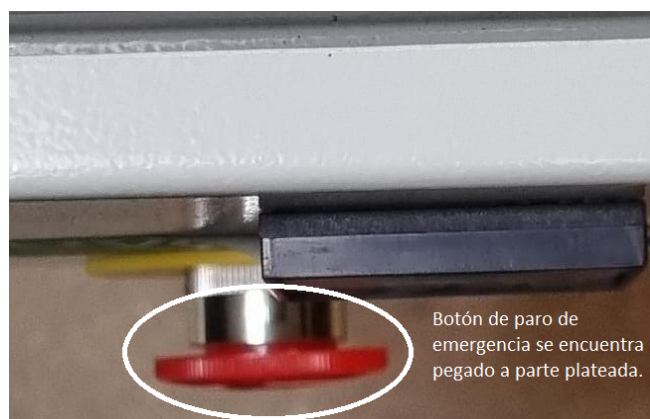


Figura 2. Paro de emergencia activado

4. Verificar que el botón de encendido se encuentre apagado, con el símbolo "O" presionado. Este se muestra en la **Figura 3**.



Figura 3. Botón de encendido desactivado

5. Ajustar el gato hidráulico a su posición inicial al igual que las extensiones del sistema de compresión. En esta posición, la placa en donde se encuentra sostenido el gato hidráulico se encuentra alineada con el perfil superior de la estructura, como se muestra en la **Figura 4**.

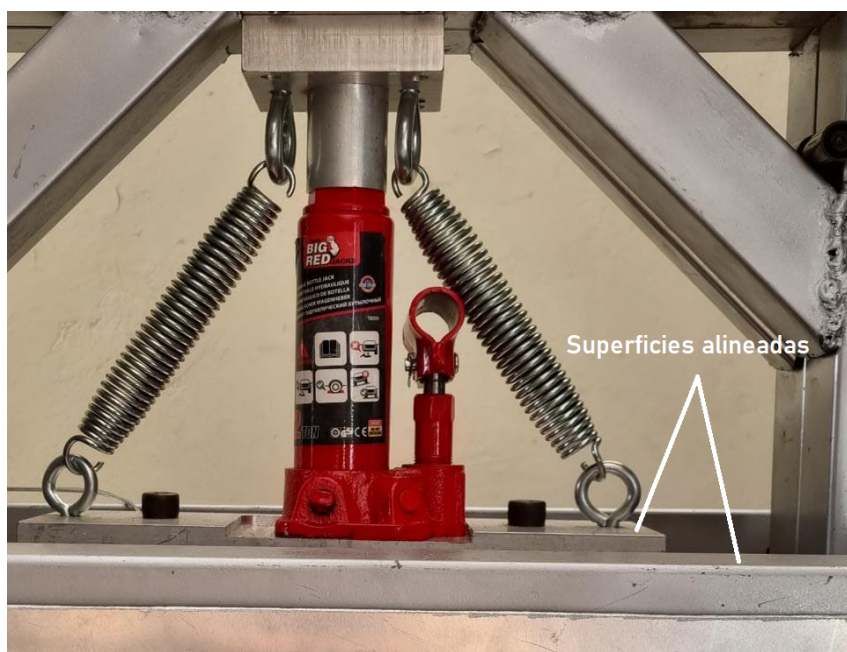


Figura 4. Posición inicial de sistema de compresión

6. Verificar que la máquina esté conectada a la corriente con un voltaje de distribución de 120V.
7. Asegurar que las resistencias eléctricas estén fijadas a cada cavidad de los moldes, las cuales deben estar pegadas a la superficie. (Nota: no se deben apretar los tornillos completamente, solamente se debe buscar un contacto directo entre las superficies).

- Colocar un molde en cada base y asegurarlo con los tornillos, como se muestra en la **Figura 5**.



Figura 5. Proceso de sujeción de cavidades por medio de tornillos

- Verificar que las conexiones del sistema eléctrico cumplan con la descripción que se muestra en las tablas 1, 2, 3, 4 y 5, siguiendo el etiquetado de los cables. Las figuras 6, 7, 8 y 9 muestran las terminales del paro de emergencia, botón de encendido, controlador de temperatura y relé de estado sólido de acuerdo al código de las etiquetas mostrado en las tablas.

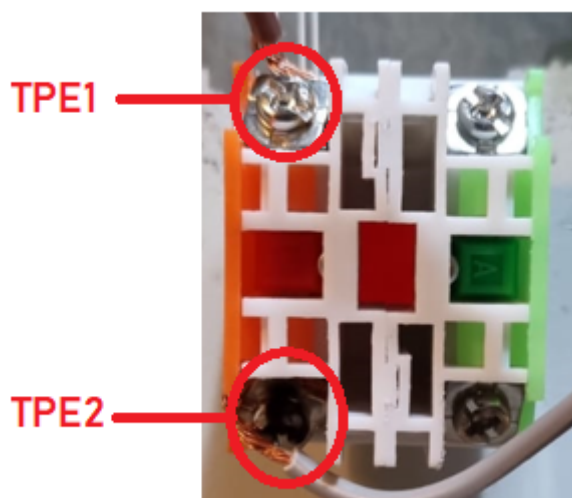


Figura 6. Terminales paro de emergencia

Tabla 1. Etiquetas que indican conexiones para paro de emergencia

Paro de emergencia	
De	Hasta
TPE1	TB2
TPE2	P

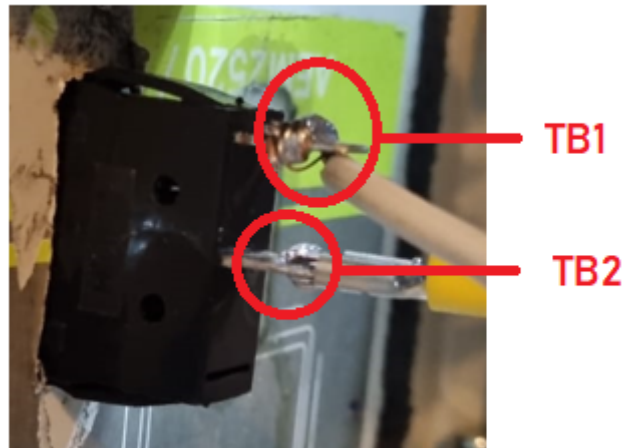


Figura 7. Terminales botón de encendido

Tabla 8. Etiquetas que indican conexiones para botón de encendido

Botón de encendido	
De	Hasta
TB1	TC1
TB2	TPE1

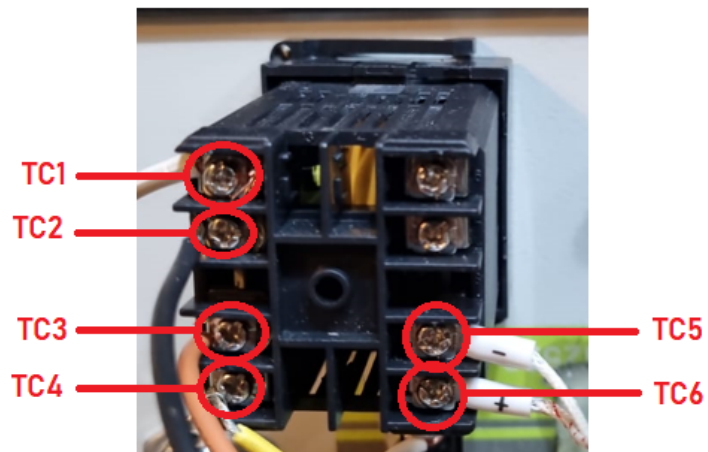


Figura 8. Terminales controlador de temperatura

Tabla 3. Etiquetas que indican conexiones para controlador de temperatura

Controlador de temperatura	
De	Hasta
TC1	TB1
TC2	N
TC3	TR4
TC4	TR3
TC5	TT1
TC6	TT2



Figura 9. Terminales relé de estado sólido

Tabla 4. Etiquetas que indican conexiones para relé de estado sólido

Relé de estado sólido	
De	Hasta
TR1	P
TR2	TRP1
TR3	TC4
TR4	TC3

Tabla 5. Etiquetas que indican conexiones para resistencias térmicas

Resistencias térmicas		
De	Por	Hasta
TRP1	PP1	PR1
PP2	Conexión directa	PR2
PP3	Conexión directa	PR3
PP4	Conexión directa	PR4
PP5	Conexión directa	PR5
PP6	Conexión directa	PR6
PP7	Conexión directa	PR7
PP8	Conexión directa	PR8
N	NP1	NR1
NP2	Conexión directa	NR2
NP3	Conexión directa	NR3
NP4	Conexión directa	NR4
NP5	Conexión directa	NR5
NP6	Conexión directa	NR6
NP7	Conexión directa	NR7
NP8	Conexión directa	NR8

10. Liberar el paro de emergencia girando el botón en sentido horario. En la **Figura 10** se muestra el modo desactivado del paro de emergencia.



Figura 10. Paro de emergencia desactivado

11. Encender el sistema eléctrico con el botón de encendido con el símbolo "I" presionado.
12. Ajustar la temperatura límite (set point) en el panel de control entre 50°C y 80°C.
13. Realizar el procedimiento de pre-compresión de plástico que se describe a continuación.

Procedimiento de pre-compresión de plástico

1. Pesarse el recipiente en el cual se tiene el plástico que ingresará al molde y anotar la medición.
2. Introducir los residuos de plástico dentro del molde, hasta alcanzar una altura de 5 cm por debajo de la superficie superior del molde.

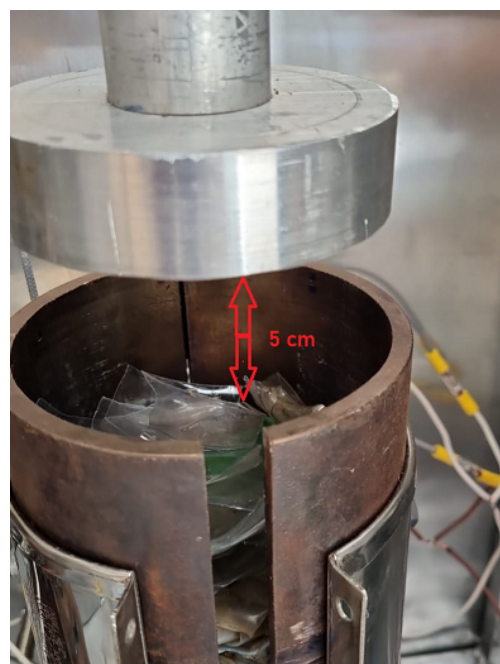


Figura 11. Nivel de llenado de molde con retazos de plástico

3. Girar en sentido horario las extensiones para alargar la estructura del sistema de compresión hasta que ya no puedan seguirse extendiendo.
4. Realizar una precompresión, accionando la palanca del gato hidráulico, hasta alcanzar el límite del mismo.
5. Retraer el gato hidráulico liberando la presión girando en sentido contrario a las agujas del reloj la válvula de alivio que se muestra en la **Figura 12**.



Figura 12. Válvula de alivio de gato hidráulico

6. Girar en sentido antihorario las extensiones para contraer la estructura del sistema de compresión hasta que tope.
7. Repetir pasos 1 a 6 hasta que el disco compactador esté a la misma altura de la superficie del molde, como se muestra en la **Figura 13**.

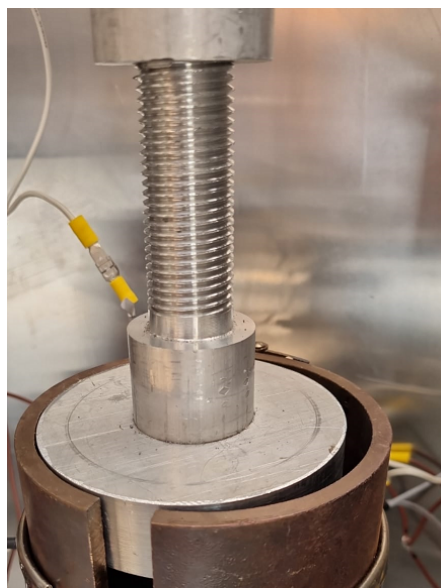


Figura 13. Disco compactador alineado con superficie superior del molde

Procedimiento de compactación

1. Aumentar la temperatura límite (set point) en el panel de control hasta 160 °C.
2. Compactar el plástico hasta que el gato hidráulico ya no se extienda más.
3. Apagar el sistema eléctrico con el botón de encendido, con el símbolo "O" presionado.
4. Presionar el paro de emergencia.
5. Cronometrar el tiempo de enfriamiento hasta que el molde alcance una temperatura de 50°C.
6. Liberar la presión del gato hidráulico girando la válvula de alivio, regresando todo el sistema de compresión a su posición inicial de seteo.
7. Separar las cavidades del molde, retirando los tornillos en las pestañas, para extraer la pieza compactada (un molde a la vez). La **Figura 14** muestra esta separación.



Figura 14. Separación de molde para retiro de plástico

8. Unir nuevamente las cavidades del molde después de extraer la pieza compactada apretando los tornillos en las pestañas.
9. Pesar nuevamente el recipiente en donde se encuentra el plástico que ingresa al molde, para restarlo con el peso inicial de este y obtener la diferencia.

Resultados

Previo a la prueba (llenado completo)			
No. Prueba	No. Precompresión	Pre-calentamiento (°C)	Tiempo de pre-compresión (min)
1	1	180	8
1	2	180	9
1	3	180	8
1	4	180	9
1	5	180	8
1	6	180	8
2	1	180	11
2	2	180	12
2	3	180	12
2	4	180	14
3	1	180	10
3	2	180	11
3	3	180	7
3	4	180	8
3	5	180	9
4	1	180	14
4	2	180	8
4	3	180	11
4	4	180	7
4	5	180	9

Posterior a la prueba					
No. Prueba	Tiempo enfriamiento (min)	Temperatura extracción (°C)	Altura final (cm)	Tiempo de extracción (min)	Peso de ecoladrillo obtenido (g)
1	88	44	15	6	575
2	96	45	12	4	480
3	82	50	12	5	472
4	93	49	15	6	615



Figura 15. Ecoladrillos obtenidos

Anexo 2. Manual de usuario

Manual de usuario

Compactadora de plástico



**Universidad del Valle de Guatemala
Centro Educativo Técnico Chixot
2021**

Introducción

Este manual es para una compactadora de plástico PET construida en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala para el Centro Técnico Educativo Chixot. Esta compactadora está diseñada para compactar dos ecoladrillos por hora aproximadamente. Todas las normas y procedimientos detallados en este manual deben seguirse de manera exacta para garantizar un buen funcionamiento y la seguridad del usuario y de la máquina.

La Universidad del Valle de Guatemala y el grupo de estudiantes involucrado en el diseño y manufactura de la compactadora no se hace responsable de malos manejos, fallos causados por manipulaciones externas o condiciones ambientales de red como bajones de tensión, o desastres naturales.

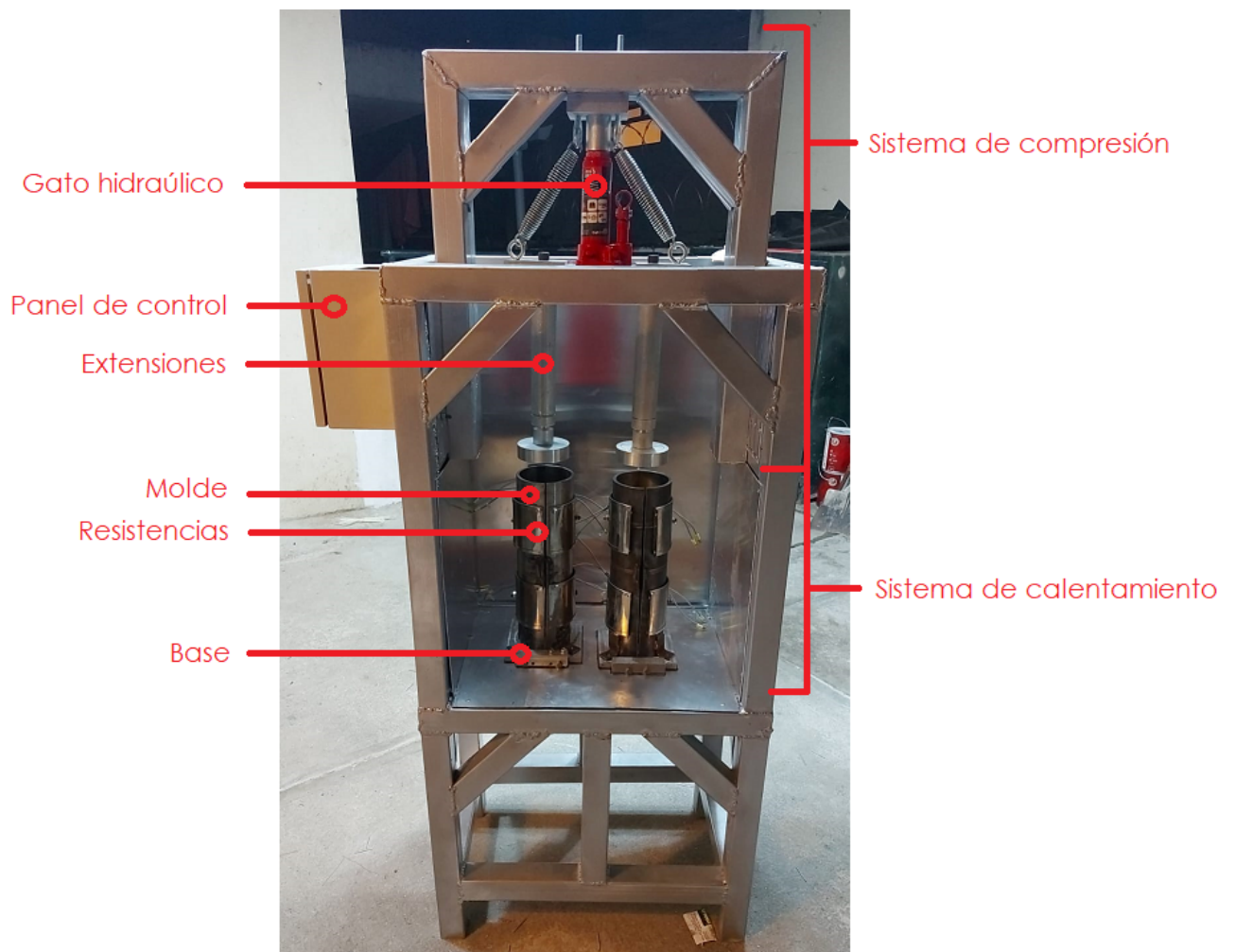


Figura 1. Esquemmatización de la máquina



Figura 2. Vista isométrica de compactadora de plástico

Normas de seguridad durante la operación

1. Estudiar, entender y seguir todas las instrucciones antes de operar este equipo.
2. La máquina solo deberá ser utilizada según lo establece este manual.
3. El mantenimiento, ajuste y limpieza de la compresora debe realizarse únicamente cuando se encuentre apagada la máquina y desconectado el sistema eléctrico de la corriente eléctrica para evitar encendidos accidentales y serios daños a personas.
4. Previo a ingresar plástico a los moldes, este debe estar limpio y cortado de la manera que se muestra en la **figura 3**. Los retazos cortados deben tener un tamaño menor a la palma de la mano.



Figura 3. Retazos de plásticos

5. La compactadora solo debe ser operada por personas mayores a 16 años y con capacidad de lectura.
6. Además del equipo de protección personal descrito posteriormente, el operador debe vestir con pantalón, zapatos cerrados y camisa cerrada.
7. Antes de comenzar a utilizar la compactadora, asegúrese que esté firme y estable sobre el suelo.
8. Introducir únicamente plástico tipo tereftalato de polietileno (PET).
9. La máquina únicamente se puede operar cuando se llevan puestos guantes contra calor.
10. Siempre que se opere la compactadora, se deben utilizar ambos moldes por igual. Ya que utilizar únicamente un molde genera inestabilidad y puede dañar los componentes de la máquina.
11. La compactadora debe ser utilizada por dos personas. Se recomienda llenar un molde y manipular una extensión del sistema de compresión por persona.
12. Se recomienda fuertemente la presencia de una tercera persona mientras se opera la compactadora, de preferencia cerca del paro de emergencia en caso de que sea necesario presionarlo.
13. Confirmar que los alrededores de la máquina se encuentran libres de basura y estorbos que puedan dificultar la operación o introducirse en la máquina.

Pictogramas

<p>Utilice gafas protectoras.</p>	
<p>Utilice guantes protectores de calor.</p>	
<p>Se recomienda el uso de calzado de seguridad con punta de acero.</p>	
<p>Lea el manual de instrucciones antes de utilizar la máquina.</p>	

Instrucciones de uso

1. Asegurarse de lavar y cortar bien el plástico antes de introducirlo a los moldes.
2. Colocarse el equipo de seguridad.
3. Asegurarse de que la máquina se encuentra con el paro de emergencia activo como se muestra en la **figura 4**.



Figura 4. Paro de emergencia presionado

4. Asegurarse de que el sistema de compresión se encuentre totalmente retraído, alineando la placa que sostiene al gato hidráulico con el perfil superior de la estructura.

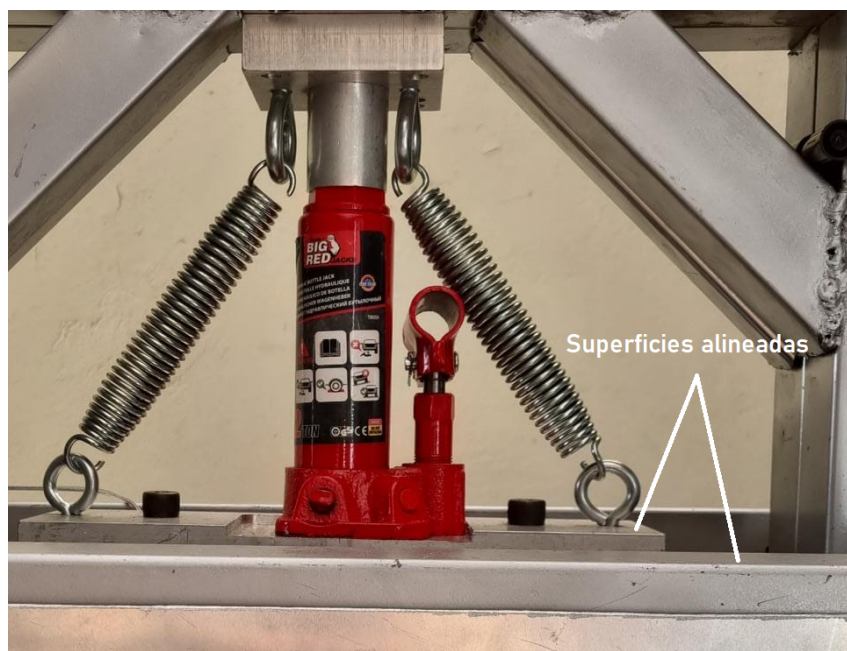


Figura 5. Sistema de compresión retraído y placas alineadas

5. Retirar los tornillos de las pestañas del molde y los tornillos que lo sujetan a la base y abrir las cavidades para realizar una inspección y, de ser necesario, limpiar residuos de plástico utilizando un cepillo de alambre.



Figura 6a. Tornillos de las pestañas del molde

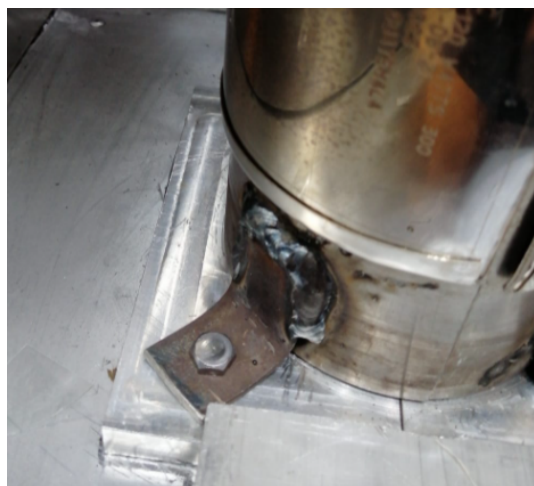


Figura 6b. Tornillos de la base del molde

6. Cerrar moldes y asegurar que el cierre de estos sea apropiado apretando los tornillos de las pestañas y de la base.
7. Girar y jalar el paro de emergencia para desactivarlo.
8. Colocar switch de controlador en posición de encendido.

9. Proceso de configuración de temperatura límite de operación:

<p>a. Asegurarse de que la temperatura límite de operación (<i>setpoint</i>) sea de 180°C (esto lo indica el número en color rojo en la pantalla del controlador). Si esta condición se cumple, pasar al paso 10. Si no, pasar al paso b.</p>	
<p>b. Presionar el botón SET para entrar en proceso de configuración de temperatura límite de operación.</p>	
<p>c. Desplazarse utilizando las flechas del panel del controlador para modificar la temperatura límite de operación.</p>	

- d. Presionar el botón SET para salir del proceso de configuración de temperatura límite de operación.

BOTÓN SET



10. Proceso de llenado de moldes:

- Ingresar el plástico hasta que los dos moldes se llenen de material hasta aproximadamente 3 centímetros antes de llegar a su superficie..
- Extraer la extensión de las columnas compresoras, girándolas en sentido horario, hasta que el plástico no permita extender más y sin rebasar la marca negra en la rosca de la extensión.

Figura 7. Proceso para extraer las extensiones



Figura 8. Sección roscada marcada



- c. Bajar el sistema de compresión por medio de la palanca hasta que ya no baje más el sistema de compresión. Este proceso se muestra en la **figura 9**.

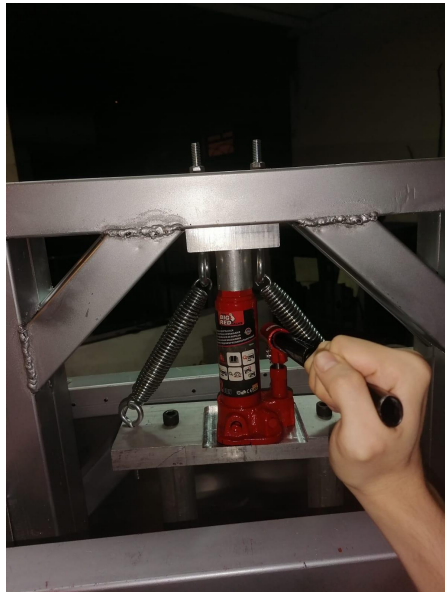


Figura 9. Procedimiento para bajar el sistema de compresión

- d. Si ya se alcanzó la altura deseada para el ecoladrillo, avanzar al paso 11. De lo contrario, esperar 2 minutos mientras el plástico recién ingresado se calienta.
- e. Utilizar la sección de menor diámetro de la palanca para liberar la presión del gato hidráulico, girando ligeramente en sentido antihorario, como se muestra en la **figura 10**, haciendo que este regrese a su posición original.



Figura 10. Liberación de la válvula de alivio del gato hidráulico

- f. Retraer las extensiones de las columnas compresoras hasta su posición original, girándolas en sentido antihorario.
 - g. Si el molde tiene espacio disponible para ingresar más plástico, regresar al paso 7a. Si este no es el caso, pasar al paso 11.
11. Cerrar la puerta de la estructura.
 12. Esperar entre 15 y 20 minutos mientras el plástico se termina de calentar.
 13. Apagar el controlador para apagar las resistencias..
 14. Esperar a que el panel del controlador muestre una temperatura de 40 °C (se debe prender el controlador con el botón de encendido para verificar la lectura de temperatura e inmediatamente apagarlo para que siga enfriándose).
 15. Una vez alcanzada la temperatura de 40 °C, presionar el paro de emergencia.
 16. Abrir la puerta de la estructura.
 17. Liberar la presión del gato hidráulico cómo se hizo en el paso 7d.
 18. Proceso de extracción de los ladrillos de plástico (un molde a la vez):
 - a. Quitar los tornillos de las pestañas y de la base del molde.
 - b. Abrir el molde usando ambas manos.
 - c. Extraer el ladrillo de plástico.
 - d. Revisar el interior de los moldes y verificar que no queden residuos plásticos.
 - e. Cerrar el molde.
 - f. Colocar nuevamente todos los tornillos en el molde.

- g. Regresar al paso 18a para el segundo molde.

Inspección rutinaria por módulo

Carcasa y estructura

1. Todas las láminas que rodean la estructura deben estar colocadas correctamente antes de su funcionamiento.
2. Revisar que no haya ningún objeto sobre la estructura diferente a los moldes y los módulos respectivos.
3. Verificar que el cierre de la puerta funcione correctamente.

Sistema de compresión

1. Gato hidráulico
 - a. El sistema de compresión debe terminar la operación diaria totalmente retraído. Asegurarse que esto se cumpla tras utilizar la máquina y que se cumplió tras la última vez que se utilizó.
 - b. Revisar ambas secciones de la palanca de bombeo, asegurándose de que se encuentren en buen estado.
 - c. Asegurarse de que la válvula de alivio se encuentra apretada antes de accionar el gato hidráulico, y realizar el mismo procedimiento cuando se termina de utilizar la máquina.
 - d. Confirmar que el tapón de aceite del gato hidráulico se encuentra colocado correctamente y en buen estado.
2. Estructura que distribuye los esfuerzos a los moldes
 - a. Verificar que las extensiones de las columnas compresoras se encuentran retraídas antes de accionar el gato hidráulico.

Sistema de calentamiento y molde

1. Revisar que las resistencias se encuentren ensambladas correctamente a los moldes. Deben estar fijadas por los tornillos sin poder moverse, solamente pegadas al molde, más no apretadas.
2. Verificar que las resistencias se encuentren conectadas correctamente al sistema eléctrico.
3. Verificar que el molde no contenga restos de plásticos o cualquier material ajeno.
4. Revisar el ensamble de la base del molde, asegurándose que el molde pueda ser colocado correctamente sobre esta.

Sistema eléctrico

1. Revisar que el cableado que se conecta a la corriente eléctrica esté en buen estado.
2. Antes y después de usar: verificar que el paro de emergencia está activado, y los switches del controlador y de las resistencias, ambos están en posición de apagado.

Inspección previa a utilizar la compactadora de plástico

Acción	Aceptable	Inaceptable
Verificar que el plástico a compactar se encuentre cortado.		
Revisar que el paro de emergencia está activado.		
Revisar que la máquina se encuentre apagada previo al llenado de plástico en el molde.		
Revisar que el sistema de compresión está retraído.		
Revisar que la base del molde se encuentre colocada en la posición correcta.		

Mantenimiento

Sistema de compresión

1. Gato hidráulico

Se recomienda realizar el mantenimiento bimensualmente. La lubricación es crítica para los sistemas hidráulicos, debido a que soportan altas cargas. Cualquier tipo de basura o suciedad dentro del cilindro puede generar resistencia y movimientos lentos, dañando los componentes internos. Para mantener el gato hidráulico correctamente lubricado, se deben seguir las siguientes instrucciones:

- a. Retirar el gato hidráulico de la compactadora.
- b. Lubricar el vástago y el sistema de bombeo con aceite. Engrasar los cojinetes y el eje.

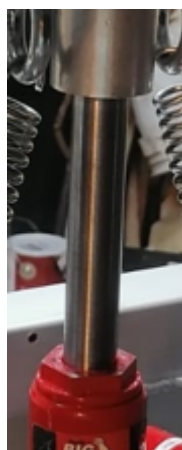


Figura 11. Vástago del gato hidráulico



Figura 12. Sistema de bombeo del gato hidráulico

- c. Inspeccionar si hay daños estructurales, grietas, piezas faltantes o fugas de aceite hidráulico.
- d. Limpiar el exterior del gato hidráulico y mantener las etiquetas de información y de advertencias.
- e. Revisión del nivel de aceite dentro del cilindro. En caso de tener bajo el nivel de aceite hidráulico, seguir los siguientes pasos:
 - i. Liberar la válvula de alivio y retraer el vástago.



- ii. Voltrear el gato hidráulico, manteniéndolo vertical.
- iii. Retirar la tapa de llenado y verificar que el nivel de aceite hidráulico alcanza justo el agujero de llenado. En caso contrario, llenarlo con aceite hidráulico nuevo y limpio, hasta el nivel especificado anteriormente.



- iv. Colocar la tapa de llenado nuevamente.
 - v. Confirmar que el gato hidráulico funciona correctamente.
 - vi. Eliminar el aire del sistema hidráulico según se requiera.
- f. Revisar el gato hidráulico para confirmar que no tenga señas de oxidación o corrosión.
- i. Recomendación 1: cuando la compactadora no se encuentre en uso, mantener el sistema contraído, para proteger los componentes críticos del ambiente lo más que se pueda.
 - ii. Recomendación 2: no utilizar fluidos para frenos o aceite de motor, ya que pueden dañar los sellos internos.
2. Estructura que distribuye los esfuerzos a los moldes:



Figura 13. Estructura que distribuye los esfuerzos a los moldes

- a. Retirar el gato hidráulico y la estructura de la máquina.
- b. Extraer las extensiones de las columnas compresoras.
 - i. Verificar que las marcas de colores en las secciones roscadas sean visibles.

Figura 14. Marcas en la rosca de las extensiones



- ii. Confirmar que la rosca se encuentra en buen estado. De lo contrario, considerar cambiar la pieza.
 - iii. Volver a introducir las extensiones.
- c. Retirar los tornillos y verificar que los agujeros donde se introduce un tornillo poseen roscas en buen estado, al igual que los mismos tornillos.
- d. Volver a armar la estructura y confirmar que se encuentra ajustado correctamente.

Sistema de calentamiento y molde

1. Molde:

Se recomienda realizar una limpieza interna cada vez que se utilice para retirar cualquier residuo o impureza que afecte las paredes internas. El molde debe estar a temperatura ambiente antes de proceder a su manipulación.

- a. Retirar la termocupla del molde.
- b. Desconectar las terminales de las resistencias.
- c. Retirar las resistencias quitando los tornillos que las sujetan y colocarlas en una mesa limpia.
- d. Retirar las cavidades de la máquina compactadora.
- e. Para cada cavidad, se debe raspar cualquier residuo de plástico o contaminante con un cepillo duro.
- f. Aplicar aceite para metales en toda la superficie externa e interna de las cavidades del molde y limpiar con un trapo seco.

*Nota: no utilizar agua y/o jabón para evitar oxidación en la superficie.

- g. Secar el excedente de aceite sucio que pueda haber quedado en las cavidades.
- h. Aplicar una pequeña capa de aceite limpio por toda la superficie para proteger de la humedad.
- i. Antes de utilizar nuevamente el molde para compactar plástico, se debe secar el aceite del molde con un trapo seco, para evitar contaminar el plástico y quemar el aceite.

2. Resistencias eléctricas:

Se recomienda limpiar las resistencias eléctricas por lo menos una vez cada tres meses para asegurar el desempeño correcto de las mismas:

- a. Retirar la termocupla del molde.
- b. Desconectar las terminales de las resistencias.
- c. Retirar las resistencias quitando los tornillos que las sujetan y colocarlas en una mesa limpia.
- d. Inspeccionar las terminales de las resistencias, que no presenten decoloración o suciedad. Retirar cualquier contaminante con un cepillo pequeño.
- e. Limpiar toda la superficie de las resistencias con un trapo seco, no utilizar ningún líquido.

Sistema eléctrico

Se debe cerciorar que las conexiones del sistema eléctrico cumplan con la descripción que se muestra en las **tablas 1, 2, 3, 4 y 5**, siguiendo el etiquetado de los cables. Las **figuras 15, 16, 17 y 18** muestran las terminales del paro de emergencia, botón de encendido, controlador de temperatura y relé de estado sólido de acuerdo al código de las etiquetas mostrado en las tablas.

Figura 15. Terminales paro de emergencia

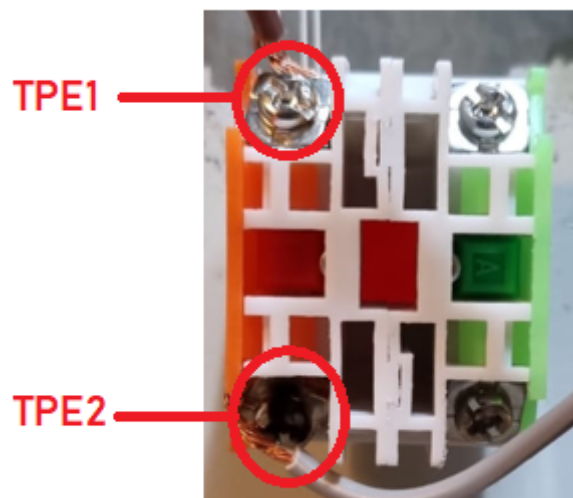


Tabla 1. Etiquetas que indican conexiones para paro de emergencia

Paro de emergencia	
De	Hasta
TPE1	TB2
TPE2	P

Figura 16. Terminales botón de encendido

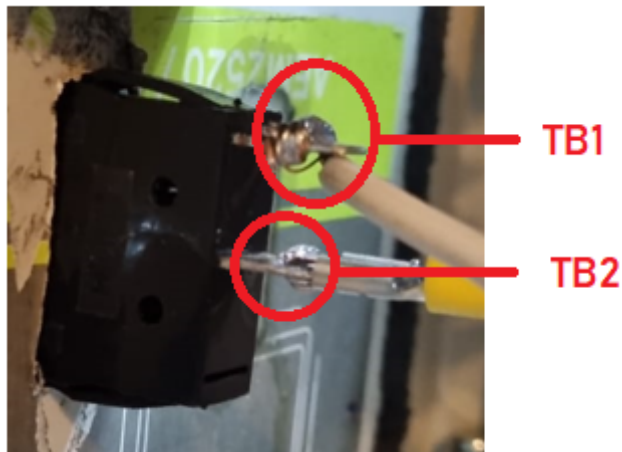


Tabla 2. Etiquetas que indican conexiones para botón de encendido

Botón de encendido	
De	Hasta
TB1	TC1
TB2	TPE1

Figura 17. Terminales controlador de temperatura

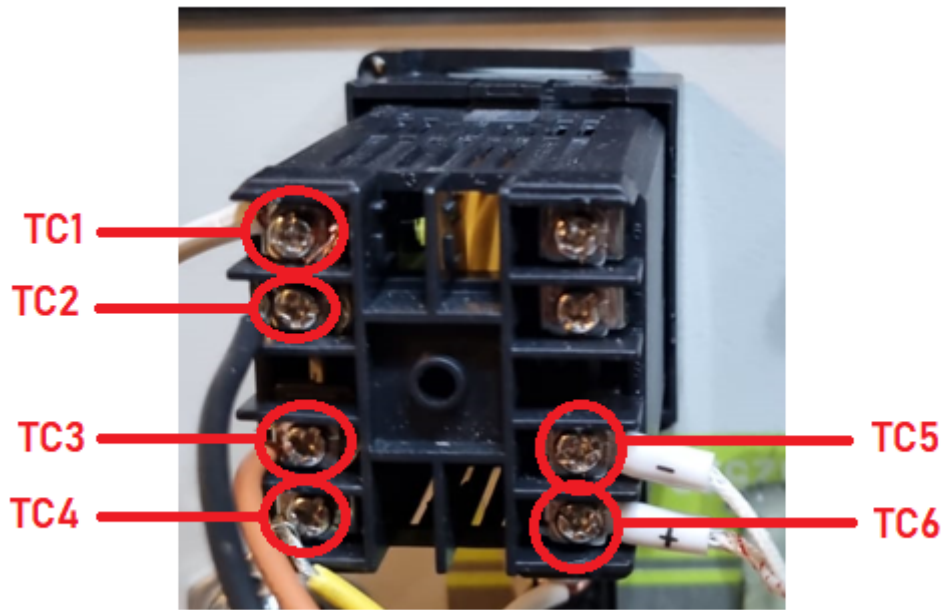


Tabla 3. Etiquetas que indican conexiones para controlador de temperatura

Controlador de temperatura	
De	Hasta
TC1	TB1
TC2	N
TC3	TR4
TC4	TR3
TC5	TT1
TC6	TT2

Figura 18. Terminales relé de estado sólido



Tabla 4. Etiquetas que indican conexiones para relé de estado sólido

Relé de estado sólido	
De	Hasta
TR1	P
TR2	TRP1
TR3	TC4
TR4	TC3

Tabla 5. Etiquetas que indican conexiones para resistencias térmicas

Resistencias térmicas		
De	Por	Hasta
TRP1	PP1	PR1
PP2	Conexión directa	PR2
PP3	Conexión directa	PR3
PP4	Conexión directa	PR4
PP5	Conexión directa	PR5
PP6	Conexión directa	PR6
PP7	Conexión directa	PR7
PP8	Conexión directa	PR8
N	NP1	NR1
NP2	Conexión directa	NR2
NP3	Conexión directa	NR3
NP4	Conexión directa	NR4
NP5	Conexión directa	NR5
NP6	Conexión directa	NR6
NP7	Conexión directa	NR7
NP8	Conexión directa	NR8

Posibles fallas

No.	Falla
1	La máquina no enciende.
2	El gato hidráulico no comprime el plástico en el molde.
3	El gato hidráulico no puede mantenerse en la posición deseada.
4	El gato hidráulico no baja nuevamente para su posición inicial.
5	El gato hidráulico no se extiende completamente.
6	La resistencia no calienta el molde a la temperatura deseada.

Solución de problemas

Localización de problema	Falla	Posible causa	Posible solución
Sistema eléctrico	1	La máquina no está conectada correctamente a la corriente o la espiga está dañada.	Revisar la conexión a la corriente y la espiga.
Gato hidráulico	2	La válvula de alivio no está completamente cerrada. Se excedió la capacidad de carga. Bajo nivel de aceite.	Girar en sentido de las agujas del reloj la válvula de alivio. Añadir aceite al sistema. Reemplazar el gato hidráulico en dado caso no funciona ninguna de las mencionadas.
Gato hidráulico	3	La válvula de alivio no está completamente cerrada. Bajo nivel de aceite.	Girar en sentido de las agujas del reloj la válvula de alivio. Añadir aceite al sistema.
Gato hidráulico	4	El reservorio de aceite se encuentra muy lleno. Se encuentra obstruido el mecanismo.	Drenar el exceso de aceite y lubricar partes móviles. Liberar cualquier obstrucción en el gato.
Gato hidráulico	5	Bajo nivel de aceite.	Añadir aceite al sistema.
Sistema de calentamiento	6	El sensor de temperatura del sistema eléctrico se encuentra mal ubicado. Una de las 2 partes de cada juego de resistencias se fundió.	Colocar en la posición correcta el sensor de temperatura. Reemplazar las resistencias dañadas.

