

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO EN LA ETAPA DE COCCIÓN PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA MOCHICA LADRILLOS Y AGREGADOS E. I. R. L.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**MILTON DAVID GUERRERO CORONADO**

**ASESOR**

**JOSELITO SANCHEZ PEREZ**

<https://orcid.org/0000-0002-1525-8149>

**Chiclayo, 2020**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO EN LA ETAPA DE COCCIÓN PARA  
MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA  
MOCHICA LADRILLOS Y AGREGADOS E. I. R. L.**

PRESENTADA POR:

**MILTON DAVID GUERRERO CORONADO**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR:

Absalón Rivasplata Sánchez  
PRESIDENTE

Carlos Alexis Alvarado Silva  
SECRETARIO

Joselito Sánchez Pérez  
VOCAL

## **DEDICATORIA**

*A Dios por darme la sabiduría y la fortaleza*

*A mis padres por haberme forjado como la persona que soy  
en la actualidad y demostrarme el camino de la superación*

*A mis abuelos por sus enseñanzas sobre la vida y  
encaminarme por el buen sendero*

*A mis hermanos y familiares por siempre confiar en mí*

*A todas las personas que me han brindado su apoyo y han  
hecho posible la realización de mi trabajo de investigación*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradecer a mi padre Milton Guerrero Flores y a mi madre Elisa Coronado Díaz por la formación llena de actitudes y virtudes, por el apoyo incondicional que he recibido durante todo este tiempo, por el esfuerzo que han hecho por mí y por la motivación para alcanzar mis metas en la vida.*

*Agradecer a mi asesor por su enseñanza y su tiempo que me ha servido de orientación para el desarrollo de mi proyecto de investigación.*

*A mis maestros, quienes me han brindado el apoyo y los conocimientos en mi carrera para salir adelante.*

*Y finalmente a la universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo por su aprendizaje continuo y su formación integral que he recibido a lo largo de mi carrera profesional.*

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	19
<b>2.1 ANTECEDENTE</b> .....	19
<b>2.2 BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS</b> .....	22
<b>2.2.1 Ladrillo</b> .....	22
<b>2.2.2 Proceso</b> .....	22
<b>2.2.3 Producción de ladrillos</b> .....	22
<b>2.2.4 Cocción</b> .....	23
<b>2.2.5 Horno Hoffman</b> .....	23
<b>2.2.6 Automática Industrial</b> .....	23
<b>2.2.7 Automatismos industriales</b> .....	23
<b>2.2.8 Automatización industrial</b> .....	24
<b>2.2.9 Niveles de un sistema Automatizado</b> .....	24
<b>2.2.10 Partes de un sistemas Automatizado</b> .....	25
<b>2.2.11 Clasificación tecnológica</b> .....	26
<b>2.2.12 Controlador Lógico Programable</b> .....	27
<b>2.2.12.1 Ciclo de funcionamiento del PLC</b> .....	27
<b>2.2.12.2 Entradas y salidas digitales</b> .....	28
<b>2.2.12.3 Entradas y salidas analógicas</b> .....	28
<b>2.2.13 Sistemas de Control</b> .....	29
<b>2.2.13.1 Sistema lazo abierto</b> .....	29
<b>2.2.13.2 Sistema lazo cerrado</b> .....	29
<b>2.2.14 Sistema de control ON-OFF</b> .....	30
<b>2.2.15 Sistema de control PID</b> .....	30
<b>2.2.16 Metodología de Control</b> .....	31
<b>2.2.16.1 Método de Ziegler Nichols</b> .....	31

2.2.16.2	Método asignación de polos.....	32
2.2.17	Sensores .....	32
2.2.18	Sensores de temperatura .....	33
2.2.18.1	Trasmisores .....	33
2.2.18.2	RTD .....	33
2.2.18.3	Termocupla.....	33
2.2.19	Actuadores .....	33
2.2.20	Sistemas de producción.....	34
2.2.20.1	Producción continua o estandarizada .....	34
2.2.20.2	Producción intermitente.....	34
2.2.20.3	Producción por proyecto .....	35
2.2.21	Estudio de tiempos .....	35
2.2.22	Productividad .....	35
2.2.22.1	Producción .....	36
2.2.22.2	Productividad .....	36
2.2.22.3	Eficiencia física.....	37
2.2.22.4	Eficiencia económica.....	37
2.2.23	Trasferencia de Calor .....	37
2.2.24	Mecanismos de trasferencia de calor.....	37
2.2.24.1	Conducción .....	38
2.2.24.2	Convección.....	38
2.2.24.3	Radiación .....	38
2.2.25	Diagrama de Pareto .....	39
2.2.26	Diagrama de Ishikawa .....	39
2.3	DEFINICIÓN DE TERMINOS .....	40
III.	RESULTADOS.....	41
3.1	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA.....	41

<b>3.1.1</b>	<b>La empresa</b> .....	41
<b>3.1.2</b>	<b>Producto</b> .....	42
<b>3.1.3</b>	<b>Materia prima</b> .....	44
<b>3.1.4</b>	<b>Subproducto</b> .....	44
<b>3.1.5</b>	<b>Insumos</b> .....	45
<b>3.1.6</b>	<b>Desechos</b> .....	45
<b>3.1.7</b>	<b>Descripción del proceso</b> .....	46
<b>3.1.7.1</b>	<b>Mezclado</b> .....	46
<b>3.1.7.2</b>	<b>Molienda</b> .....	47
<b>3.1.7.3</b>	<b>Tamizado</b> .....	47
<b>3.1.7.4</b>	<b>Amasado</b> .....	48
<b>3.1.7.5</b>	<b>Extrusión</b> .....	48
<b>3.1.7.6</b>	<b>Cortado</b> .....	49
<b>3.1.7.7</b>	<b>Secado</b> .....	50
<b>3.1.7.8</b>	<b>Cocción</b> .....	50
<b>3.1.7.9</b>	<b>Enfriado</b> .....	54
<b>3.1.8</b>	<b>Sistemas de producción</b> .....	55
<b>3.1.9</b>	<b>Análisis del proceso</b> .....	56
<b>3.1.10</b>	<b>Indicadores del proceso actual</b> .....	60
<b>3.1.11</b>	<b>Cuadro resumen de indicadores del proceso</b> .....	74
<b>3.2</b>	<b>IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y SUS CAUSAS</b> .....	75
<b>3.2.1</b>	<b>Análisis y evaluación de la información</b> .....	75
<b>3.2.2</b>	<b>Problemas, Causas y Propuestas de solución</b> .....	75
<b>3.2.3</b>	<b>Cuadro de problemas, causas y pérdidas</b> .....	95
<b>3.3</b>	<b>DESARROLLO DE PROPUESTAS DE MEJORA</b> .....	96
<b>3.3.1</b>	<b>Diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción</b> .....	96
<b>3.3.1.1</b>	<b>Requerimientos de calor del proceso</b> .....	96

3.3.1.2	Selección del tipo de combustible .....	104
3.3.1.3	Diseño del sistema de ventilación de aire .....	106
A.	Calculo del flujo de aire .....	106
B.	Selección del ventilador .....	108
C.	Diseño del sistema eléctrico .....	113
D.	Instalación del sistema de ventilación .....	123
3.3.1.4	Diseño del sistema de control del combustible .....	124
A.	Quemadores de combustible .....	124
B.	Diseño del sistema eléctrico .....	128
C.	Diseño del sistema de control .....	134
D.	Elección del sensor de temperatura .....	158
E.	Diseño del sistema de control .....	159
F.	Programación del PLC .....	164
3.3.2	Plan de Reducción de Riesgos .....	167
3.3.3	Plan de Capacitación al personal .....	176
3.3.4	Nuevos indicadores del proceso .....	179
3.3.5	Cuadro Comparativo del proceso .....	186
3.4	ANÁLISIS COSTO BENEFICIO .....	187
3.4.1	Inversión .....	187
3.4.2	Beneficio .....	189
3.4.3	Flujo de Caja .....	194
3.5	EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA PROPUESTA .....	196
IV.	CONCLUSIONES .....	197
V.	RECOMENDACIONES .....	198
VI.	REFERENCIAS .....	199
VII.	ANEXOS .....	204

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de los ladrillos según el tipo .....	44
Tabla 2. Composición de materia prima por tipo de ladrillo .....	46
Tabla 3. Descripción del quemador de combustible .....	54
Tabla 4. Numero de ciclos para el estudio de tiempos .....	57
Tabla 5. Tiempo promedio del proceso de producción .....	58
Tabla 6. Ventas según el tipo de ladrillo en el año 2018 .....	60
Tabla 7. Ventas según el tipo de ladrillo en el año 2019 .....	61
Tabla 8. Precios de ladrillos por millar .....	61
Tabla 9. Ingresos por ventas de ladrillos en el año 2018 .....	62
Tabla 10. Ingresos por ventas de ladrillos en el año 2019 .....	63
Tabla 11. Ingresos por ventas de ladrillos según el año 2018 y 2019 .....	64
Tabla 12. Producción de ladrillos pandereta entre el año 2018 y 2019 .....	65
Tabla 13. Registro de materia prima utilizada entre el año 2018 y 2019 .....	67
Tabla 14. Trabajadores en el área de producción .....	68
Tabla 15. Consumo de energía eléctrica por máquina .....	70
Tabla 16. Costo de recursos utilizados en la producción de ladrillos .....	73
Tabla 17. Costos de producción del ladrillo pandereta .....	73
Tabla 18. Indicadores de proceso de producción de ladrillo pandereta .....	74
Tabla 19. Clasificación para rangos del ERP de los procesos .....	76
Tabla 20. Mermas generadas en cada etapa de proceso .....	77
Tabla 21. Muestreo de ladrillos .....	79
Tabla 22. Medición de la temperatura del horno .....	81
Tabla 23. Perdidas económicas en la etapa de cocción .....	83
Tabla 24. Medición del ruido en dB .....	85
Tabla 25. Evaluación del nivel de ruido en el puesto de trabajo .....	88
Tabla 26. Nivel de Instrucción al personal .....	92
Tabla 27. Evaluación del personal en áreas críticas .....	93
Tabla 28. Cuadro de problemas, causas y pérdidas .....	95
Tabla 29. Requerimientos de energía para la cocción de ladrillos pandereta .....	103
Tabla 30. Tipos de combustibles para hornos de ladrillos .....	104
Tabla 31. Ventiladores centrífugos de la marca SODECA .....	109
Tabla 32. Características principales del ventilador CMP-2050-4T-20 .....	110

Tabla 33. Parámetros del flujo de aire.....	113
Tabla 34. Características de la llave termomagnética EZ9F5623 .....	114
Tabla 35. Características del interruptor A9R35240.....	115
Tabla 36. Características del Variador ATV212HD15N4 .....	116
Tabla 37. Características de contactor CAD32M7 .....	117
Tabla 38. Características del pulsador XB4BW33M5 .....	118
Tabla 39. Características del pulsador XB4BW34M5 .....	119
Tabla 40. Leyenda del sistema eléctrico en CADESIMU.....	120
Tabla 41. Características técnicas del motor W22 IE2 .....	126
Tabla 42. Características de la llave termomagnética EZ9F5621 .....	129
Tabla 43. Características del interruptor A9R10216.....	130
Tabla 44. Ficha técnica de variador ATV71HU15N4 .....	131
Tabla 45. Características del pulsador XB4BS8445 .....	133
Tabla 46. Sistema de control PID con perturbación.....	154
Tabla 47. Parámetros PID del sistema de control .....	158
Tabla 48. Tipos de termocuplas .....	159
Tabla 49. Características de PLC Modicon TM241CE40R.....	160
Tabla 50. Características del módulo TM3TI8TG .....	161
Tabla 51. Características del módulo TM3AQ4G .....	161
Tabla 52. Leyenda de programación Ladder en SoMachine.....	165
Tabla 53. Características de los tapones auditivo 1100 .....	171
Tabla 54. Atenuación del ruido de los tapones 1 1000 .....	171
Tabla 55. Nivel de ruido atenuado .....	172
Tabla 56. Dosis de exposición mejorada.....	173
Tabla 57. Características del respirador 3M-8210V .....	174
Tabla 58. Características de los lentes 12019 QX™ 2000.....	175
Tabla 59. Plan de capacitación al personal en sistemas automatizados .....	176
Tabla 60. Cronograma de capacitación sobre sistemas automatizados.....	177
Tabla 61. Plan de capacitación al personal en procesos térmicos .....	178
Tabla 62. Plan de capacitación en seguridad y salud en el trabajo .....	178
Tabla 63. Cronograma de capacitación en seguridad y salud en el trabajo .....	179
Tabla 64. Producción de ladrillos con sistema automatizado .....	180
Tabla 65. Nuevo consumo de energía eléctrica.....	182
Tabla 66. Nuevos costos de producción.....	185

Tabla 67. Cuadro comparativo de indicadores del proceso .....	186
Tabla 68. Costo de inversión del sistema de ventilación de aire.....	187
Tabla 69. Costo de inversión del sistema de combustión automatizado .....	188
Tabla 70. Costo de inversión del plan de control de riesgos.....	188
Tabla 71. Costo de inversión del plan de capacitación al personal .....	189
Tabla 72. Costo de inversión total de la propuesta .....	189
Tabla 73. Análisis de los supuestos del método de regresión lineal .....	191
Tabla 74. Proyección de la demanda.....	191
Tabla 75. Producción de ladrillos con sistema automatizado .....	192
Tabla 76. Reducción de mermas con sistema automatizado .....	192
Tabla 76. Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR).....	193
Tabla 78. Flujo de caja de la propuesta .....	194
Tabla 79. Periodo de recuperación de la inversión .....	195

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Niveles del sistema automatizado.....	25
Figura 2. Modelo estructural de un sistema automatizado.....	26
Figura 3. Clasificación tecnológica.....	27
Figura 4. Ciclo básico del funcionamiento del PLC .....	28
Figura 5. Sistemas de control de lazo abierto.....	29
Figura 6. Sistemas de control de lazo cerrado.....	30
Figura 7. Estructura de un sistema de control PID.....	31
Figura 8. Estructura del diagrama de Ishikawa .....	39
Figura 9. Organigrama de la empresa .....	42
Figura 10. Materias primas del proceso .....	46
Figura 11. Etapa de molienda.....	47
Figura 12. Etapa de tamizado.....	47
Figura 13. Etapa de amasado.....	48
Figura 14. Etapa de extrusión.....	49
Figura 15. Etapa de cortado.....	49
Figura 16. Pampas de secado .....	50
Figura 17. Combustión del material.....	51
Figura 18. Etapa de cocción .....	52
Figura 19. Hornos tipo Hoffman .....	53
Figura 20. Ventilador de cocción .....	53
Figura 21. Quemadores de combustible.....	54
Figura 22. Transporte de ladrillos cocidos .....	55
Figura 23. Diagrama de bloques del proceso de producción de ladrillos .....	56
Figura 24. Diagrama de operaciones del proceso de producción de ladrillos.....	59
Figura 25. Gráfico lineal de los ingresos por ventas de ladrillos en 2018 .....	62
Figura 26. Gráfico lineal de los ingresos por ventas de ladrillos en 2019 .....	63
Figura 27. Diagrama causa-efecto de baja productiva en el proceso de producción .....	75
Figura 28. Diagrama de Pareto de mermas del proceso .....	77
Figura 29. Variación de la temperatura del horno de cocción .....	81
Figura 30. Mermas de la etapa de cocción .....	83
Figura 31. Medición del ruido.....	86
Figura 32. Ausencia de equipos de protección de ruido .....	89

Figura 33. Ausencia de equipos de protección de partículas .....	90
Figura 34. Ceniza generada por cocción .....	91
Figura 35. Balance de calor para un horno de ladrillos.....	97
Figura 36. Ventilador serie CMP .....	110
Figura 37. Llave termomagnética EZ9F56232.....	115
Figura 38. Interruptor diferencial A9R35240 .....	116
Figura 39. Variador de frecuencia ATV212HD15N4.....	117
Figura 40. Contactor auxiliar CAD32M7.....	118
Figura 41. Pulsador verde XB4BW33M5 .....	119
Figura 42. Pulsador XB4BW34M5 .....	119
Figura 43. Circuito de fuerza del sistema de ventilación .....	121
Figura 44. Circuito de mando del sistema de ventilación .....	122
Figura 45. Conexión del ventilador con el horno.....	123
Figura 46. Funcionamiento del sistema de ventilación .....	123
Figura 47. Soporte del sistema de ventilación.....	124
Figura 48. Quemadores de combustibles en AutoCad .....	125
Figura 49. Vista Frontal de quemadores automatizados .....	125
Figura 50. Quemadores de combustibles automatizados .....	126
Figura 51. Motor WEG IE2.....	127
Figura 52. Llave termomagnética EZ9F56210 .....	130
Figura 53. Interruptor diferencial A9R10216.....	131
Figura 54. Variador de frecuencia ATV71HU15N4.....	132
Figura 55. Pulsador de emergencia XB4BS8445 .....	133
Figura 56. Diagrama de control PID .....	136
Figura 57. Análisis de Temperatura de cocción de ladrillos .....	137
Figura 58. Mediciones de temperatura en Workspace de MATLAB .....	138
Figura 59. Ventana de comandos .....	138
Figura 60. Ventana de Import Data.....	139
Figura 61. Ventana System Identification.....	139
Figura 62. Función de transferencia - Ventana de comandos .....	140
Figura 63. Análisis de la temperatura en MATLAB .....	140
Figura 64. Respuesta transitoria de la temperatura del horno .....	141
Figura 65. Diagrama de zeros y polos.....	142
Figura 66. Diseño del sistema de control PID en SIMULINK .....	151

Figura 67. Temperatura con sistema de control PID.....	151
Figura 68. Diseño del sistema de control PID con perturbación.....	152
Figura 69. Temperatura con sistema de control PID y perturbación .....	153
Figura 70. Diseño del sistema de control PID con distintas perturbaciones .....	153
Figura 71. Temperatura con sistema de control PID y perturbaciones .....	154
Figura 72. Mecánicas de control aplicados en el proceso.....	155
Figura 73. Análisis de la temperatura según el tipo de control .....	156
Figura 74. Sistema de control PID según el comportamiento del proceso .....	157
Figura 75. Temperatura según el comportamiento del proceso .....	157
Figura 76. PLC Modicon TM241CE40R.....	160
Figura 77. Módulo de expansión TM3TI8TG.....	161
Figura 78. Módulo de expansión TM3AQ4G .....	162
Figura 79. Gráfica de control del sistema de combustión automatizado .....	163
Figura 80. Programación en lenguaje Ladder para automatizar un quemador.....	166
Figura 81. Señal de ruido .....	168
Figura 82. Señal de uso de tapones de oído .....	168
Figura 83. Señal de material inflamable.....	169
Figura 84. Señal de partículas suspendidas .....	169
Figura 85. Señal de uso obligatorio de mascarilla .....	170
Figura 86. Señal de uso obligatorio de lentes.....	170
Figura 87. Tapones auditivos 1100 .....	171
Figura 88. Respirador desechable 3M-8210V.....	174
Figura 89. Lentes 12019 QX™ 2000 .....	175
Figura 90. Tendencia de la demanda.....	190

## RESUMEN

Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L. es una empresa dedicada a la producción y comercialización de ladrillos en el departamento de Lambayeque. Actualmente presenta un problema de baja productividad debido a la generación de 5 123 242 mermas equivalente al 24 % de la producción total y una eficiencia de 73,84 % por debajo del nivel aceptable.

Se realizó un diagnóstico de la situación actual de la empresa y se identificó como principal causa la etapa de cocción que representa el 69 % de las mermas generadas por un inadecuado control de la temperatura y una baja eficiencia del horno de 83,4 %, que han generado pérdidas económicas de S/ 518 314. Adicionalmente se identificaron otras causas como el ruido excesivo, la emisión de partículas y la falta de capacitación al personal.

Se diseñó un sistema automatizado en la etapa de cocción conformado por el diseño de un sistema de ventilación y de un sistema de combustión automatizado aplicando un controlador PID, asimismo se estableció un plan de control de riesgo y un plan de capacitación al personal. Con las mejoras implementadas se logró aumentar la eficiencia del horno a un 95 %, una reducción de mermas del proceso en 12,4 %, una eficiencia aceptable del 84,5 % y un aumento en la eficiencia económica del 11,92 %.

A través de un análisis costo beneficio, se obtuvo una inversión total de la propuesta de S/ 520 913 y un beneficio de 1,48 soles por cada sol invertido, además se obtendrá un ingreso neto de S/ 2 338 138 en un periodo de recuperación de 395 días.

**PALABRAS CLAVE:** Ladrillo, Productividad, Sistema Automatizado, Controlador PID

## ABSTRACT

Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L. is a company dedicated to the production and marketing of bricks in the department of Lambayeque. Currently, it presents a problem of low productivity due to the generation of 5 123 242 losses equivalent to 24 % of total production and an efficiency of 73,84 % below the acceptable level.

A diagnosis of the current situation of the company was made and the cooking stage was identified as the main cause, which represents 69 % of the losses generated by inadequate temperature control and low oven efficiency of 83,4 %, which It has generated economic losses of S/ 518 314. In addition, other causes were identified, such as excessive noise, the emission of particles, and the lack of training for personnel.

An automated system was designed in the cooking stage consisting of the design of a ventilation system and an automated combustion system applying a PID controller, and a risk control plan and a training plan for personnel were established. With the improvements implemented, it was possible to increase the efficiency of the furnace to 95 %, a reduction in process losses of 12,4 %, an acceptable efficiency of 84,5 % and an increase in economic efficiency of 11,92 %.

Through a cost benefit analysis, a total investment of the proposal of S/ 520 913 was obtained and a benefit of 1,48 soles for each sol invested, in addition a net income of S/ 2 338 138 will be obtained in a period of 395 day recovery.

**KEYWORDS:** Brick, Productivity, Automated System, PID Controller

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente nos encontramos en una sociedad donde las exigencias del cliente son cada vez mayores y las empresas deberán ser más competitivas, una de las razones por la que las empresas hacen uso de sistemas automatizados en sus procesos es poder adquirir mayores beneficios como producir a costos cada vez menores, reducir los tiempos del proceso, mejorar la productividad y asegurar el bienestar de los trabajadores.

A nivel mundial las principales empresas que pertenecen a la industria de ladrillos tienen una alta productividad debido a que cuentan con sistemas automatizados en cada uno de sus procesos, lo que asegura una mejor calidad de ladrillo para ser ofrecido al cliente.

En el Perú la industria ladrillera opera más de 65 empresas, que mueven una cantidad de USD 250 millones y presentan un crecimiento promedio anual en sus ingresos de un 5 %, teniendo como producto principal el ladrillo pandereta en un 39 %. Además las principales empresas de ladrillos Lark, Diamante y Rex perciben el 41 % de la demanda, las cuales presentan la mejor infraestructura y los sistemas automatizados más avanzados. [1]

En 2019, en el departamento de Lambayeque existen 16 industrias ladrilleras dentro de la categoría de medianas, pequeñas y microempresas, a estas dos últimas se les considera MYPES, las cuales buscan optimizar sus procesos productivos para ser más rentables y más competitivos en el mercado regional. [2]

La empresa Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L. ubicada en el kilómetro 5,5 de la carretera San José, departamento de Lambayeque perteneciente al rubro de ladrillos, presenta un problema de baja productividad debido a una cantidad notable de mermas del 24 % de la producción, proveniente principalmente de la etapa de cocción debido a no contar con sistemas automatizado en su proceso de producción. Lo que genera un costo no recuperable de fabricación y a su vez pérdidas económicas para la empresa. Frente a esta problemática surge la interrogante ¿Mediante una propuesta de diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción se podrá incrementar la productividad de la empresa Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.?

Como respuesta se planteó el objetivo principal de mejorar la productividad de la empresa Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L. mediante una propuesta de diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción y como objetivos específicos, primero realizar un diagnóstico de la situación actual de la empresa, luego elaborar una propuesta de diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción y por último realizar un análisis costo – beneficio de la propuesta.

El propósito de realizar el trabajo de investigación abarca los siguientes puntos: en relación a lo teórico se podrá adquirir conocimiento orientado a la producción y productividad del proceso de producción de ladrillos, como a su vez la seguridad y salud en el trabajo. En relación a lo social va a mejorar la seguridad y las condiciones laborales del personal de la empresa. En relación a lo económico la investigación reducirá las pérdidas económicas generadas por las mermas del proceso y aumentar la rentabilidad de la empresa. Por ultimo en relación a lo ambiental reducirá el índice de contaminación del proceso a través del uso del combustible con un menor impacto ambiental.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTE

Velásquez y Gonzales [3] en su investigación “Prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de plástico” tiene como objetivo principal mejorar la calidad y la productividad de 15 s/botella de una empresa de envasado de botellas. La metodología que se aplicó fue el diseño de un prototipo conformado por actuador neumático, sensores, electroválvula y motores; para el control del equipo se utilizó un PLC S7 - 1 200 y se incorporó una rueda de ginebra, con el fin de que el envasado actué de manera automática. El resultado obtenido fue el diseño del prototipo automatizado con una producción 11 s/botella, equivalente a un incremento de la productividad de un 36 % y una reducción de botellas devueltas de un 90 %. Al finalizar la investigación sostuvieron que los equipos automatizados pueden mejorar la productividad de los procesos.

Contreras, Villanueva, Tilvaldyev y Cornejo [4] en su investigación “Mejora de la productividad, calidad y ergonomía de una operación de ensamble por medio de la automatización” presentan una problemática en la ciudad de Juárez donde muchas empresas de ensambles no cuentan con sistemas automatizados en sus procesos, sino que se realizan de forma manual, lo que afecta la productividad. El proyecto se desarrolló en una empresa juarense dedicada a proveer servicios de integración y manufactura, el cual presentaba 2,35 % más ensamblados y un 0,5 % de productos defectuosos con una productividad de 85,74 p/h. Asimismo se tuvo como objetivo principal elaborar una propuesta de mejora aplicando la automatización industrial, para ello se diseñó un equipo automático para ensamble aplicando la metodología DMAIC. El resultado obtenido fue una reducción de los productos más ensamblados de 0,31 %, una reducción de productos defectuosos de 0,21 % y una mejora de la productividad de 138 p/h que representa un aumento del 61 %, además se mejoró la ergonomía debido a que se eliminó 3 de los 4 factores de padecimiento músculo esquelético en las operaciones. Finalmente sostuvieron que el impacto de la automatización industrial es muy significativo en los procesos.

Abril, Lema y Ortiz [5] en su artículo científico “Automatización del bobinado industrial de fleje plástico mediante motores eléctricos basados en Algoritmos de Control de Movimiento” tuvo como objetivo principal el diseño e implementación de un sistema automatizado para el proceso de bobinado de la empresa Codiempaques del Ecuador Cía. La metodología consistió en automatizar las dos etapas del proceso de bobinado a través de algoritmos de control; en la etapa de enrollado se aplicó un algoritmo de fuerza mientras que en la etapa de posicionamiento se aplicó un algoritmo de posición y velocidad, asimismo las señales fueron percibidas por una red de autómatas MODBUS. Los resultados obtenidos fueron un aumento de la eficiencia en un 95,42% para cono de 200 mm, una eficiencia de 94,06 % para cono de 180 mm y una eficiencia de un 95 % para cono de 150 mm. En relación al sistema de bobinado se obtuvo un 5 % de rollos reprocesados en el primer mes mientras que en el segundo un 4,16 % de la producción total de un hilo de fleje. Asimismo se logró obtener una producción de 15 min/rollo suficiente para cumplir con la demanda de la empresa, además de reducir costos asociados al reprocesamiento del fleje.

Molina [6] en su artículo científico “Automatización del sistema de control de la máquina empaquetadora de Blíster” tuvo como objetivo principal el diseño de un sistema automatizado del empaquetado de blíster en una farmacéutica. La metodología que se aplicó fue la implementación de un Controlador Lógico Programable (PLC) con puerto Ethernet, que servirá como medio de comunicación entre los demás dispositivos, asimismo se instaló un Encoder para controlar la velocidad y motor del blíster, por consiguiente se configuró la interfaz gráfica a través de HM1 para controlar el equipo. Los resultados fue un incremento significativo de la producción de 1 100 cajas/día a 3 600 cajas/día, mejorando el rendimiento en más de 300 % del proceso de empaquetado. Finalmente se concluyó que la automatización industrial pudo mejorar la calidad del sistema logrando que el proceso sea más seguro.

Mubarak, Hamdan y Mohamed [7] en su artículo científico “Modification of the Hoffman red brick kiln and reduction of pollution” tuvo como objetivo principal modificar y mejorar el horno tipo Hoffman de la fábrica de ladrillos Soba Hoff-Mann Kiln en Jartum Sudán. La metodología que se aplicó fue la técnica de tiro superior sobre la chimenea del horno y el método de papel de sellado, el cual fue colocado en la última pila de ladrillos. Los resultados obtenidos de la modificación del horno a través de los

tubos de escape fue una reducción en el tiempo de la batería de 0,5 horas con una reducción total del horno de casi 31 horas desde la producción. El resultado indica que el 2,5 % de los ladrillos se agrietan en lugar del 5 %. Por lo tanto, reducir el tiempo de activación de la batería conduce a una reducción en el consumo de combustible. Además el papel de sellado redujo las pérdidas al 2 % en lugar del 4 %. Los resultados obtenidos aumentaron la productividad de la masa de los ladrillos, una buena calidad del producto, un mayor beneficio económico y una reducción de la contaminación ambiental.

## 2.2 BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS

### 2.2.1 Ladrillo

Según la NTP 333 017 [8] define como aquella unidad de albañilería elaborada a base de arcilla moldeada, extruida o prensada que posee forma de prisma rectangular, la cual es sometida a procesos térmicos.

Para Moreno [9] son piezas de cerámica que tienen forma de paralelepípedo, elaboradas a base de arcilla que han sido moldeadas, comprimidas y sometidas en un horno para su cocción, Son utilizadas para la construcción debido a su forma rectangular y su fácil manipulación.

### 2.2.2 Proceso

Según Bravo [10] lo define como un conjunto de actividades que interactúan entre sí para transformar la entrada de un material en una salida añadiendo valor para los clientes. En el proceso participan un conjunto de personas organizadas de acuerdo a una determinada jerarquía que cuentan la maquinaria, tecnología y el manejo de la información.

### 2.2.3 Producción de ladrillos

En [11] se indica cuáles son las formas de producir ladrillos

- **Artisanal:** el proceso se desarrolla en forma manual, principalmente en las etapas de amasado y moldeado, que se caracteriza por la variación de sus ladrillos.
- **Semi-Industrial:** el proceso se desarrolla de forma manual, sin embargo en la etapa de amasado y moldeado se realiza por medio de algunas máquinas, que se caracteriza por la superficie lisa de sus ladrillos.

- **Industrial:** en su proceso se emplean maquinarias para darle forma al ladrillo y se caracteriza por la uniformidad de sus ladrillos.

#### **2.2.4 Cocción**

Según Groover [12] se define como un tratamiento térmico que sintetiza al material cerámico a través de un horno, para dar forma a la pieza para lograr obtener la dureza y resistencia correspondientes. En el sinterizado los granos cerámicos se unen para densificarse y reducir su porosidad.

#### **2.2.5 Horno Hoffman**

En [11] lo define como un horno de quema en forma continua en un espacio cerrado, es decir que el fuego que ingresa va a estar en constante movimiento en el interior del horno producto de un flujo de aire proveniente de un ventilador o una chimenea. El diseño original del horno presentaba un circuito circular, sin embargo con el transcurso del tiempo fueron cambiando hasta tener un diseño en forma rectangular o elíptica.

#### **2.2.6 Automática Industrial**

Piedrafita [13] la define como la disciplina que se basa en métodos y procedimientos con el objetivo de reemplazar al operario humano por una máquina o un operador artificial para el desarrollo de tareas físicas y mentales previamente programado. Cuando se requiera reemplazar al personal con el fin de controlar un proceso se estará hablando de sistemas de control automático mientras que cuando el fin sea el procesamiento automático o de información se referirá a la disciplina informática.

#### **2.2.7 Automatismos industriales**

En [13] se define a un autómatas como una máquina o equipo que imita los movimientos y el comportamiento de un ser animado. Además indica que los

sistemas de automatización son los sucesores de los primeros autómatas utilizados en el pasado.

### 2.2.8 Automatización industrial

Para Hernández y Mendoza [14] la automatización industrial significa poder optimizar las condiciones de calidad, seguridad y producción. Asimismo define a la automatización como un conjunto de tecnologías acopladas de manera continua que conforma una alternativa de desarrollo tecnológico para cualquier tipo de industria. Además se requiere de un diseño como base para el desarrollo, para crear el modelo virtual para controlar un proceso.

### 2.2.9 Niveles de un sistema Automatizado

Según García [15] nos dice que la automatización está conformada por distintos niveles de control y gestión de la información

- **Nivel 0:** Lo comprende todos los dispositivos, subprocesos y maquinaria, con las cuales se ejecutan las operaciones elementales de un proceso. Además engloba los dispositivos que captan señales analógicas y/o digitales, sensores, entre otros, como también los dispositivos que sirven para transmitir señales de control a los accionadores, variadores, etc.
- **Nivel 1:** Lo comprende el dispositivo lógico de control, como los autómatas programables, las tarjetas basadas en microprocesadores, microcontrolador y los ordenadores de control industrial. Estos equipos conforman los componentes de mando y control para el nivel 0. Además van a proporcionar información sobre el estado de nivel 0 y 1 al nivel 2. Se le considera como el nivel de automatización (FA).
- **Nivel 2:** Lo comprende los sistemas que van a controlar, supervisar y procesar los datos. Para este nivel se dictan las órdenes de ejecución y se reciben el estado de resultado del nivel 1, mientras que recibe las órdenes del nivel 3. Este nivel se encargará de la supervisión y control del proceso.

- **Nivel 3:** Lo comprenden los sistemas de ejecución de la producción. El nivel 3 envía el programa al nivel 2 que reciben los acontecimientos de la planta. Además enviará información acerca de la planificación de la producción al nivel 4, asimismo los resultados del proceso Se considera como el nivel de planificación
- **Nivel 4:** Lo comprende los sistemas integrados para la gestión de la empresa El nivel 4 va a enviar información a nivel 3 los programas a realizar, asimismo el nivel 3 enviará la información anterior del programa ejecutado, se le considera como el nivel de corporativo.

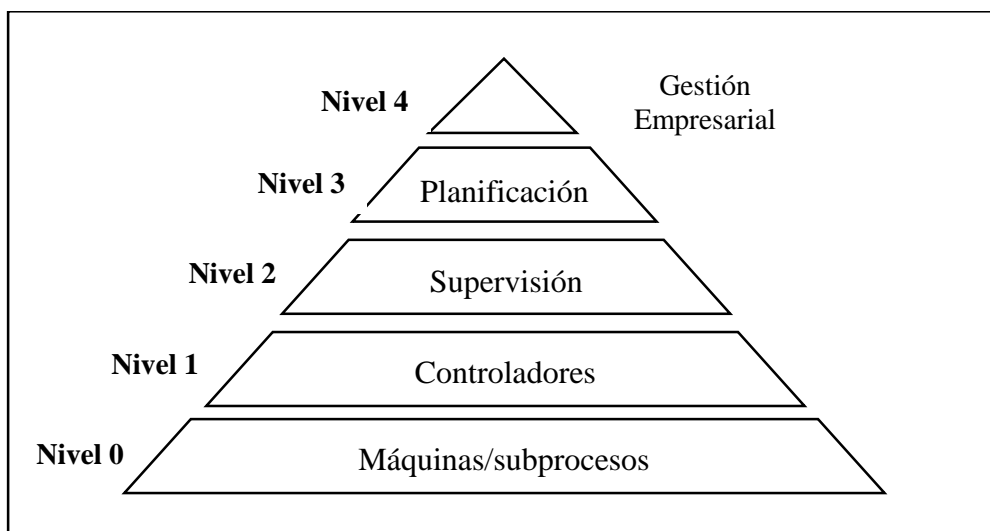


Figura 1. Niveles del sistema automatizado

Fuente: García 2001: página 30. [15]

### 2.2.10 Partes de un sistemas Automatizado

En [15] se divide un sistema automatizado en dos partes:

- **Parte operativa:** va a ejecutar las órdenes de manera directa sobre los equipos. Esta parte la comprende los elementos que hacen posible el funcionamiento de la máquina y el desarrollo de su respectiva operación, la conforman los motores, compresores, captadores entre otros.

- **Parte de control:** conjunto de dispositivos que se encargan de controlar y coordinar el funcionamiento de la parte operativa. Además debe ser capaz de establecer relación con todos los elementos que conforman el sistema.

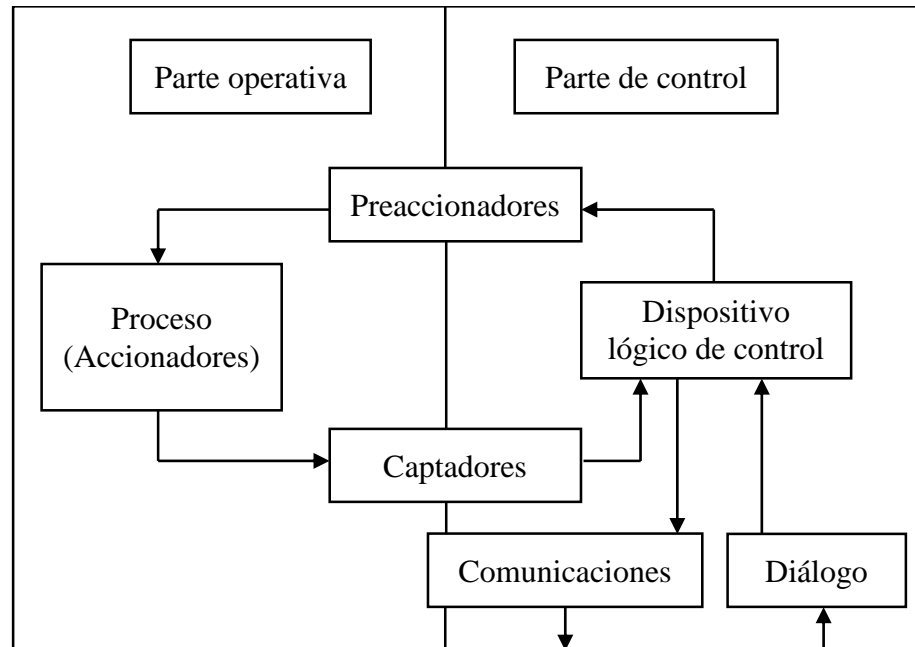


Figura 2. Modelo estructural de un sistema automatizado

Fuente: García 2001: página 11. [15]

### 2.2.11 Clasificación tecnológica

En [15] nos explica que en el transcurso del tiempo el desarrollo de la tecnología se encuentra relacionado al desarrollo de los controladores. En la siguiente imagen se puede apreciar los tipos de lógicas: cableadas y programadas

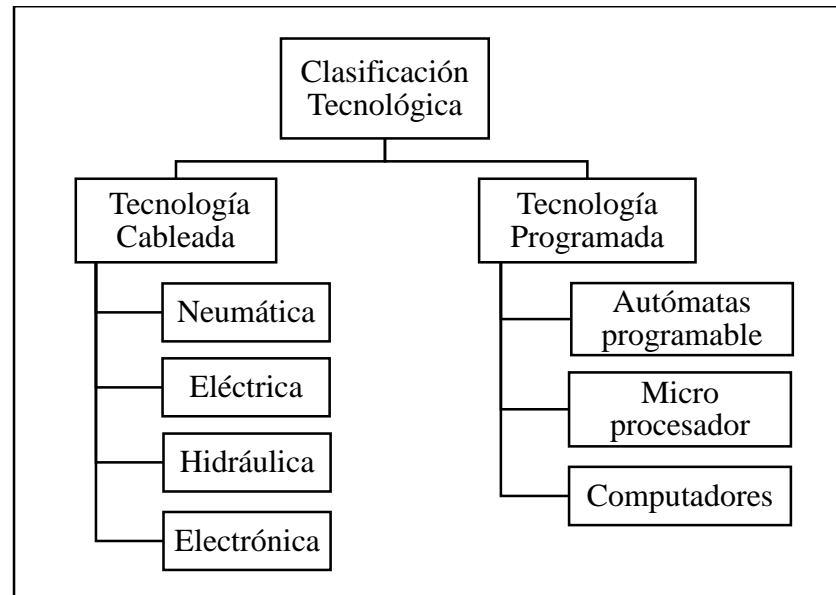


Figura 3. Clasificación tecnológica

Fuente: García 2001: página 22. [15]

### 2.2.12 Controlador Lógico Programable

Para [14] un PLC (Controlador Lógico Programable) o autómata programable viene a ser un sistema de control que actúa de forma automática y que opera en forma digital mediante una serie de instrucción. Los PLC procesan las entradas y salidas: las entradas hace referencia a los sensores y salidas a los actuadores.

#### 2.2.12.1 Ciclo de funcionamiento del PLC

Barrientos y Gamboa [16] nos dicen que el funcionamiento básico de un autómata programable presenta los siguientes pasos: se analiza los valores recibidos por los módulos de entrada, se ejecuta el programa de usuario y se actualiza los módulos de salidas a partir de la imagen de salida en la memoria del sistema.

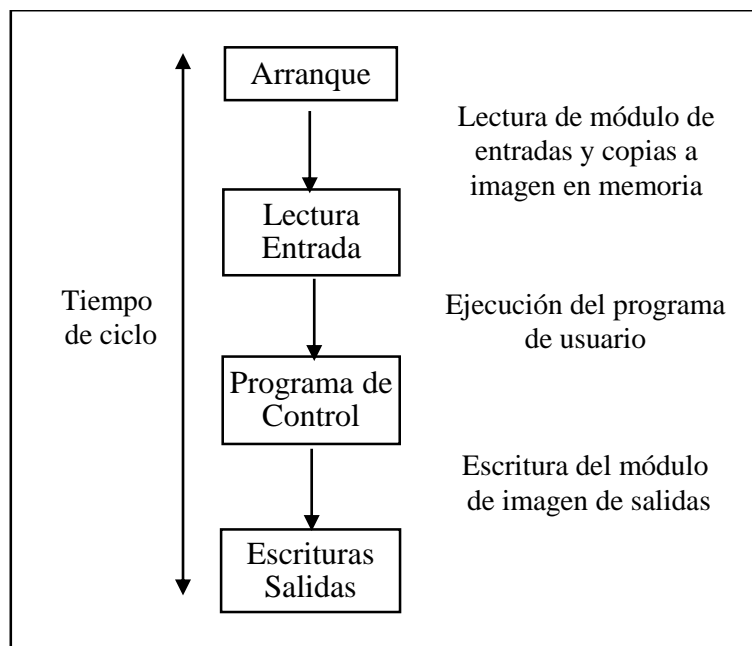


Figura 4. Ciclo básico del funcionamiento del PLC

Fuente: García 2001: página 176. [15]

#### 2.2.12.2 Entradas y salidas digitales

Según [13] son los módulos entradas/salidas digitales que sirven para conectar el PLC a accionadores de tipo todo o nada. Se encargan de transformar la señal recibida en una señal que puede ser cero o uno según la memoria interna, asimismo los PLC van transmitir una orden en el mismo lenguaje que los equipos.

#### 2.2.12.3 Entradas y salidas analógicas

Según [13] son los módulos de entradas/salidas analógicas que sirven para conectar al PLC a accionadores de mando para percibir señales analógicas, asimismo sirven como interfaz para controlar los procesos de forma continua a través del programador lógico que pueda controlar variables como la temperatura, presión, caudal entre otros.

### 2.2.13 Sistemas de Control

Carrullo [17] nos explica que existen muchos conceptos para un sistema de control, sin embargo su definición se basa en el objetivo que persiguen al tratar de controlar el sistema. Por lo tanto define un sistema de control como el medio por el cual se puede generar una respuesta deseada a un conjunto de elementos relacionados entre sí.

#### 2.2.13.1 Sistema lazo abierto

Según [17] son sistemas de control en donde la señal de entrada no se podrá ver afectada por la señal de salida. En efecto no habrá una retroalimentación o comparación entre ambas señales.

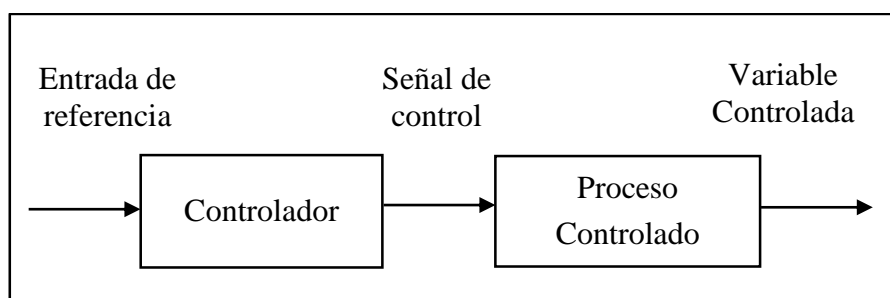


Figura 5. Sistemas de control de lazo abierto

Fuente: Kuo 1996; página 9. [18]

#### 2.2.13.2 Sistema lazo cerrado

Según [17] son sistemas en donde el controlador recibe la señal de error de desempeño, es decir que existirá una retroalimentación entre la señal de salida y la señal de entrada, con el objetivo de llevar el error al setpoint o valor de referencia.

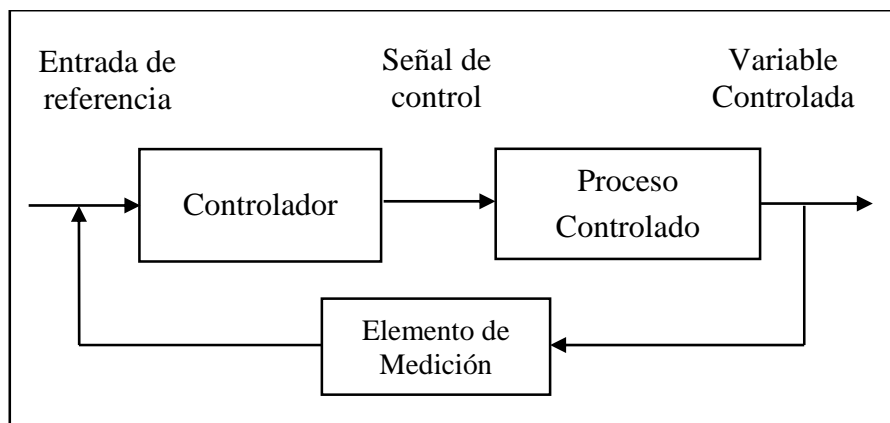


Figura 6. Sistemas de control de lazo cerrado

Fuente: Kuo 1996: página 10. [18]

#### 2.2.14 Sistema de control ON-OFF

Según Gutiérrez y Iturralde [19] es la acción de control entre dos posiciones de todo o nada (on/off), por lo tanto el controlador solo tendrá dos movimientos. El control On-Off es considerado un sistema simple y de bajo costos, motivo por el cual se utiliza en diferentes campos del sector industrial como del sector doméstico, además para este sistema es usual que el controlador sea un dispositivo eléctrico.

#### 2.2.15 Sistema de control PID

Lozano, Rodríguez y Giraldo [20] nos dice que un controlador PID viene a ser la opción de control más utilizada en procesos industriales, el cual proporciona un control del proceso con un comportamiento estacionario o transitorio, por tal motivo viene a ser una solución eficiente para controlar los procesos en la causalidad. Para diseño del controlador se tendrá que determinar los parámetros proporcional, integral y derivativo.

En [20] es una estrategia de control basada en la combinación de tres acciones básicas. La ecuación de control con esta acción combinada se obtiene de la siguiente forma:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Teniendo como función de transferencia

$$C_{PID}(S) = k_p \left( 1 + \frac{I}{T_i S} + T_d S \right)$$

Apartir de esa función se puede determinar que la acción proporcional ( $k_p$ ) actúa de manera directa con el error, la acción integral ( $T_i s$ ) que va a eliminar los errores de las señales pasadas y la acción derivativa ( $T_d^S$ ) que servirá para dar mejor respuesta transitoria a través de una acción para predecir los errores futuros del proceso.

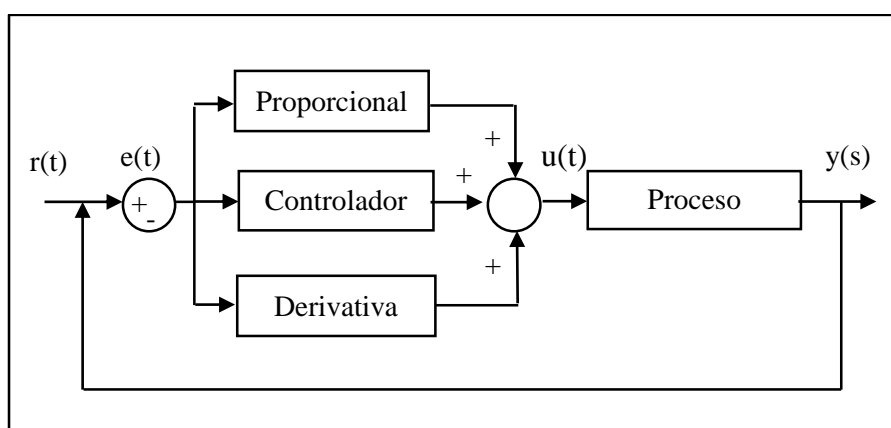


Figura 7. Estructura de un sistema de control PID

Fuente: Kuo 1996: página 672. [18]

## 2.2.16 Metodología de Control

### 2.2.16.1 Método de Ziegler Nichols

Según Alfaro [21] es un método de sintonización que consiste en determinar los parámetros proporcional, integral y derivativo de un controlador de un proceso del cual se desconoce su función de transferencia, para ello establecieron dos reglas de sintonización de acuerdo al tipo de sistema.

El primer método de sintonización o curva de reacción se aplica a un proceso de escalón unitario, donde la curva del proceso presenta una forma sigmoïdal y los parámetros se determinan a través del tiempo de retardo ( $L$ ) y constante de tiempo ( $\tau$ ), mientras que el segundo método de sintonización

o método oscilatorio consiste en llevar al proceso hasta su límite de estabilidad para determinar los parámetros en base a la ganancia crítica ( $K_{cr}$ ) y periodo crítico ( $P_{cr}$ ).

#### **2.2.16.2 Método asignación de polos**

Según [22] es un método empleado en sistemas de lazo cerrado, en donde se va a sobreparametrizar el controlador manteniendo sus polos dominantes en sus ubicaciones originales, el proceso consiste en asignar polos para modificar la función de transferencia del sistema, teniendo en cuenta que si alteramos los parámetros del proceso puede afectar el ruido de salida. Como resultado se obtiene un nuevo regulador con una varianza alterada de acuerdo a los parámetros establecidos.

#### **2.2.17 Sensores**

En [14] lo define como un dispositivo capaz de detectar y señalar un cambio o una cantidad que puede ser medible, que sirve como medio para conectar el sistema de control con el ambiente físico.

##### **Criterios de selección de sensores**

En [14] nos explica que la selección de los sensores va a depender del uso que se le asigna, ya sea por uso científico o para ingeniería. El objetivo es obtener datos exactos y con la incertidumbre aceptada. Para la selección se debe tomar las siguientes consideraciones:

- Alcance de medición
- Exactitud del producto
- Condiciones de trabajo
- Ventajas y desventajas

## **2.2.18 Sensores de temperatura**

Según [15] indica que variable susceptible de medición más común en los procesos industriales es la temperatura, para su medición se utilizan tres tipos de sensores:

### **2.2.18.1 Trasmisores**

Es un sensor que cambia su resistencia con la temperatura. En su fabricación se utiliza como material base una mezcla de cerámica. [15]

### **2.2.18.2 RTD**

El principio de funcionamiento de los RTD se basa en que todos los metales manifiestan un cambio positivo en su resistencia debido a un cambio de la temperatura. [15]

### **2.2.18.3 Termocupla**

Es un sensor que convierte directamente un cambio de temperatura en un cambio de tensión que está constituido por la unión de dos metales diferentes. Además cuenta con un alto rango de temperatura y los tiempos de respuestas son del orden de milisegundos, que significa una ventaja para su aplicación y son de fácil instalación puede resultar sencilla. [15]

## **2.2.19 Actuadores**

Para Hernández y Mendoza [14] es el dispositivo capaz de convertir la energía eléctrica, hidráulica o neumática en una respuesta de una máquina con el objetivo de producir un efecto en un proceso que se encuentra automatizado. El actuador recibe la señal del controlador, quien este a su vez ordena al elemento final de control.

## **Criterios de selección de actuadores**

En [14] nos explica que para la selección de los actuadores se deben tomar las siguientes consideraciones:

- Acción a realizar
- Velocidad de la acción
- Tiempo de la acción

### **2.2.20 Sistemas de producción**

En [14] indica que para alcanzar la eficacia, una empresa debe establecer un sistema que sea útil para el tipo de producto que se requiera producir. Entonces se define un sistema de producción como un conjunto de personas, equipos y procedimientos planteados para la combinación material y procesos para desarrollar los procesos productivos en la empresa.

#### **2.2.20.1 Producción continua o estandarizada**

- Pueden ser de dos tipos: producción en línea o por proceso continuo
- Se produce grandes cantidades de productos.
- Los tiempos de ciclo son cortos
- Las máquinas están instaladas de acuerdo a las operaciones
- Los operarios están capacitados para una sola operación
- Los inventarios durante el proceso son mínimos en comparación a las unidades producidas.

#### **2.2.20.2 Producción intermitente**

- Se producen uno o varios productos en periodos de tiempo
- Los ciclos de fabricación son largos
- Maquinas semejantes agrupadas con inspección común

- Las cargas de trabajo están desequilibradas y las maquinas pueden pasar el día enteros inactivas
- Posee grandes inventarios debido a los ciclos largos de fabricación

### **2.2.20.3 Producción por proyecto**

- Se produce a pedido y no poseen inventarios
- Producción de productos únicos y muy específicos
- Dificultad para balancear la capacidad de la planta
- Tiempo de fabricación pocos definidos
- Personal versátil y muy capacitado
- Productos muy costosos

### **2.2.21 Estudio de tiempos**

Según Kanawaty [23] viene a ser una técnica para medir el trabajo utilizada para registrar los tiempos y ritmos de un proceso a unas condiciones determinadas. Se utilizar con el objetivo de medir el tiempo que se requiere para realizar una tarea específica en relación a un tiempo ya restablecido.

### **2.2.22 Productividad**

Según [23] la define como la relación entre un producto y los recursos utilizados para su obtención. Esta definición se emplea tanto para una empresa, para una actividad económica o inclusive la economía misma.

Para Garcia [24] es el grado de rendimiento para alcanzar los objetivos utilizando los recursos disponibles, además señala que no debe ser considerado como un indicador de producción o la cantidad unidades producidas, sino la eficiencia del uso de los recursos para alcanzar los resultados deseados.

### 2.2.22.1 Producción

López [25] define a la producción como la relación entre las unidades producidas en un periodo determinado de tiempo, se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Producción} = \frac{\text{unidades}}{\text{tiempo}}$$

### 2.2.22.2 Productividad

Heizer y Render [26] define como la relación entre las salidas y los recursos que han sido utilizados para el proceso y se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{recursos utilizados}}$$

En [26] explica que la productividad no es cuando se emplea un único recurso como productividad de un solo factor, sino que se debe tener un punto de vista más amplio de incluir todos los recursos o entradas.

$$\text{Productividad de MP} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{MP utilizada}}$$

$$\text{Productividad de MO} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{mano de obra}}$$

$$\text{Productividad de energía} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{energía utilizada}}$$

$$\text{Productividad de insumos} = \frac{\text{unidades producidas}}{\text{insumos}}$$

Para determinar la variación de la productividad en un determinado tiempo se expresa la siguiente fórmula:

$$\Delta \text{ Productividad} = \frac{\text{productividad final} - \text{productividad inicial}}{\text{productividad inicial}}$$

### 2.2.22.3 Eficiencia física

Según López [25] la define como la relación entre la cantidad de materia prima obtenida al finalizar el proceso y la cantidad de materia prima utilizada al inicio del proceso. Además señala que la eficiencia física puede afectar la productividad y relaciona los insumos empleados con la calidad del producto. Se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Salidas de MP}}{\text{Entradas de MP}}$$

### 2.2.22.4 Eficiencia económica

En [25] la define como el grado de relación entre los ingresos obtenidos y los costos realizados. Se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Ingresos (ventas)}}{\text{Gastos (Costos)}}$$

### 2.2.23 Transferencia de Calor

Según Warren, Julian y Peter [27] viene a ser el contacto entre dos objetos que se encuentran a diferentes temperaturas, donde el calor va a fluir desde el objeto más calientes hacia el más frío y el flujo neto se producirá de manera decreciente hasta que ambos tengan la misma temperatura.

### 2.2.24 Mecanismos de transferencia de calor

En [27] los mecanismos para la transferencia de calor son tres principalmente:

### 2.2.24.1 Conducción

Cuando exista una variación de la temperatura en una sustancia, el calor va a fluir sin tener un comportamiento visible de la materia. A este flujo de calor se le conoce como conducción y se calcula a través de la ley de Fourier:

$$\frac{dq}{dA} = -k \frac{dT}{dx}$$

El valor de  $q$  es el flujo de calor en dirección a la superficie,  $A$  es el área,  $T$  es la temperatura,  $x$  será la distancia que separa hasta llegar a la superficie y  $k$  es la constante de conductividad térmica

### 2.2.24.2 Convección

Viene a ser el calor que fluye a través de un fluido, y se produce a partir de paredes metálicas, partículas sólidas o superficies líquidas. Generalmente el flujo de calor será proporcional a la resta de las temperaturas de la superficie y el fluido, para su cálculo se aplica la ley de Newton de enfriamiento.

$$\frac{q}{A} = h (T_s - T_f)$$

En donde  $T_s$  es el valor de la temperatura de la superficie mientras que  $T_f$  será el valor de la temperatura global del fluido y  $h$  es el coeficiente de transferencia de calor.

### 2.2.24.3 Radiación

Para [28] viene a ser la transferencia de calor en el espacio a través de ondas electromagnéticas, por lo tanto a transferencia por radiación dirigida el calor de la misma manera que se transfiere la luz. Además los sólidos y líquidos cuando presentan un flujo de calor absorben la radiación, por lo que es más aplicable en transferencia de gases a través del espacio.

$$W_b = \sigma T^4$$

El  $W_b$  es la velocidad de emisión de la energía radiante por unidad de área,  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzmann y  $T$  es la temperatura absoluta.

### 2.2.25 Diagrama de Pareto

Gutiérrez [29] dice que no es posible resolver todos los problemas de un proceso al mismo tiempo, por ello un diagrama de Pareto es un gráfico especial de barras para analizar y categorizar los datos con el objetivo de localizar las causas principales de un problema. El sustento del diagrama gira en torno a la ley de 80 y 20, donde el 20% de los elementos producen el 80 % de los efectos. Es decir que del total de elementos solo unos pocos son los de mayor importancia.

### 2.2.26 Diagrama de Ishikawa

Según la IUNT [30] viene a ser un método grafico que se utiliza para realizar un diagnóstico de las causas y por consiguiente controlarlas. En el diagrama se observan las principales factores (causas) que pudieran afectar proceso en las líneas principales, del mismo modo se aplica para cada una de las líneas para tener una subdivisión y poder visualizar todas las causas posible que pudieran ser identificadas.

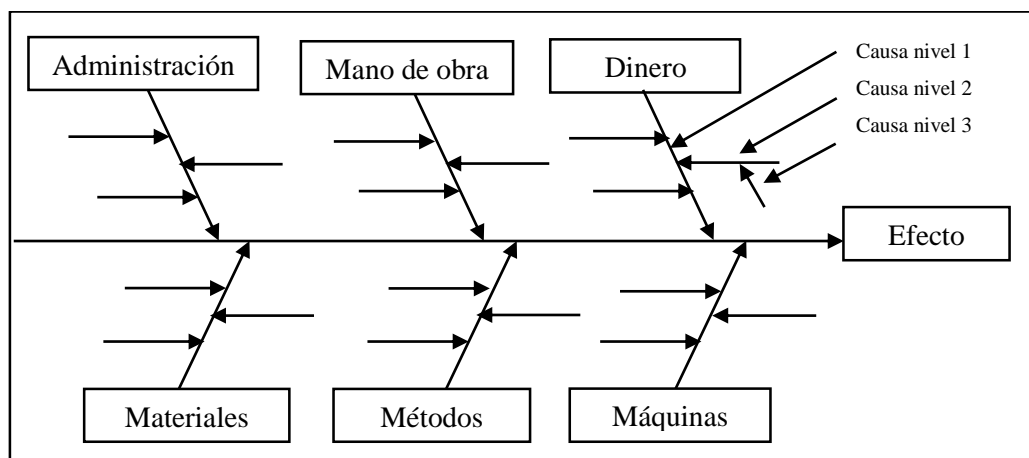


Figura 8. Estructura del diagrama de Ishikawa

Fuente: IUNT 2009; página 23. [30]

### 2.3 DEFINICIÓN DE TERMINOS

- ✓ **Ladrillos Conformes:** lo conforman los ladrillos producidos que cumplen con las características de calidad y son dirigidos al cliente.
  
- ✓ **Mermas:** lo conforman los ladrillos producidos que no cumplen con las características de calidad y son reprocesadas al proceso.
  
- ✓ **Costos de producción:** Son los gastos de los recursos utilizados para producir el ladrillo.
  
- ✓ **Paquete:** Son estructuras formadas por ladrillos temporalmente para ser ingresadas al horno.
  
- ✓ **Calor:** Es la transferencia de energía de un cuerpo a otro determinada exclusivamente por una diferencia de temperatura

### **III. RESULTADOS**

#### **3.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA**

La metodología utilizada fue presentar información significativa de la empresa como datos generales, la estructura organizacional, los productos que ofrece al mercado, materia prima e insumos, el sistema de producción y los indicadores del proceso de producción, para posteriormente realizar el diagnóstico a través de la elaboración de un diagrama de Ishikawa, donde se identifican las principales causas que generan una baja productividad en la elaboración y comercialización de los ladrillos. Para cada causa se evidenció a través de indicadores que pudieran sustentar el problema principal.

##### **3.1.1 La empresa**

La empresa Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L. nace con el propósito de satisfacer las necesidades del sector de construcción en el departamento de Lambayeque. Fue creada el 5 de septiembre del 2012 y se encuentra en el kilómetro 5,5 de la carretera San José en el distrito de Lambayeque con una extensión de 3 hectáreas. Es una empresa que pertenece al sector de ladrillos y con el tiempo se ha establecido en el mercado regional, dedicada la elaboración y comercialización de diferentes tipos de ladrillos. La empresa trabaja un turno de 8 am a 6 pm, con un descanso de 12 am a 1 pm.

Actualmente la empresa dispone de cuarenta trabajadores en el área de producción, cinco trabajadores en el área de mantenimiento, seis trabajadores en el área de almacén y tres profesionales para el área administrativa: un gerente, un contador y una secretaria, además cuenta con personal de vigilancia y personal para el comedor.

A continuación, se presenta una breve descripción de la empresa donde se llevó a cabo el proyecto de investigación:

- **Nombre de la Empresa:** Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.
- **Ubicación :** Kilómetro 5,5 de la carretera San José, distrito de Lambayeque, departamento de Lambayeque
- **Actividad Económica:** Elaboración y comercialización de ladrillos
- **Estado:** Activa
- **Tipo de empresa:** Empresa individual de responsabilidad limitada
- **RUC:** 20602970214
- **CIU:** 51906
- **Principales Competidores:** Lark , Fortaleza, Dino

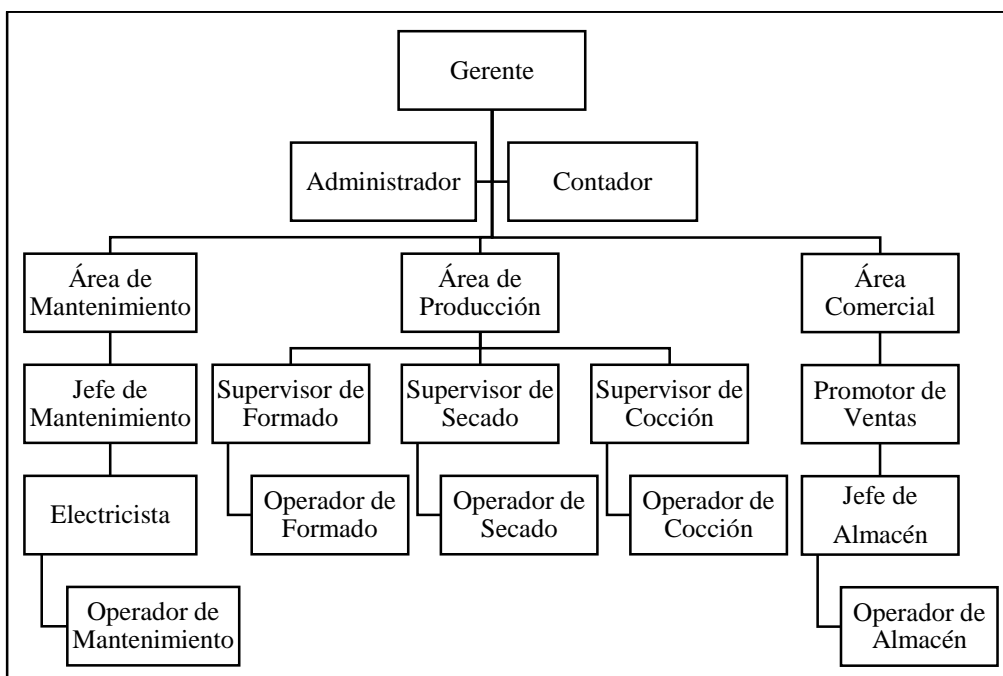


Figura 9. Organigrama de la empresa

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.2 Producto

En la actualidad la empresa fabrica siete diferentes tipos de ladrillos donde la cantidad a producir para cada tipo va a depender de la demanda del mercado o el pedido del cliente. El producto de mayor demanda para la empresa es el tipo pandereta y posteriormente el tipo estándar, debido a que por medio de sus características y propiedades posee diferentes usos para la construcción.

Según el reglamento nacional de edificaciones [31] se describe el uso y las características de los diferentes tipos de ladrillos que fabrica la empresa:

- **Ladrillo pandereta:** Se utiliza para la construcción de muros, tabiquería ligera y separación de ambientes debido a su tamaño y forma. Posee una superficie rayada que obedece a las preferencias de los constructores, para una adherencia al tarrajeo,
- **Ladrillo estándar:** Se utiliza para la construcción de cercos perimétricos, muros que soportan techos entre otros usos de igual importancia. Además debido al diámetro de sus hoyos permite un mejor el ingreso del concreto para fortificar las estructuras.
- **Ladrillo panderetón:** Se utiliza para la construcción de muros, tabiquería y separación de ambientes. Posee la misma superficie rayada que la pandereta, pero en mayores dimensiones.
- **Ladrillo Súper King Kong:** Se utiliza para la construcción de muros portantes debido a que soportan mucho peso, son utilizados principalmente la construcción de techos y cercos.
- **Ladrillo tipo 4:** Se utiliza para la construcción de techo aligerado, normalmente en los últimos pisos o ambientes pequeños finales
- **Ladrillo techo 12:** Se utiliza para la construcción de techo aligerado de ambientes menores con transito liviano
- **Ladrillo techo 15:** Se utiliza para la construcción de techos de ambientes amplios debido a su gran resistencia y soporte al alto tránsito

A continuación se presenta las dimensiones de los tipos de ladrillos producidos por la empresa

Tabla 1. Dimensiones de los ladrillos según el tipo

Tipo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)	Peso (kg)
<b>Pandereta</b>	22	11	9	2
<b>Estándar</b>	24	12	9	3
<b>Panderetón</b>	25	15	12	3
<b>Súper King Kong</b>	39	19	12	9
<b>Techo 8</b>	30	30	8	4
<b>Techo 12</b>	30	30	12	7
<b>Techo 15</b>	30	30	15	8,5

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.3 Materia prima

- **Tierra Negra:** es empleado en el proceso debido a su concentración de alúmina entre un 10 a 20 %, que facilita la manipulación del material y le proporciona la dureza al ladrillo.
- **Tierra amarilla:** es empleada debido a su concentración de óxido férrico y óxido ferroso a un 10 %, el cual va a generar el color que caracteriza al ladrillo.
- **Caolín:** es empleado debido a su concentración de sílice de aluminio que brinda las propiedades térmicas y la dureza respectivas del ladrillo.
- **Arenilla** es empleado debido a su composición de silicio en un 95 %, que sirve como desengrasante para evitar posibles rajaduras o grietas, además de proporcionar junto con el caolín el color al ladrillo.

### 3.1.4 Subproducto

- **Galleta cruda:** es un subproducto obtenido en la etapa de formado y secado que hace referencia a los ladrillos que no presentan la consistencia adecuada, es triturado y reutilizada como materia prima en el proceso

- **Chamota:** es un subproducto obtenido en la etapa de cocción, que hace referencia a los ladrillos quemados y quebrados, es triturado y reutilizado como materia prima en el proceso de ladrillos debido a su contenido alto de sílice y alúmina.

### 3.1.5 Insumos

- **Agua:** es utilizado en la etapa de amasado para dar consistencia a la mezcla de arcilla.
- **Pajilla:** se obtiene como residuo del pilado de arroz, es utilizado como combustible y cuenta con un poder calorífico de 3280 kcal/kg.
- **Cascarilla de café:** se obtiene como residuo proceso de café, es utilizado como combustible y cuenta con un poder calorífico de 4 450 kcal/kg.
- **Aserrín:** se obtiene como residuo de la madera, es utilizado como combustible y cuenta con un poder calorífico de 3 560 kcal/kg.

### 3.1.6 Desechos

- **Gases de combustión:** se produce por la combustión de material utilizado para la quema del horno, los cuales son emitidos de manera directa al ambiente afectando a la calidad del aire ya que no se realiza tratamiento.
- **Cenizas:** se produce como resultado de la combustión del material usado en la etapa de cocción que se encuentra depositado en la superficie de horno y de los ladrillos que salen del proceso.
- **Barro:** es la arcilla húmeda que se desprende de la etapa de formado debido a movimiento de las máquinas de las operaciones de amasado, extrusión y cortado, se considera desecho ya que no se realiza ningún tratamiento.

### 3.1.7 Descripción del proceso

#### 3.1.7.1 Mezclado

Es la etapa que inicia el proceso de producción, en donde las materias primas se van a mezclar de acuerdo al tipo de ladrillo para elaborar la arcilla. El supervisor de formado se encarga de determinar las proporciones necesarias de cada materia prima que van a dar las distintas propiedades de ladrillo según el tipo. Esta operación se realiza por medio de palas cargadoras, que viene a ser una maquinaria de movimiento de tierras, las cuales también realizan el transporte de la arcilla hasta la etapa de molienda. Para determinar las cantidades adecuadas la empresa hace uso de la unidad de medida “lamponada” que es equivalente de 3 m<sup>3</sup> de material que ingresa al proceso.

Tabla 2. Composición de materia prima por tipo de ladrillo

Tipo	Tierra negra (%)	Tierra amarilla (%)	Arenilla (%)	Caolín (%)	Chamota (%)	Galleta (%)
<b>Pandereta</b>	55	15	12	8	5	5
<b>Estándar</b>	40	20	15	5	10	10
<b>Panderetón</b>	40	14	14	8	12	12
<b>Súper King kong</b>	14	46	15	10	20	5
<b>Techo 8</b>	40	14	14	12	10	10
<b>Techo 12</b>	40	14	14	12	10	10
<b>Techo 15</b>	40	14	14	12	10	10

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.



Figura 10. Materias primas del proceso

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.7.2 Molienda

Se inicia con el ingreso de la arcilla en la tolva de recepción, en donde un operario se va a encargar de separar las piedras u otros elementos extraños, ya que la arcilla llega con impurezas que pueden causar daños a las máquinas debido a su dureza y tamaño. Posteriormente la arcilla es transportada a través de fajas transportadoras para ser triturada continuamente mediante un molino de martillo para obtener un tamaño adecuado.



Figura 11. Etapa de molienda

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.7.3 Tamizado

En esta etapa la arcilla es tamizada por medio de una máquina zaranda para obtener partículas uniformes. La arcilla que no fue correctamente triturada es devuelta a la etapa de molienda a través de una faja transportadora para ser reincorporadas al proceso.



Figura 12. Etapa de tamizado

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

#### 3.1.7.4 Amasado

Esta etapa sirve para homogenizar el ladrillo, en donde se humedece la mezcla de arcilla con agua en proporción a un 20% del material proveniente de la molienda. El operario asignado en esta área suministra el agua de acuerdo a su experiencia, observación y en un determinado intervalo de tiempo. La mezcla de arcilla se amasa por efecto de una máquina de mezclado de un eje equipado con paletas discontinuas que giran y forman una masa homogénea hasta conseguir la textura apropiada para su extrusión.



Figura 13. Etapa de amasado

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

#### 3.1.7.5 Extrusión

Una vez terminado la etapa de amasado, la mezcla húmeda es trasladada por medio de una faja transportadora hacia la extrusora, en donde se va a dar forma a la arcilla. La masa es compactada por medio de una bomba al vacío que extrae el aire y con ayuda de un tornillo si fin se lleva a la salida, en donde se encontrará un molde que le va a proporcionar la forma adecuada según el tipo de ladrillo a producir.



Figura 14. Etapa de extrusión

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.7.6 Cortado

La masa obtenida de la etapa de extrusión es trasladada por medio de una faja transportadora hacia la máquina de cortado, que se va a encargar de cortar la masa de acuerdo a las dimensiones correspondientes para cada tipo de ladrillo. Asimismo los operarios se van a encargar de separar y acomodar los ladrillos conformes para ser trasportados a las pampas de secado, mientras que los no conformes que son los ladrillos que no tuvieron la consistencia adecuada denominada son separados y reutilizados como materia prima. A este subproducto se le denomina “galleta cruda”.



Figura 15. Etapa de cortado

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.7.7 Secado

Esta etapa consiste en reducir la humedad de los ladrillos que provienen de la etapa de cortado en un 5 %, el cual se realiza a través de un secado natural por medio de la exposición al sol, además cada tipo de ladrillo tiene un tiempo promedio de secado ya establecido el cual puede variar según las condiciones climáticas. Los ladrillos son acomodados y transportados a través de coches de carga hasta el área de secado donde son descargados de manera manual y ordenados según el tipo de ladrillo en filas o en paquetes, que inmediatamente son tapados para ser protegidos por el sol y evitar posibles rajaduras.



Figura 16. Pampas de secado

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.7.8 Cocción

Se considera la etapa más importante del proceso debido a que cualquier error podría generar la pérdida de la producción. El proceso consiste en someter a altas temperaturas a los ladrillos provenientes de la etapa de secado por medio de la quema de combustible generando suficiente calor para eliminar la humedad restante en su totalidad y que a su vez puedan adquirir las determinadas propiedades del producto. En esta etapa se utilizan unos hornos de ladrillos tipo Hoffman.

- **El primer paso:** los operarios realizan una limpieza del horno retirando las cenizas presentes en el ambiente de forma manual empleando utensilios de limpieza, asimismo se realiza la mezcla del combustible

compuesto por cascarilla de arroz, aserrín en una mayor proporción cáscara de café.

- **El Segundo paso:** va a consistir en transportar los ladrillos crudos de las pampas de secado por medio de palas cargadoras a la entrada del horno, donde serán ordenados en paquetes de acuerdo al tipo del producto utilizando ladrillos tipo estándar en la base para que sirvan como soporte a la estructura.
- **Tercer paso:** se colocan los ladrillos dentro del horno respetando 1,2 m de distancia por cada paquete. Posteriormente se tapa la entrada y salida del horno con una mezcla de ladrillos de segunda y cemento para evitar posibles fugas de aire.



Figura 17. Combustión del material

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

- **Cuarto paso:** los operarios del área van a suministrar combustible a los quemadores ubicados en la parte superior del horno, permitiendo el ingreso del material en los 4 agujeros conectados entre cada paquete y así sucesivamente por un intervalo de tiempo de 40 minutos.



Figura 18. Etapa de cocción

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

- **Quinto paso:** En esta área se encuentra un supervisor de cocción quien se encarga de controlar el proceso, determinando el combustible necesario para el proceso en base a su experiencia, si el color de la candela es naranja significa que se mantiene en la temperatura correcta. Además trabaja conjuntamente con cuatro operarios, de los cuales dos se encargan de realizar el mezclado y el resto de ingresar el combustible en las tolvas de los quemadores. Finalmente se retira la tapa del horno y se permite el ingreso del aire.

### **El horno de ladrillos**

La empresa realiza el proceso de cocción mediante el uso de un horno tipo Hoffman, el cual posee un circuito abierto de forma rectangular con un techo arqueado y en su superficie cuenta con hoyos de alimentación que están conectados con el interior conocido como zona de quema. La empresa actualmente dispone de seis hornos pero solo cuatro se encuentran activos. Cada horno posee 40 filas compuestas por 4 hoyos respectivamente, equivalente a un total de 160 hoyos por horno.



Figura 19. Hornos tipo Hoffman

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### **Ventilador de aire**

Para generar la combustión la empresa dispone de un ventilador que permite el ingreso del aire al interior del horno, donde por medio de la presión se va a incrementar la temperatura y a su vez transformar el combustible en candela. Actualmente la empresa dispone de 2 ventiladores, sin embargo solo uno se encuentra en funcionamiento.



Figura 20. Ventilador de cocción

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

## Quemador de combustible

Para la cocción de los ladrillos se utiliza quemadores, que son equipos diseñados para quemar el combustible elaborado a base de acero inoxidable y cuentan con 4 tolvas de alimentación cada uno, además cada equipo dispone de un respectivo motor para su funcionamiento.

Tabla 3. Descripción del quemador de combustible

Quemador de Combustible				
Posee una capacidad por tolva de 20 kg y cuenta con un tornillo sin fin va permitir el ingreso del combustible a los hoyos de alimentación, el movimiento será efectuado debido a un por un motor asíncrono trifásico conectado al equipo				
Dimensiones			Componente	Modelo
Largo	2,4	cm	Motor	W22 WEG de 2 HP
Ancho	0,6	cm		
Altura	1,5	cm		

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.



Figura 21. Quemadores de combustible

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.7.9 Enfriado

Para finalizar el proceso se deja enfriar los ladrillos con ayuda del aire que ingresa al túnel del horno hasta alcanzar la temperatura ambiente de 25 °C, posteriormente los paquetes son retirados por medio de palas cargadoras y trasladados hasta el almacén de producto terminado.



Figura 22. Transporte de ladrillos cocidos

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.8 Sistemas de producción

La empresa Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L. presenta un sistema de producción intermitente, ya que su proceso de fabricación de ladrillos es flexible para manejar una variedad de distintos tipos de productos y tamaños. Los ciclos de producción son largos, debido a que la transformación de materia prima en ladrillos se realiza por lotes. Además mencionar que las cantidades que forman el lote varían dependiendo de la demanda y el tipo del producto.

Para entrar en detalle, la producción intermitente significa que los ladrillos que se han producido en la etapa de formado debe ingresar en un mismo lote a la etapa de secado, de igual manera ingresan a la etapa de cocción, para que puedan adquirir las propiedades y características adecuadas para satisfacer las necesidades del cliente.

### 3.1.9 Análisis del proceso

Para representar el proceso de producción de ladrillos se realizó un diagrama de bloques que se puede apreciar en la figura 23.

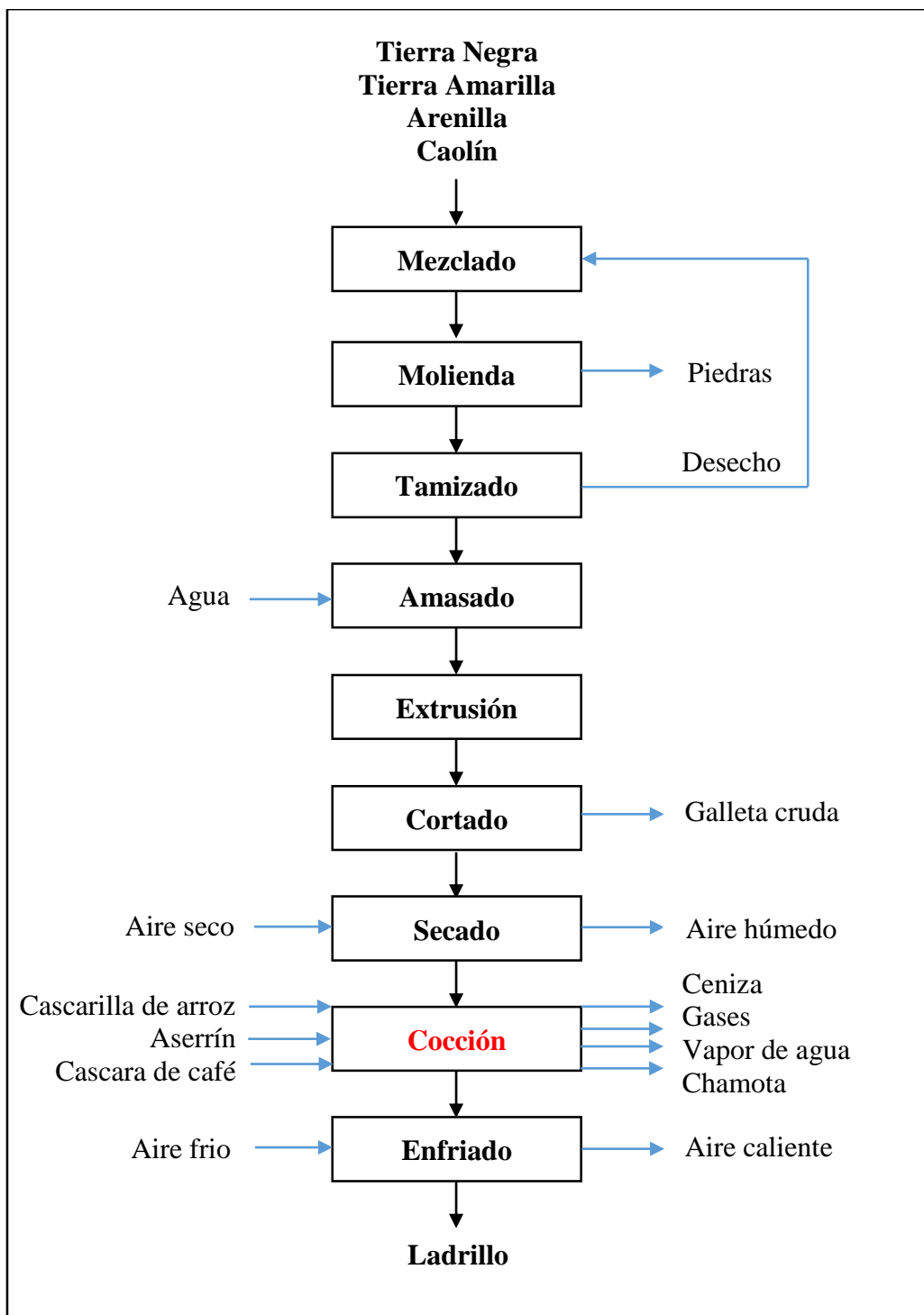


Figura 23. Diagrama de bloques del proceso de producción de ladrillos

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Para realizar el diagrama de operaciones de la producción de ladrillos se debe calcular los tiempos promedios en cada etapa del proceso. Para ello se aplicó el método de General Electric, siendo el más adecuado para un sistema de producción intermitente, ya que presenta un tiempo de ciclo largo.

El número de ciclos a observar para obtener un tiempo de ciclo promedio del proceso se determinó en base a la guía convencional de General Electric [24], que sirve de guía para determinar los ciclos que se van a cronometrar en relación a un tiempo de proceso ya establecido, además se debe tener en cuenta un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 % en las mediciones.

Para el cálculo se tomó como referencia el tiempo de ciclo establecido por la empresa de 134,8 horas para la producción de 41 paquetes que viene a ser la capacidad máxima de un horno en la etapa de cocción, es decir 114 800 ladrillos pandereta como producto terminado. Los tiempos establecidos por la empresa se pueden apreciar en anexos 1.

Tabla 4. Numero de ciclos para el estudio de tiempos

<b>Tiempo de ciclo(min)</b>	<b>Numero de ciclos recomendados</b>
0,10	200
0,25	100
0,50	60
0,75	40
1,00	30
2,00	20
2,00 - 5,00	15
5,00 - 10,00	10
10,00 - 20,00	8
20,00 - 40,00	5
40,00 - a más	3

Fuente: García 2005: página 208 [24]

De acuerdo a la tabla 4 el tiempo de ciclo del proceso supera los 40 min, lo que significa que se tendrá que realizar 3 observaciones en cada etapa. A continuación se muestran las mediciones realizados en el proceso de producción de los ladrillos.

Tabla 5. Tiempo promedio del proceso de producción

Etapas	Observaciones (h)			Tiempo Promedio (h)
	1	2	3	
Mezclado	2,6	2,5	2,8	2,63
Molienda	2,1	2,4	2,4	2,30
Tamizado	2,25	2,25	2,1	2,20
Amasado	2,2	2,25	2,3	2,25
Extrusión	2,25	2,4	2,5	2,38
Cortado	2,25	2,4	2,6	2,42
Secado	70	74	80	74,67
Cocción	24,5	24	23,5	24,00
Enfriado	23	23,5	23,75	23,42
Total				136,27

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En la tabla 5 se observa los tiempos promedio de 136,27 horas para la producción de 114 800 ladrillos pandereta, en donde la etapa de menor tiempo es el tamizado con 2,20 horas mientras que la etapa de mayor tiempo es el secado con 74,67 horas, que representa el cuello de botella del proceso.

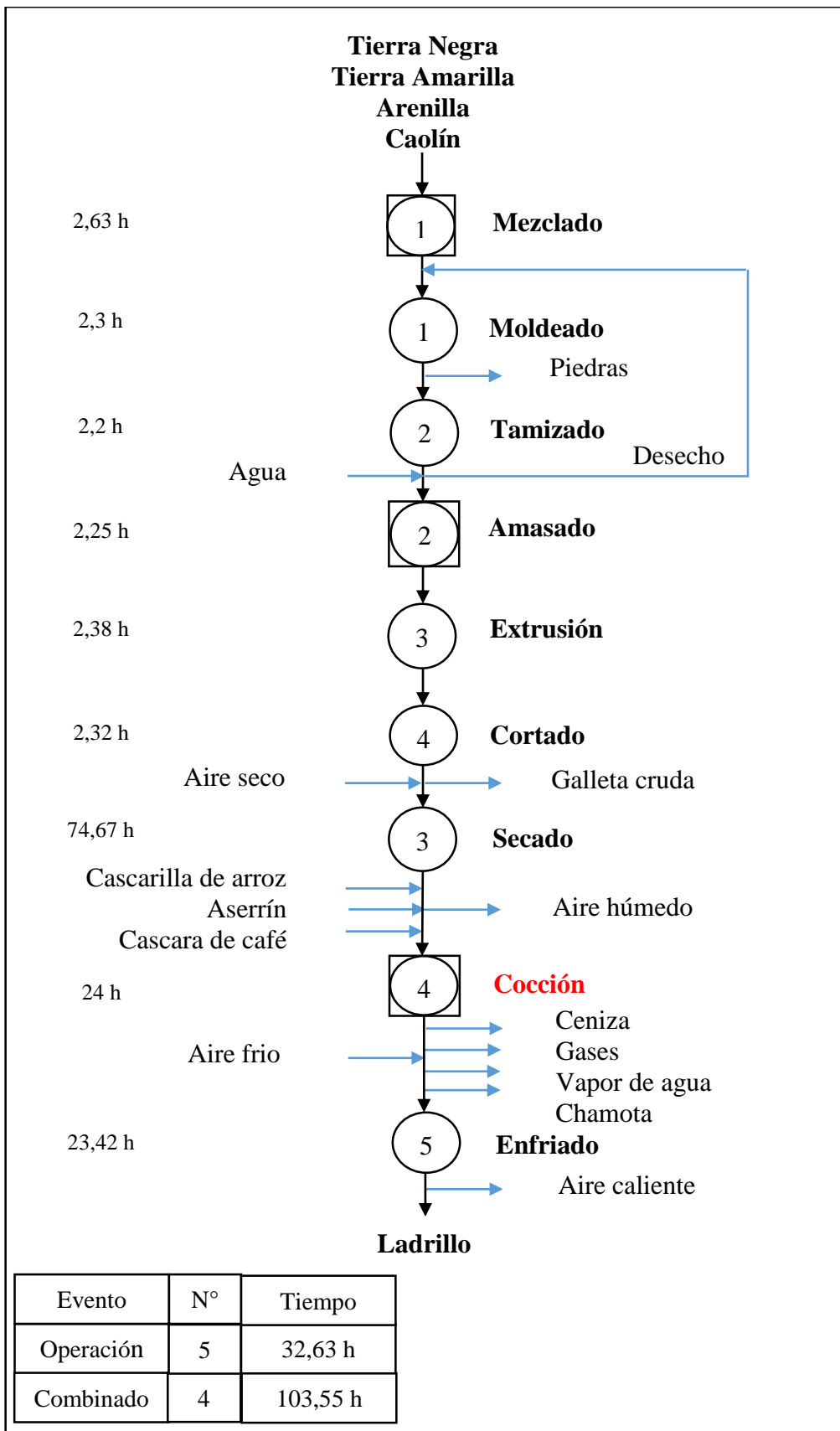


Figura 24. Diagrama de operaciones del proceso de producción de ladrillos

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.1.10 Indicadores del proceso actual

Con el objetivo de realizar un diagnóstico de la empresa, se hizo un análisis a detalle de los indicadores que representan la situación actual de manera cuantitativa, los cuales se pretende mejorar con el desarrollo de la propuesta.

Para una mejor evaluación se realizó un análisis de las ventas de ladrillos del año 2018 y 2019, sin considerar los meses de noviembre y diciembre del 2018 ni enero y febrero del 2019 debido a un cierre temporal de la planta para realizar una reestructuración por parte de la empresa. Además cabe indicar que en el año 2019 por decisión de la gerencia, la empresa dejó de producir ladrillos tipo techo 8 debido a su continua disminución en su demanda que se presentó en los últimos meses.

A continuación se aprecia las ventas según el tipo de ladrillo entre los años 2018 y 2019 respectivamente.

Tabla 6. Ventas según el tipo de ladrillo en el año 2018

Mes	Pandereta (unid)	Estándar (unid)	Panderetón (unid)	Súper king kong (unid)	Techo 8 (unid)	Techo 12 (unid)	Techo 15 (unid)
<b>Ene</b>	1 120 200	173 300	136 800	32 980	36 500	50 025	35 906
<b>Feb</b>	1 058 260	104 060	120 050	26 000	25 500	52 935	23 510
<b>Mar</b>	1 141 660	82 100	122 500	32 610	53 750	54 645	14 920
<b>Abr</b>	848 150	73 350	109 700	26 870	39 900	20 990	28 210
<b>May</b>	714 200	145 220	69 300	26 186	25 000	22 900	25 790
<b>Jun</b>	849 060	183 200	116 730	16 470	21 500	37 300	13 160
<b>Jul</b>	791 020	204 450	110 700	24 170	8 000	34 900	28 220
<b>Ago</b>	957 990	228 910	98 800	26 100	9 760	30 310	15 650
<b>Sep</b>	1 061 770	186 450	60 200	25 134	12 000	37 620	34 290
<b>Oct</b>	781 550	165 550	67 100	25 630	2 500	44 825	17 554
<b>Total</b>	9 323 860	1 546 590	1 011 880	262 150	234 410	386 450	237 210

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Tabla 7. Ventas según el tipo de ladrillo en el año 2019

Mes	Pandereta (unid)	Estándar (unid)	Panderetón (unid)	Súper King kong (unid)	Techo 8 (unid)	Techo 12 (unid)
Mar	541 650	71 600	43 650	18 224	40 080	40 050
Abr	494 450	138 050	58 100	34 975	25 400	35 836
May	507 200	96 553	25 000	19 520	38 190	38 520
Jun	506 100	124 500	84 000	29 950	18 705	24 570
Jul	588 551	135 300	63 050	11 146	54 470	54 470
Ago	758 050	188 050	126 000	25 300	24 320	25 175
Sep	755 200	287 950	103 600	21 570	48 807	50 130
Oct	805 303	254 100	157 600	25 000	41 480	49 605
Nov	873 350	267 870	147 100	23 775	50 960	35 730
Dic	868 400	215 400	94 500	25 869	54 120	35 010
<b>Total</b>	<b>6 698 254</b>	<b>1 779 373</b>	<b>902 600</b>	<b>235 329</b>	<b>396 532</b>	<b>389 096</b>

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En la tabla 7 se aprecia los distintos precios de acuerdo al tipo de ladrillo que la empresa produce, además mencionar que la empresa utiliza como unidad de venta el “millar” que corresponde a la cantidad de mil unidades de ladrillos, por lo que su precio gira en relación a ese valor.

Tabla 8. Precios de ladrillos por millar

Tipo	Pandereta	Estándar	Panderetón	Súper King Kong	Techo 8	Techo 12	Techo 15
<b>Precio</b>	S/ 350	S/ 500	S/ 500	S/ 1 000	S/ 700	S/ 1 500	S/ 1 600

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Posteriormente se observan los ingresos obtenidos por las ventas según el tipo de ladrillo entre el año 2018 y 2019.

Tabla 9. Ingresos por ventas de ladrillos en el año 2018

Mes	Pandereta (soles)	Estándar (soles)	Panderetón (soles)	Súper King Kong (soles)	Techo 8 (soles)	Techo 12 (soles)	Techo 15 (soles)
Ene	392 070	86 650	68 400	32 980	25 550	75 037,5	57 449,6
Feb	370 391	52 030	60 025	26 000	17 850	79 402,5	37 616
Mar	399 581	41 050	61 250	32 610	37 625	81 967,5	23 872
Abr	296 852,5	36 675	54 850	26 870	27 930	31 485	45 136
May	249 970	72 610	34 650	26 186	17 500	34 350	41 264
Jun	297 171	91 600	58 365	16 470	15 050	5 5950	21 056
Jul	276 857	102 225	55 350	24 170	5 600	52 350	45 152
Ago	335 296,5	114 455	49 400	26 100	6 832	45 465	25 040
Sep	371 619,5	93 225	30 100	25 134	8 400	56 430	54 864
Oct	273 542,5	82 775	33 550	25 630	1 750	67 237,5	28 086,4
<b>Total</b>	<b>3 263 351</b>	<b>773 295</b>	<b>505 940</b>	<b>262 150</b>	<b>164 087</b>	<b>579 675</b>	<b>379 536</b>

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

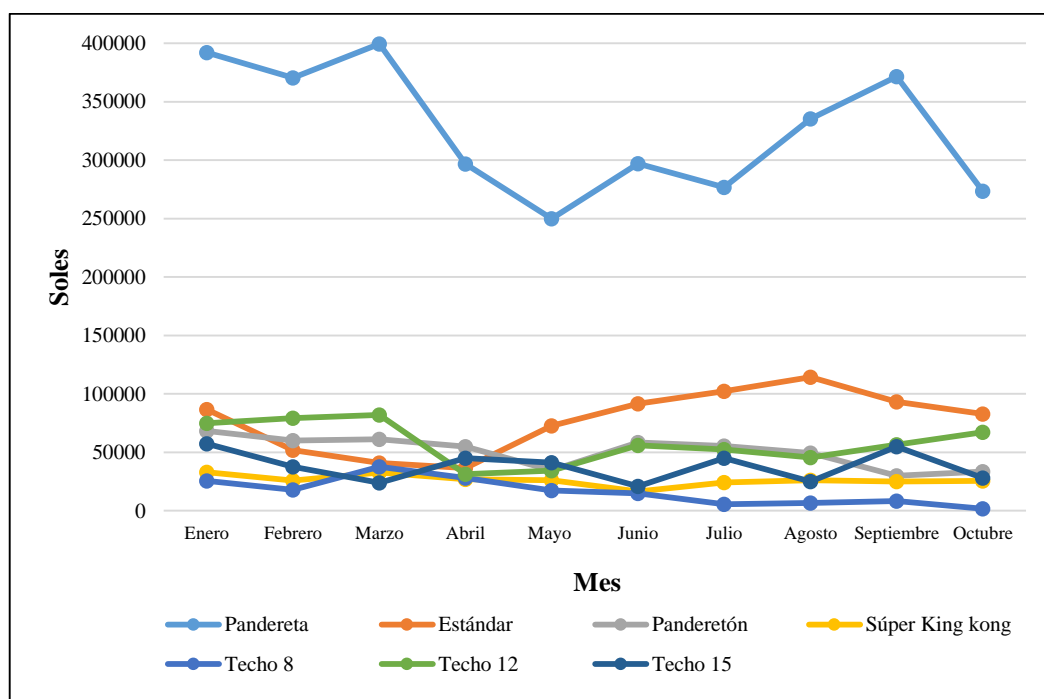


Figura 25. Gráfico lineal de los ingresos por ventas de ladrillos en 2018

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En la figura 25 se puede observar que el ladrillo pandereta fue el producto de mayor demanda y del cual se registró las mayor cantidad de ingresos durante el año 2018.

Tabla 10. Ingresos por ventas de ladrillos en el año 2019

Mes	Pandereta (soles)	Estándar (soles)	Panderetón (soles)	Súper King Kong (soles)	Techo 12 (soles)	Techo 15 (soles)
Mar	189 577,5	35 800	21 825	18 224	60 120	64 080
Abr	173 057,5	69 025	29 050	34 975	38 100	57 337,6
May	177 520	48 276,4	12 500	19 520	57 285	61 632
Jun	177 135	62 250	42 000	29 950	28 057,5	39 312
Jul	205 992,9	67 650	31 525	11 146	81 705	87 152
Ago	265 317,5	94 025	63 000	25 300	36 480	40 280
Sep	264 320	143 975	51 800	21 570	73 209	80 208,4
Oct	281 856,1	127 050,6	78 800	25 000	62 220	79 368
Nov	305 672,5	133 935	73 550	23 775	764 40	57 168
Dic	303 940	107 700	47 250	25 869	811 80	56 016
<b>Total</b>	<b>2 344 389</b>	<b>889 686</b>	<b>451 300</b>	<b>235 329</b>	<b>594 797</b>	<b>566 538</b>

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

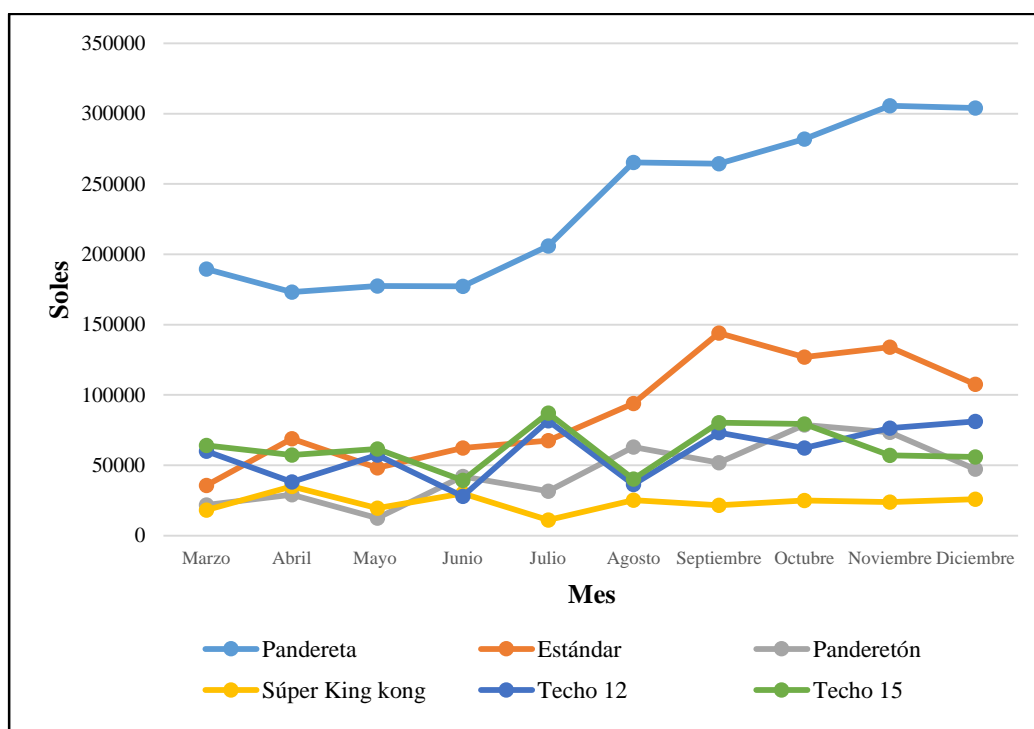


Figura 26. Gráfico de líneas de los ingresos por ventas de ladrillos en 2019

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En la figura 26 se puede observar que el ladrillo pandereta fue el producto de mayor demanda y del cual se registró la mayor cantidad de ingresos durante el año 2019.

Por consiguiente se realizó una tabla resumen de los ingresos por ventas entre ambos años para cada tipo de ladrillo.

Tabla 11. Ingresos por ventas de ladrillos según el año 2018 y 2019

<b>Mes</b>	<b>Producción venta (unid)</b>	<b>Ingresos (soles)</b>	<b>Porcentaje</b>
<b>Pandereta</b>	16 022 114	5 607 740	51 %
<b>Estándar</b>	3 325 963	1 662 981	15 %
<b>Techo 12</b>	782 982	1 174 472	11 %
<b>Panderetón</b>	1 914 480	957 240	9 %
<b>Techo 15</b>	626 306	946 074	9 %
<b>Súper King Kong</b>	497 479	497 479	5 %
<b>Techo 8</b>	234 410	164 087	1 %
<b>Total</b>	23 403 733	11 010 073	100 %

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En efecto la tabla 11 nos indica que el producto por excelencia de la empresa viene a ser el ladrillo pandereta, ya que ocupa un 51 % de los ingresos obtenidos de las ventas del año 2018 y 2019, después le sigue el ladrillo estándar con un 15 % y el ladrillo techo 12 con un 11 %. Por lo tanto el ladrillo tipo pandereta servirá como referencia para calcular los siguientes indicadores del proceso.

## – Producción

Tabla 12. Producción de ladrillos pandereta entre el año 2018 y 2019

Año	Mes	Producción total de ladrillos (unid)	Ladrillos conformes (unid)	Mermas (unid)	Porcentaje de mermas
2018	Ene	1 470 810	1 120 200	350 610	24 %
	Feb	1 412 590	1 058 260	354 330	25 %
	Mar	1 524 560	1 141 660	382 900	25 %
	Abr	1 102 950	848 150	254 800	23 %
	May	934 720	714 200	220 520	24 %
	Jun	1 093 090	849 060	244 030	22 %
	Jul	1 055 310	791 020	264 290	25 %
	Ago	1 301 821	957 990	343 831	26 %
	Sep	1 366 260	1 061 770	304 490	22 %
	Oct	1 035 070	781 550	253 520	24 %
2019	Mar	712 090	541 650	170 440	24 %
	Abr	628 182	494 450	133 732	21 %
	May	701 093	507 200	193 893	28 %
	Jun	652 728	506 100	146 628	22 %
	Jul	802 722	588 551	214 171	27 %
	Ago	987 272	758 050	229 222	23 %
	Sep	1 006 818	755 200	251 618	25 %
	Oct	1 082 728	805 303	277 425	26 %
	Nov	1 152 722	873 350	279 372	24 %
	Dic	1 121 820	868 400	253 420	23 %
<b>Total</b>		21 145 356	16 022 114	5 123 242	24 %

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Como se aprecia en la tabla 12 la producción total fue de 21 145 356 unidades, de las cuales solo se produjo una cantidad de 16 022 114 ladrillos conformes y una cantidad de mermas o ladrillos reprocesados de 5 123 242 unidades, que representan un 24 % de la producción total. Lo que indica que solamente el 76 % de los ladrillos producidos solo van directamente al cliente

### – **Tiempo de ciclo**

Para este indicador fue necesario conocer la producción de ladrillo pandereta entre un determinado periodo de tiempo, para ello se tomó los valores obtenidos del estudio de tiempos realizado en la página 57 donde se indica que para producir 114 800 ladrillos equivalente a 252 toneladas se requieren de 136,27 horas.

$$\text{Tiempo de ciclo} = \frac{136,27 \text{ h}}{252 \text{ ton}}$$

$$\text{Tiempo de ciclo} = 0,54 \text{ h/ton}$$

El resultado indica que el proceso de producción demora 0,54 horas en producir una tonelada de ladrillos pandereta.

### **Productividad**

Para los siguientes indicadores de productividad se tomó como referencia la producción de ladrillos pandereta, siendo el producto de mayor relevancia para la empresa.

### – **Productividad de materia prima**

Para calcular la productividad de materia prima, fue necesario conocer la cantidad de material que se utilizó en el proceso. En la tabla 13 se puede observar el registro de las cantidades de materia prima que se ha empleado en la producción de ladrillos pandereta entre el año 2018 y 2019, siendo necesario utilizar 47 661 toneladas.

Tabla 13. Registro de materia prima utilizada entre el año 2018 y 2019

Año	Mes	Tierra negra (ton)	Tierra amarilla (ton)	Arenilla (ton)	Caolín (ton)	Chamota (ton)	Galleta (ton)	Peso total (ton)
2018	Ene	1 826	499	415	249	167	167	3 322
	Feb	1 733	473	394	236	158	158	3 152
	Mar	1 893	516	430	258	172	172	3 441
	Abr	1371	374	312	187	125	125	2 494
	May	1 143	312	260	156	104	104	2 079
	Jun	1 353	369	308	184	123	123	2 460
	Jul	1 301	355	296	177	118	118	2 365
	Ago	1 622	443	369	221	148	148	2 950
	Sep	1 714	467	389	234	156	156	3 116
	Oct	1 277	348	290	174	116	116	2 321
2019	Mar	870	237	198	118	79	79	1 582
	Abr	784	214	178	107	71	71	1 426
	May	858	234	195	117	78	78	1 560
	Jun	826	225	188	112	75	75	1 502
	Jul	995	272	226	136	91	91	1 810
	Ago	1 218	333	277	166	111	111	2 216
	Sep	1 278	349	291	174	117	117	2 325
	Oct	1 310	357	298	178	119	119	2 382
	Nov	1 443	394	328	196	132	132	2 624
Dic	1 393	380	317	190	127	127	2 534	
<b>Total</b>		26 208	7 151	5 958	3 570	2 387	2 387	47 661

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Como se indicó en el marco teórico, la productividad de materia prima viene a ser la relación entre las unidades producidas y el material utilizado en su fabricación, por consiguiente tomando como dato de la producción de la tabla 11 y la materia prima utilizada de la tabla 13 se obtiene:

$$\text{Productividad de MP} = \frac{21\,145\,356 \text{ ladrillos}}{47\,661 \text{ ton de MP}}$$

$$\text{Productividad de MP} = 443,66 \text{ ladrillos/ton MP}$$

El valor obtenido indica que por cada tonelada de materia prima que ingresa al proceso se obtiene una cantidad de 443,66 ladrillos pandereta.

– **Productividad de Mano de obra**

Para calcular la productividad de mano de obra es necesario conocer la producción de ladrillos pandereta y el número de trabajadores que participan en el proceso. En la tabla 14 se observan los puestos de trabajo, el número de personal por turno y el sueldo por trabajador.

Tabla 14. Trabajadores en el área de producción

Área	Puesto de trabajo	Número operarios (turno /día)	Número operarios (turno /noche)	Horas trabajadas por turno (horas/op)	Total horas trabajadas (h/op)
Formado	Jefe de formado	1		10	10
	Mezclado de MP	1		10	10
	Tamizado	1		10	10
	Amasado	1		10	10
	Moldeado y cortado	1		10	10
	Trasporte al área de secado	3		10	30
Secado	Jefe de secado	1		10	10
	Colocación de ladrillos en la pampa de secado	4		10	40
	Orden de ladrillos en paquetes	3		10	30
	Carga de ladrillos secos	4		10	40
Cocción	Colocación de ladrillos en el horno	4		10	40
	Jefe de cocción	1	1	12	24
	Alimentadores de combustible al horno	4	4	12	96
	Jefe de cargadores	1		10	10
	Carga y transporte del ladrillo al almacén	5		10	50
Total		35	5		420

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Como se indicó en la teoría, la productividad de mano de obra viene a ser la relación entre las unidades producidas y la cantidad de operarios que participan en dicha producción. Por consiguiente tomando como dato la producción de ladrillos pandereta de 21 145 356 unidades y los 40 operarios que laboran en el área de producción se obtiene:

$$\text{Productividad de MO} = \frac{21\,145\,356 \text{ ladrillos/año}}{420 \text{ h/día operario} \times 24 \text{ días/mes} \times 20 \text{ mes/año}}$$

$$\text{Productividad de mano de obra} = 104,89 \frac{\text{ladrillos}}{\text{h operario}}$$

La relación entre las unidades producidas de ladrillos pandereta y los operarios que participan en dicho proceso es de 104,89 ladrillos/h operario.

#### – **Productividad de energía**

Para calcular la productividad de energía, fue necesario conocer el consumo de energía eléctrica de cada una de las máquinas que participa en el proceso de producción. Para lo cual se empleó el instrumento de medición amperímetro proporcionado por la empresa, para medir la intensidad de corriente de las máquinas en funcionamiento, cabe mencionar que las mediciones se realizaron en el tablero eléctrico general de cada área del proceso. Por consiguiente se realizó el cálculo de la potencia eléctrica a través de la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} V I \cos \sigma$$

En la tabla 15 se puede observar que la empresa posee un total de 31 máquinas en el área de producción, además de la intensidad de corriente y potencia de cada una respectivamente. Asimismo se aprecia que el consumo de energía eléctrica en el proceso es de 172,2 kW/h.

Tabla 15. Consumo de energía eléctrica por máquina

Maquina	Cantidad	Intensidad (A)	Potencia (kW/h)
Etapa de Formado			
Faja de entrada	1	1,9	1,27
Molino 1	1	25	16,77
Faja 1	1	1,8	1,21
Zaranda	1	36	24,14
Faja 2	1	3,8	2,55
Molino 2	1	2,68	1,80
Faja 4	1	3,17	2,13
Faja 5	1	4	2,68
Molino 3	1	22	14,75
Faja 4	1	3,8	2,55
Amasadora	1	15	10,06
Faja 5	1	3,9	2,62
laminadora 1	1	13,8	9,25
Laminadora 2	1	14,5	9,72
Faja 6	1	1,05	0,70
Extrusora	1	16,6	11,13
Bomba de aceite	1	1,65	1,11
Faja 7	1	1,14	0,76
Cortadora	1	1,7	1,14
Faja 8	1	0,98	0,66
Etapa de Cocción			
Ventilador	1	60	40,24
Alimentador de combustible	10	22,3	14,96
Total	31	256,77	172,2

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Como se indicó en el marco teórico, la productividad de energía viene a ser la relación entre las unidades producidas y la energía utilizada, por consiguiente tomando como dato la producción de ladrillos de 21 145 356 unidades y el consumo de energía utilizado de la tabla 15. Cabe mencionar que este último valor se encuentra en la unidad de tiempo horas y deberá ser convertido en relación al tiempo de actividad de la empresa entre los años 2018 y 2019 equivalente a 20 meses de producción.

$$\text{Productividad de energía} = \frac{21\ 145\ 356 \text{ ladrillos}}{172,2 \frac{\text{kW}}{\text{h}} \times \frac{10 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{24 \text{ día}}{\text{mes}} \times 20 \text{ meses}}$$

$$\text{Productividad de energía} = 31,98 \text{ ladrillos /kW h}$$

La relación entre las unidades producidas de ladrillos pandereta y la energía que se suministra al proceso es de 31,98 ladrillos/kW h.

#### – **Productividad de insumos**

Como se indicó en el marco teórico, la productividad de insumos viene a ser la relación entre las unidades producidas y los insumos empleados en el proceso. Los insumos utilizados en la fabricación de ladrillos son el agua para el amasado de la arcilla y el combustible empleado en la cocción de ladrillos, por ende se procedió a realizar el cálculo para cada insumo respectivamente.

Para el cálculo de la productividad de insumo agua, se tomó como referencia el porcentaje de agua que se suministra a la arcilla en la etapa de amasado, siendo de un 20 % de la mezcla, lo que significa que por cada tonelada de arcilla se va a suministrar 200 litros de agua. A partir de ese dato se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Productividad de insumo agua} = \frac{1 \text{ ton} \times \frac{1\ 000 \text{ ladrillos}}{2,2 \text{ ton}}}{200 \text{ litros}}$$

$$\text{Productividad de insumo agua} = 2,27 \text{ ladrillos/ litro}$$

La relación entre las unidades producidas de ladrillos pandereta y la cantidad de agua que se suministra al proceso es de 2,27 ladrillos/litro.

El cálculo de la productividad de insumo combustible se realizó en base a la capacidad máxima del horno de 41 paquetes, equivalente a un total de 114 800 ladrillos pandereta. Asimismo para el cálculo se tomó como referencia la cantidad de combustible que utiliza la empresa, equivalente a 360 sacos/turno,

teniendo conocimiento que para la cocción del ladrillo pandereta se emplea dos turnos.

$$\text{Productividad de energía} = \frac{114\,800 \text{ ladrillos}}{2 \text{ turnos} \times \frac{360 \text{ sacos}}{\text{turno}} \times \frac{25 \text{ kg}}{\text{saco}}}$$

$$\text{Productividad de energía} = 6,38 \text{ ladrillos/kg}$$

La relación entre las unidades producidas de ladrillos pandereta y la cantidad de combustible empleado en la cocción de ladrillos es de 6,38 ladrillo/kg.

#### – **Eficiencia física**

Para el cálculo de la eficiencia física fue necesario conocer las salidas de producto terminado y la materia prima utilizada al inicio del proceso, el porcentaje obtenido será a ser el grado de aprovechamiento por cada tonelada de materia prima. Asimismo se tiene como entrada la producción de ladrillos conformes de 16 022 114 unidades equivalente a 35 248,651 toneladas y como salida la cantidad de 47 661 toneladas de materia prima indicada en la tabla 13.

$$\text{Eficiencia} = \frac{35\,248,651 \text{ toneladas}}{47\,661 \text{ toneladas}}$$

$$\text{Eficiencia} = 0,738 \cong 73,8 \%$$

El valor obtenido indica que por cada tonelada de material que ingresa al proceso sólo es aprovechado el 73,8 %, lo que significa que el 26,2 % restante viene a ser las pérdidas o merma del material.

#### – **Eficiencia económica**

Para realizar el cálculo de la eficiencia económica primero se determinó los costos de los recursos utilizados en el proceso, que son: la materia prima, mano de obra y los insumos.

Tabla 16. Costo de recursos utilizados en la producción de ladrillos

Recurso		Precio		Característica
Materia prima		22	soles/ton	La materia prima se extrae de canteras y es transportada por medio de volquetes. Su costo se mide en toneladas.
Mano de obra		60 400	soles/mes	Gira en torno al personal que participa en el proceso de producción, siendo en total 40 operarios y su sueldo varía de acuerdo a puesto de trabajo.
Energía		0,1985	soles/kW h	En consumo de la energía va a depender de la suma total de kW/hora de los equipos El precio por kW está determinado según el pliego tarifario que pertenece la empresa - Tarifa MT3
Insumos	Agua	7,268	soles/m3	El agua es proporcionada por la compañía EPSEL, en donde el precio por m <sup>3</sup> del agua está definido por el cuadro tarifario para consumo industrial.
	combustible	12,5	soles/saco	El material utilizado como combustible en el proceso es proporcionado por de proveedores que abastecen a la empresa. Cada saco contiene 25 kg de material

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Para medir la eficiencia económica se tomó como referencia la unidad de venta de la empresa de un millar equivalente a 1 000 unidades de ladrillos pandereta, lo que significa un ingreso de 2,98 toneladas y una salida de 2,2 toneladas de materia prima según el indicador de eficiencia física. Los cálculos para hallar los costos de producción se pueden observar en el anexo 3.

Tabla 17. Costos de producción del ladrillo pandereta

Recursos	Costos (soles)
Materia prima	65,53
Mano de obra	77,34
Energía	8,40
Agua	4,34
Combustible	106
Total Costos	261,61

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Como se indicó en el marco teórico, la eficiencia económica viene a ser la relación entre el beneficio obtenido y los costos de producción. Teniendo como

dato el precio del millar de ladrillos pandereta es de S/ 350 se procedió a realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Eficiencia económica} = \frac{350 \text{ soles}}{261,61 \text{ soles}}$$

$$\text{Eficiencia económica} = 1,33$$

El resultado indica que por cada sol invertido se obtiene una ganancia de 1,33 soles de utilidad. La empresa puede obtener una mayor eficiencia económica si automatizará sus procesos.

### 3.1.11 Cuadro resumen de indicadores del proceso

Tabla 18. Indicadores de proceso de producción de ladrillo pandereta

Indicadores del proceso		Actual	Unidad	
Producción total		21 145 356	ladrillos /año	
Producción venta		16 022 114	ladrillos /año	
Mermas		5123242	ladrillos /año	
Tiempo de ciclo		0,54	h/ton	
Productividad	Materia prima	443,66	ladrillos / ton MP	
	Mano de obra	104,89	ladrillos / h operario	
	Energía	31,98	ladrillos / kW h	
	Insumos	Agua	2,27	ladrillos / litro
		combustible	6,38	ladrillos / kg
Eficiencia	Física	73,84	%	
	Económica	1,33	%	

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

## 3.2 IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS Y SUS CAUSAS

### 3.2.1 Análisis y evaluación de la información

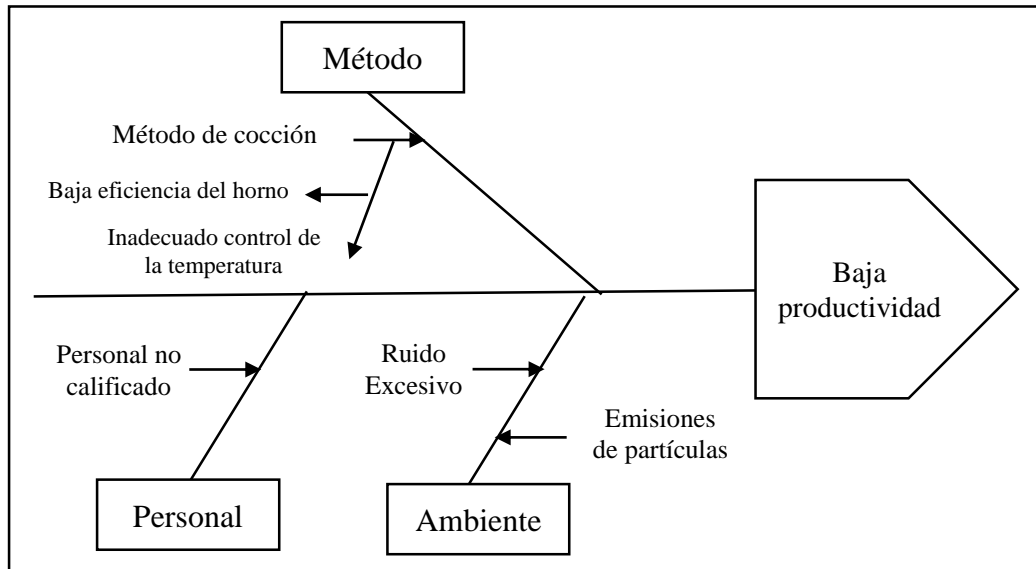


Figura 27. Diagrama causa-efecto de baja productiva en el proceso de producción

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### 3.2.2 Problemas, Causas y Propuestas de solución

#### ▪ Problema principal: baja productividad

La empresa presenta como problema principal una baja productividad en el proceso de producción de ladrillo pandereta, teniendo como indicador principal la eficiencia real y el porcentaje de mermas en dicho proceso que se encuentra evidenciado en los indicadores actuales de producción.

Si tomamos como referencia la investigación realizada por Fucci [32] la eficiencia real de la línea de producción de ladrillos pandereta, siendo actualmente de 73,8 % se encuentra por debajo del nivel aceptable del 85 %, señalando la existencia de pérdidas económicas y una baja competitividad como se observa en la tabla 19. Además cabe mencionar que la empresa no plantea planes de mejora para este indicador.

Tabla 19. Clasificación para rangos del ERP de los procesos

<b>% ERP</b>	<b>Calificación</b>	<b>Criterios</b>	<b>Competitividad</b>
ERP < 65 %	Inaceptable	Se producen importantes pérdidas económicas	Muy baja competitividad
65 % < ERP < 75 %	Regular	Aceptable solo si se está en proceso de mejora, perdidas económicas	Baja competitividad
75 % < ERP < 85 %	Aceptable	Continuar la mejora para superar el 85% y avanzar hacia la clase mundial. Ligeras pérdidas económicas	Competitividad ligeramente baja
85 % < ERP < 95 %	Buena	Entra en valores clase mundial	Buena Competitividad
ERP > 95 %	Excelencia	Valores clase mundial	Excelente competitividad

Fuente: Fucci 2016: página 91 [32]

Para reforzar el análisis, en la investigación de Mubarak, Hamdan y Mohamed [7] realizada en una ladrillera automatizada donde se emplea un horno Hoffman, posee un porcentaje de mermas de un 4 %, en comparación al porcentaje del proceso actual de un 24 %, lo que equivale a una diferencia significativa de un 20 %. Además señala que los sistemas de calefacción que controlan al horno son muy importantes tanto para la productividad como para la calidad del ladrillo.

#### ▪ **Causa 1: Método de Cocción**

Para evidenciar que existe un inadecuado método de cocción se realizó un conteo de las mermas generadas en cada etapa del proceso, tomando como referencia una cantidad de 10 paquetes, equivalente a 28 000 ladrillos pandereta.

Tabla 20. Mermas generadas en cada etapa de proceso

Muestras	Mermas			Total de mermas (unid)
	Formado (unid)	Secado (unid)	Cocción (unid)	
Paquete 1	56	152	490	698
Paquete 2	48	145	514	707
Paquete 3	56	154	439	649
Paquete 4	51	154	471	675
Paquete 5	49	149	450	648
Paquete 6	57	141	514	712
Paquete 7	52	139	478	669
Paquete 8	48	162	457	667
Paquete 9	48	155	439	642
Paquete 10	51	161	448	660
Total	516	1 512	4 670	6 727

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Los resultados obtenidos indican un total de mermas de 6 727 unidades, en donde su mayor concentración se encuentran en la etapa de cocción con una cantidad de 4 670 unidades, posteriormente le sigue la etapa de secado con 1 512 y la etapa de formado con un 516 unidades. Para analizar mejor el problema se realizó un diagrama de Pareto.

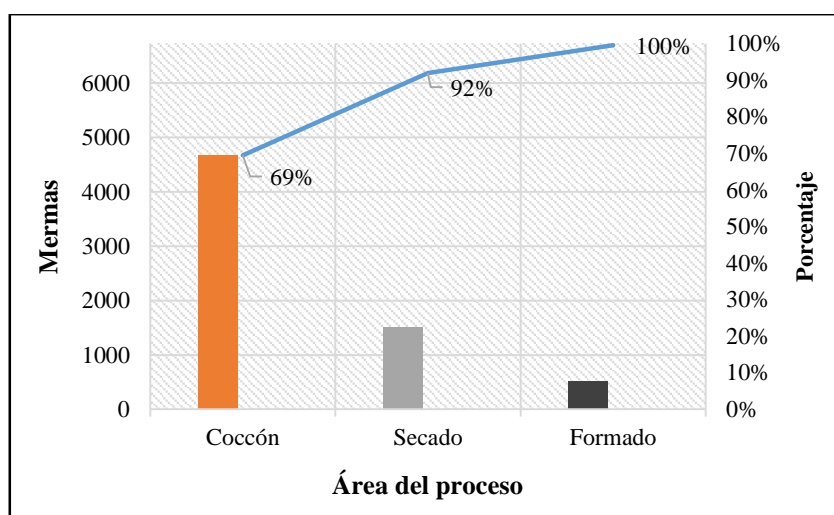


Figura 28. Diagrama de Pareto de mermas del proceso

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En efecto, el área de cocción viene a ser la principal causa de mermas en el proceso de producción de ladrillo, teniendo un porcentaje significativo de un 69,42 %. Este hecho se debe a dos razones principales: la primera es que existe una baja eficiencia del horno, es decir que el proceso se está operando por debajo de su nivel de eficiencia establecida; la segunda razón es que no existen un adecuado control de la temperatura ya que someter al ladrillo a altas o bajas temperaturas puede afectar la calidad del producto. A continuación para justificar lo anteriormente dicho, se ha evidenciado cada una de las razones a través de un respectivo análisis.

▪ **Subcausa 1: Baja eficiencia del horno**

Para evidenciar que existe una baja eficiencia del horno se realizó un muestreo probabilístico entre los ladrillos que ingresan y salen después de la cocción. Para ello se tomó como población la capacidad máxima de unidades que pueden ingresar al horno

En base a Hernández, Fernández y Baptista [33] se deberá realizar un muestreo probabilístico de tipo aleatorio simple, en donde cada ladrillo será escogido de manera aleatoria. El tamaño de la muestra fue calculado a través de la siguiente fórmula, puesto que la población es finita:

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{E^2 \times (N-1) + Z^2 \times p \times q}$$

En donde n será el tamaño de la muestra, z será 1,96 para un nivel de confianza del 95 %, p la probabilidad de éxito de 0,5, q la probabilidad de fracaso de 0,5, N el tamaño de la población de 114 800 unidades y E la probabilidad de error del 5 % para este procedimiento.

Aplicamos la fórmula para obtener el tamaño de muestra:

$$n = \frac{(1,96)^2 \times (0,95) \times (0,5) \times (114\ 800 \text{ ladrillos})}{(0,05)^2 \times (114\ 800 - 1) + (1,96)^2 \times (0,5) \times (0,5)}$$

$$n = 382 \text{ ladrillos}$$

La recolección de las muestras fue realizada por el autor de la investigación después de terminar el proceso de cocción, la selección fue al azar tomando como referencia seis paquetes ubicados en diferentes lugares hasta completar la muestra correspondiente. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 21. Muestreo de ladrillos

<b>Muestras</b>	<b>Ladrillos conformes (unid)</b>	<b>Ladrillos defectuosos (unid)</b>	<b>Total muestras (unid)</b>
1	53	9	62
2	51	13	64
3	52	12	64
4	56	8	64
5	55	11	64
6	51	15	64
Total	318	68	382

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Los resultados obtenidos indican una cantidad de 318 ladrillos conformes y 68 ladrillos defectuosos del total de la muestra. Como se indicó en el marco teórico, la eficiencia viene a ser las salidas entre las entradas:

$$\text{Eficiencia} = \frac{318 \text{ ladrillos conformes}}{382 \text{ total ladrillos}}$$

$$\text{Eficiencia} = 0,832 \cong 83,2 \%$$

El resultado indica una eficiencia del horno de un 83,2 %. Si tomamos como referencia la hoja técnica del horno Hoffman emitido por Red de Ladrilleras [34], muestra un porcentaje de pérdidas y rotura de ladrillos de un 5 %, sin

embargo si hacemos una comparación con el porcentaje de pérdidas actual del 16,8 % se tiene una diferencia significativa de un 11,8 %, lo que significa que el horno no está operando a su máxima eficiencia.

▪ **Subcausa 2: Inadecuado control de la temperatura**

Actualmente la empresa presenta la ausencia de un control adecuado de la temperatura en la etapa de cocción de ladrillos, ya que en dicho proceso no se emplea sensores de temperatura sino como se mencionó anteriormente, se realiza de manera empírica a través de la observación de la candela por medio de los alimentadores de combustible, lo que no garantiza la efectividad del proceso.

Además cabe mencionar que la empresa utiliza 10 quemadores de combustible para un total de 40 filas de alimentación, no obstante estos equipos no operan de manera simultánea sino de forma continua en intervalos de 40 minutos. Lo que significa que existe un comportamiento distinto de la temperatura en cada parte del horno.

Para evidenciar este problema se clasifico el horno en tres niveles de acuerdo a la posición de los ladrillos para medir la temperatura en relación al tiempo. Las mediciones fueron realizadas por el autor de la investigación empleando el instrumento de medición termómetro infrarrojo digital, proporcionado por la Facultad de Ingeniería de la universidad católica Santo Toribio de Mogrovejo. Las mediciones se realizaron el 15/10/2019 desde las 6 am hasta 6 pm.

Tabla 22. Medición de la temperatura del horno

Temperatura (°C)	Nivel		
	Inferior	Medio	Superior
<b>0</b>	28	23	22
<b>1</b>	104	101	37
<b>2</b>	260	158	52
<b>3</b>	456	227	62
<b>4</b>	751	413	89
<b>5</b>	980	590	99
<b>6</b>	1 108	692	135
<b>7</b>	1 154	802	134
<b>8</b>	1 154	985	219
<b>9</b>	1 080	1 105	310
<b>10</b>	1 015	1 134	420
11	976	1 154	508
12	947	1 143	535

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Para entender mejor el problema los datos obtenidos fueron representados en un gráfico lineal.

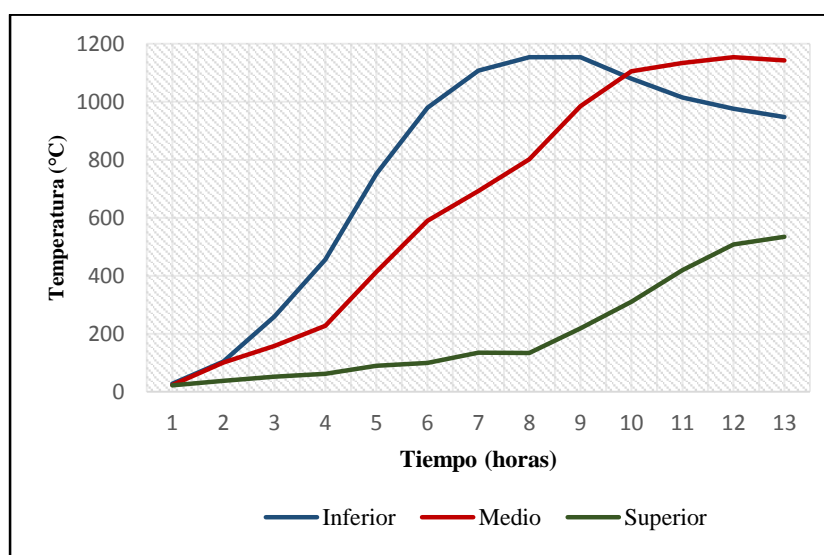


Figura 29. Variación de la temperatura del horno de cocción

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En la figura 29 se puede apreciar que existe un comportamiento térmico distinto en cada nivel. El nivel inferior presenta un comportamiento más agresivo,

mientras que el nivel inferior un comportamiento más lento, sin embargo el nivel medio presenta un comportamiento térmico más estable para la cocción. También se observa que la temperatura va aumentando hasta superar los 1 154 °C y posteriormente desciende, lo que significa que no existe una temperatura constante.

Para reforzar el análisis Guerrero, Espinel y Sánchez [35] indican que los ladrillos deben estar sometidos a una temperatura cercana a los 1 000 °C y un valor superior puede afectar su módulo de ruptura, es decir que se encuentran más expuestos a quebrarse, asimismo las altas temperaturas pueden ocasionar ladrillos quemados.

### **Impacto económico**

Si bien las mermas o unidades reprocessadas en la etapa de cocción son reincorporadas al proceso formando nuevamente parte de la materia prima, generan costos de producción no recuperable para la empresa como el gasto energético, el consumo de agua para el amasado de la arcilla, el consumo de combustible utilizado para la cocción y el costo de mano de obra. Por lo cual se procedió a calcular las pérdidas económicas generadas por las mermas producidas en la etapa de cocción entre los años 2018 y 2019.

Tabla 23. Perdidas económicas en la etapa de cocción

Año	Mes	Mermas (unid)	Costos de producción				Costo Total (soles)
			Mano de obra (soles)	Energía (soles)	Agua (soles)	Combustible (soles)	
2018	Ene	244 911	13 973	1 520	784	19 194	35 471
	Feb	247 510	14 121	1 536	792	19 397	35 847
	Mar	267 466	15 260	1 660	856	20 961	38 738
	Abr	177 985	10 155	1 105	570	13 949	25 778
	May	154 039	8 788	956	493	12 072	22 310
	Jun	170 462	9 725	1 058	546	13 359	24 688
	Jul	184 614	10 533	1 146	591	14 468	26 738
	Ago	240 176	13 703	1 491	769	18 823	34 785
	Sep	212 695	12 135	1 320	681	16 669	30 805
	Oct	177 091	10 104	1 099	567	13 879	25 648
2019	Mar	1 190 57	6 793	739	381	9 330	17 243
	Abr	934 16	5 330	580	299	7 321	13 530
	May	135 440	7 727	841	434	10 64	19 616
	Jun	102 424	5 844	636	328	8 027	14 834
	Jul	149 605	8 535	929	479	11 724	21 667
	Ago	160 118	9 135	994	513	12 548	23 190
	Sep	175 762	10 028	1 091	563	13 774	25 456
	Oct	193 789	11 056	1 203	620	15 187	28 067
	Nov	195 149	11 134	1 211	625	15 294	28 264
Dic	177 021	10 100	1 099	567	13 873	25 638	
<b>Total</b>		3 578 730	204 177	22 213	11 458	280 465	518 314

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En la tabla 23 se puede observar que el costo producido por las mermas generadas en la etapa de cocción fue de S/ 518 314, que representa un costo significativo para la empresa que no se podrá recuperar.



Figura 30. Mermas de la etapa de cocción

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Como ya se evidenció anteriormente, la etapa de cocción en el proceso de producción de ladrillos viene a ser la principal causa de la generación de mermas en el proceso, debido a que no existe un sistema que pueda controlar adecuadamente la temperatura. Asimismo otro factor viene a ser el método de cocción que no abastece de manera equitativa el calor requerido para la cocción de los ladrillos en cada hoyo de alimentación del horno.

### **Propuesta de mejora**

Se propone un diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción, el cual consta de las siguientes etapas:

- Cálculo del requerimiento de calor del proceso
- Diseño de un sistema de ventilación
- Diseño de un sistema de combustión automatizado

Una vez evidenciado que el problema de una baja productividad en la producción de ladrillos se debe principalmente a una baja eficiencia del horno producto de un inadecuado control de la temperatura, se procedió a evaluar otras causas que pueden afectar tanto la etapa de cocción como el área de producción y a su vez la productividad. Estas causas fueron evidenciadas con su respectivo análisis, indicando su impacto económico y su propuesta de mejora.

#### **▪ Causa 2: Ruido excesivo**

Uno de los factores podría afectar la productividad de la empresa es el ruido, debido a que afecta tanto la salud física como el desempeño laboral del trabajador. Como consecuencia la exposición al ruido puede generar una pérdida temporal de la audición y a largo plazo la pérdida permanente del oído, además de producir enfermedades como irritabilidad, estrés, insomnio, fatiga entre otros.

Para respaldar lo anteriormente dicho, en [36] señala que los trabajadores que se encuentran en ambientes ruidosos llegan a disminuir su productividad por efectos psicológicos, que van desde una simple irritación hasta la pérdida de la audición.

En relación a este problema se realizó un análisis del ruido para evaluar el nivel de severidad en cada etapa del proceso. En el análisis se utilizó el instrumento de medición sonómetro, el cual contiene un micrófono, un amplificador y redes de ponderación que indica el nivel de presión sonora en decibeles. El equipo fue proporcionado por la universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo y las mediciones fueron realizadas por el autor de esta investigación el día 15 de septiembre del 2019 desde las 8:00 am hasta las 11:00 am. Cabe mencionar que las mediciones se realizaron solamente en los puestos de trabajo que presentan un tipo de ruido continuo, mientras que los demás puestos presentan un tipo de ruido intermitente.

Tabla 24. Medición del ruido en dB

Área	Puesto de trabajo	Nº de trabajadores expuestos	Medición en dB
Formado	Supervisor de formado	1	75,44
	Medición de proporciones de MP	1	95,6
	Mezclado y tamizado	1	94,87
	Amasado	1	91,8
	Moldeado y cortado	1	82,47
	Trasporte al área de secado	3	79,1
Cocción	Colocación de ladrillos en el horno	4	77,83
	Supervisor de cocción	2	74,1
	Alimentadores de combustible al horno	8	87,44

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.



Figura 31. Medición del ruido

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Con los datos obtenidos procedemos a calcular el nivel de presión sonora (NPS) para cada área de trabajo afectada mediante la siguiente fórmula

$$NPS = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{X1}{10}} + 10^{\frac{X2}{10}} + 10^{\frac{X3}{10}} + \dots \right)$$

En donde los valores de X1, X2, X3, ... son las mediciones en dB.

**Para el área de formado:**

$$NPS = 10 \times \log_{10} \left( 10^{\frac{75,44}{10}} + 10^{\frac{95,6}{10}} + 10^{\frac{94,87}{10}} + 10^{\frac{91,8}{10}} + 10^{\frac{82,47}{10}} + 10^{\frac{79,1}{10}} \right)$$

$$NPS = 99,2974 \text{ dB}$$

**Para el área de cocción:**

$$NPS = 10 \times \log_{10} \left( 10^{\frac{77,83}{10}} + 10^{\frac{74,1}{10}} + 10^{\frac{87,44}{10}} \right)$$

$$NPS = 88,0686 \text{ dB}$$

Como se puede observar el resultado indica que en ambas áreas excede límite máximo de 80 dB establecido por los estándares nacionales de calidad [37] para el ruido en zonas industriales. Posteriormente calculamos el tiempo de exposición, tomando como referencia que el trabajador está expuesto a 12 horas diarias a través de la siguiente fórmula:

**Para el área de formado:**

$$T = \frac{12}{2^{\frac{(99,2974-82,5)}{5}}}$$

$$T = 1,6192$$

**Para el área de cocción**

$$T = \frac{12}{2^{\frac{(88,0686-80)}{5}}}$$

$$T = 5,5452$$

El resultado indica un tiempo máximo de exposición para el área de formado de 1 hora, 37 minutos y para la etapa de cocción un tiempo máximo de 5 horas, 32 minutos, sin embargo los operarios laboran 12 horas siendo mayor al límite establecido.

Por consiguiente se hizo un análisis comparativo entre los valores permisibles del ruido en base al criterio de la ACGIH [38] para valores máximos de exposición, por ende se procedió a calcular la dosis de exposición mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Dosis de exposición} = \frac{\text{Tiempo de exposición real del trabajador}}{\text{Tiempo máximo de exposición permitido}}$$

A continuación procedemos a realizar el cálculo de la fórmula de acuerdo al tiempo de exposición. Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 25. Evaluación del nivel de ruido en el puesto de trabajo

Área	Puesto de trabajo	Ruido (dB)	Tiempo de exposición (horas)	Tiempo máximo permitido (horas)	Dosis de exposición
Formado	Supervisor de formado	75,44	10	31,93	0,38
	Medición de proporciones de MP	95,6	10	1,95	6,15
	Mezclado y tamizado	94,87	10	2,16	5,56
	Amasado	91,8	10	3,31	3,63
	Moldeado y cortado	82,47	10	12,05	1,01
	Trasporte al área de secado	79,1	10	19,23	0,62
Cocción	Colocación de ladrillos en el horno	77,83	10	22,93	0,52
	Supervisor de cocción	74,1	12	38,45	0,31
	Alimentadores de combustible al horno	87,44	12	6,05	1,98

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Según la ACGIH [38] los valores límites de exposición al ruido son:

**Dosis > 1:** El trabajador está sobre-expuesto a ruido.

**Dosis = 1:** El trabajador se encuentra al límite

**Dosis < 1:** El trabajador no está sobre-expuesto a ruido

Los resultados indican que los operarios del proceso de producción se encuentran expuestos al ruido, de los cuales la mayoría se encuentra en la etapa de cocción. Sin embargo los operarios carecen de equipos de protección adecuados ante este problema.



Figura 32. Ausencia de equipos de protección de ruido

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### **Impacto Económico**

De acuerdo a SUNAFIL [39] la multa por “Superar los límites de exposición a los agentes contaminantes que originen riesgos graves e inminentes para la seguridad y salud de los trabajadores” será de S/ 11 970.

### **Propuesta de mejora.**

– Plan de reducción de riesgos para el ruido excesivo

#### **▪ Causa 3: Emisiones de partículas**

Uno de los factores que pueden afectar la productividad en las empresas es la exposición del trabajador a agentes perjudiciales como es el caso de la ceniza, que viene a ser una sustancia inorgánica de proporción pequeña y abundante en las industrias de ladrillos; como también los restos de material de combustible empleados en la cocción que pueden afectar severamente la vista y las vías respiratorias de los trabajadores, sin embargo la empresa no dispone de equipos de protección ante este problema.



Figura 33. Ausencia de equipos de protección de partículas

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Para medir la cantidad de ceniza que se genera en el proceso se tomó como referencia la investigación realizada por Varón y Hernán [40] quienes evalúan la reacción química de la cascarilla de arroz, indicando una composición de 17 % de ceniza, material inerte que no reacciona ante la combustión.

Por consiguiente se calculó la cantidad de ceniza producida en la cocción de ladrillos tomando como referencia la capacidad máxima del horno y la cantidad de combustible que es utilizado por turno.

$$\text{Ceniza por cocción ladrillos} = 2 \text{ turnos} \times \frac{320 \text{ sacos}}{\text{turno}} \times 60 \frac{\text{kg}}{\text{saco}} \times 0,178$$

$$\text{Ceniza por cocción ladrillos} = 7\,689 \text{ kg de ceniza}$$

A partir de este dato se calculó la ceniza que se produce por ladrillo:

$$\text{Ceniza por ladrillo} = \frac{7\,689 \text{ kg de ceniza}}{114\,800 \text{ ladrillos}}$$

$$\text{Ceniza por ladrillo} = 0,069 \text{ kg de ceniza por ladrillo}$$

Los resultados obtenidos indican que la relación entre la cantidad de ceniza y los ladrillos producidos es de 0,069 kg/ladrillo y una cantidad emitida por cocción de 7 689 kg de ceniza, la cual carece de un uso respectivo y es considerado como desperdicio. Además la empresa no cuenta con la implementación de medidas de seguridad o equipos de protección ante este problema.



Figura 34. Ceniza generada por cocción

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### **Impacto Económico**

Según SUNAFIL [39] la multa por “Superar los límites de exposición a los agentes contaminantes que origines riesgos graves e inminentes para la seguridad y salud de os trabajadores” será de S/ 11 970.

### **Propuesta de mejora.**

– Plan de reducción de riesgos de emisiones de partículas

### **▪ Causa 3: Falta de capacitación al personal**

La empresa ha establecido diferentes puestos de trabajo dentro de su organización, en donde cada uno desempeña un papel importante en el proceso productivo, sin embargo no todos se encuentran calificados para desempeñar sus respectivas funciones que podría afectar la productividad de la empresa.

Para evidenciar el problema se realizó un análisis de evaluación al personal en las áreas consideradas críticas del proceso a través de la observación, el registro de educación y la capacitación del personal. Además mencionar que en las etapas de secado y cocción solo se evaluó a los supervisores de las áreas.

Tabla 26. Nivel de Instrucción al personal

Etapa del proceso		Nivel de instrucción			
		Primaria	Secundaria	Técnico	Superior
<b>Mezclado</b>	Completo			x	
	Incompleto				
<b>Amasado</b>	Completo		x		
	Incompleto				
<b>Secado</b>	Completo			x	
	Incompleto				
<b>Cocción</b>	Completo				
	Incompleto			x	

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Los resultados indican que el personal de cocción no cuenta con estudios técnicos completos y que el personal de amasado carece de la educación técnica correspondiente, sino que realizan sus actividades por medio de la observación y su experiencia. Agregar que el personal no cuenta con una capacitación previa antes de realizar sus funciones, sino que recibe explicaciones de un trabajador con mayor experiencia. La empresa no realiza capacitaciones al personal en intervalos de tiempo. Posteriormente se realizó un análisis para medir el grado de conocimientos de los operarios en las distintas áreas evaluadas mediante el desarrollo de una rúbrica de evaluación al personal tomando como referencia los criterios establecidos por Alveiro [41] para evaluar el desempeño laboral. Considerando que son tres niveles y nueve criterios se estableció un rango de evaluación y se realizó una evaluación al grado de conocimientos de los operarios en las distintas áreas críticas.

**Puntaje > 18:** Grado de conocimientos alto.

**9 < Puntaje < 18:** Grado de conocimientos medio

**Puntaje < 1:** Grado de conocimientos baja.

Tabla 27. Evaluación del personal en áreas críticas

Etapa	Criterio	Nivel		
		Bajo	Medio	Alto
		1	2	3
Mezclado	Conocimiento y las habilidades para realizar su trabajo		2	
	Efectividad en el desempeño de su trabajo		2	
	Habilidad la procesar la información y establece objetivos de trabajo	1		
	Cuenta con la capacidad para resolver problemas en el proceso de manera rápida		2	
	Cumplimiento de los horarios establecidos por la empresa y trabaja de forma puntual	1		
	Habilidad para trabajar en equipo		2	
	Habilidad de liderazgo		2	
	Capacidad de adaptación a nuevas condiciones de trabajo		2	
	Conoce los riesgos y las medidas de seguridad	1		
Puntuación de Mezclado		15		
Etapa	Criterio	Nivel		
		Bajo	Medio	Alto
		1	2	3
Amasado	Conocimiento y las habilidades para realizar su trabajo	1		
	Efectividad en el desempeño de su trabajo		2	
	Habilidad la procesar la información y establece objetivos de trabajo	1		
	Cuenta con la capacidad para resolver problemas en el proceso de manera rápida	1		
	Cumplimiento de los horarios establecidos por la empresa y trabaja de forma puntual		2	
	Habilidad para trabajar en equipo		2	
	Habilidad de liderazgo	1		
	Capacidad de adaptación a nuevas condiciones de trabajo	1		
	Conoce los riesgos y las medidas de seguridad	1		
Puntuación de Amasado		12		
Etapa	Criterio	Nivel		
		Bajo	Medio	Alto
		1	2	3
Secado	Conocimiento y las habilidades para realizar su trabajo		2	
	Efectividad en el desempeño de su trabajo		2	
	Habilidad la procesar la información y establece objetivos de trabajo	1		
	Cuenta con la capacidad para resolver problemas en el proceso de manera rápida		2	
	Cumplimiento de los horarios establecidos por la empresa y trabaja de forma puntual	1		
	Habilidad para trabajar en equipo		2	
	Habilidad de liderazgo		2	
	Capacidad de adaptación a nuevas condiciones de trabajo		2	
	Conoce los riesgos y las medidas de seguridad	1		
Puntuación de Secado		15		
Etapa	Criterio	Nivel		
		Bajo	Medio	Alto
		1	2	3
Cocción	Conocimiento y las habilidades para realizar el trabajo	1		
	Efectividad en el desempeño de su trabajo	1		
	Habilidad la procesar la información y establecer objetivos de trabajo		2	
	Cuenta con la capacidad para resolver problemas en el proceso de manera rápida	1		
	Cumplimiento de los horarios establecidos por la empresa y trabaja de forma puntual		2	
	Habilidad para trabajar en equipo		2	
	Habilidad de liderazgo		2	
	Capacidad de adaptación a nuevas condiciones de trabajo	1		
	Conoce los riesgos y las medidas de seguridad	1		
Puntuación de Cocción		13		

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Los resultados indican que las áreas de mezclado y secado obtuvieron un puntaje de 15, mientras que las áreas de amasado y cocción obtuvieron un puntaje de 12 y 13 respectivamente, lo que significa que los operarios presentan un nivel de conocimiento medio en las áreas evaluadas.

Sin embargo si analizamos por criterio, los operarios presentan en algunos puntos de mayor importancia un bajo grado de conocimiento, como es el caso de las áreas de amasado y cocción, los cuales no cuentan con los conocimientos adecuados para realizar sus funciones que influye en su desempeño laboral.

Otro factor significativo que se presentó en el análisis fue un nivel bajo del personal en conocer los riesgos y las medidas de seguridad correspondiente de acuerdo a su puesto de trabajo, lo que podría afectar la salud del colaborador de la empresa.

### **Impacto Económico**

Según SUNAFIL [39], la multa muy grave en “Designar a trabajadores en puestos cuyas condiciones sean incompatibles con sus características personales conocidas o sin tomar en consideración sus capacidades profesionales en materia de seguridad y salud en el trabajo, cuando de ellas se derive un riesgo grave e inminente para la seguridad y salud” es de 3,23 UIT equivalente a S/ 13 566.

### **Propuesta de mejora.**

- Un plan de capacitación al personal

### 3.2.3 Cuadro de problemas, causas y pérdidas

Tabla 28. Cuadro de problemas, causas y pérdidas

<b>Problema</b>	<b>Causas</b>	<b>Subcausas</b>	<b>Pérdidas</b>
Baja Productividad	Método de Cocción	Baja eficiencia del horno	S/ 518 314
		Inadecuado Control de la Temperatura	
	Ruido Excesivo		S/ 11 970
	Emisión de Partículas		S/ 11 970
	Personal no calificado		S/ 13 566
Total de Pérdidas			S/ 555 820

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

### **3.3 DESARROLLO DE PROPUESTAS DE MEJORA**

#### **3.3.1 Diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción**

Para realizar la combustión de un proceso se requiere de tres elementos principales: el combustible, el comburente y la energía de activación. En el proceso de cocción de ladrillos el combustible viene a ser el material que se va a quemar dentro del horno, el comburente será el oxígeno que se va a suministrar para propagar el fuego y la energía de activación viene a ser el calor que será proporcionado al proceso para aumentar o disminuir la temperatura. Un adecuado control de estos tres elementos puede mejorar la eficiencia del proceso y obtener el mayor beneficio posible.

El diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción tiene como finalidad lograr controlar los tres elementos que conforman el triángulo de la combustión para aumentar la eficiencia actual del horno de un 83,2 % hasta un 95 % y a su vez disminuir las mermas generadas en la etapa de cocción mediante un control adecuado de la temperatura. Es por ello que se justificó cada decisión tomada, a fin de que el sistema automatizado cumpla con el objetivo principal de aumentar la productividad de la empresa.

##### **3.3.1.1 Requerimientos de calor del proceso**

Esta parte tiene por objetivo determinar la cantidad de calor que requiere el proceso para conseguir una adecuada cocción de los ladrillos ya que son sometidos a un tratamiento térmico, para ello se aplicaron principios de termodinámicas y de transferencia de calor.

En primer lugar se realizó un balance de energía para medir el flujo de calor durante la cocción tomando como referencia a [42], donde señala que la cantidad de calor que ingresa al horno será la misma que sale más la cantidad necesaria para compensar las pérdidas que se producen en el sistema. Por ello se analizaron los elementos que pueden ganar o perder calor, los cuales son: los ladrillos, las paredes y las aberturas del horno.

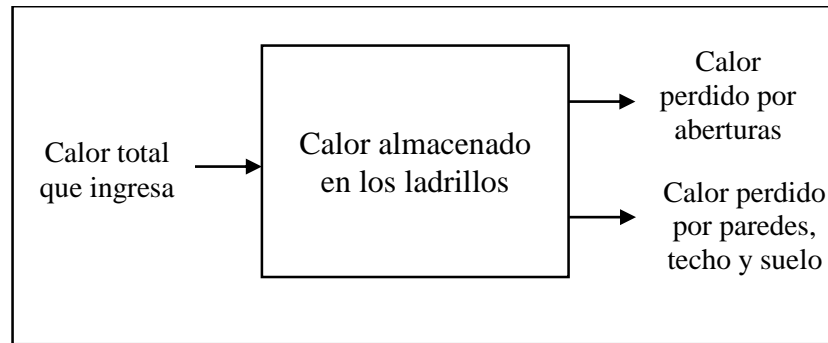


Figura 35. Balance de calor para un horno de ladrillos

Fuente. Auces y Rodríguez 2003: página 4 [42]

Asimismo el balance de energía se expresa a través de la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{ladrillos}} + Q_{\text{H}_2\text{O-residual}} + Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{aberturas}}$$

### **Calor requerido para los ladrillos**

Para calcular el calor que requiere el proceso se debe establecer un valor de referencia o setpoint, que viene a ser la temperatura ideal para una adecuada cocción de los ladrillos y que a su vez puedan adquirir las propiedades correspondientes del producto.

Este valor se determinó en base a [43] donde se indica que si un horno de ladrillos alcanza un valor de temperatura de 1 000 °C, se ha generado una cantidad de calor suficiente para lograr una adecuada cocción; del mismo modo en [35] nos dice que los ladrillos sometidos a una temperatura superior a 1 000 °C pueden presentar su mayor módulo de ruptura de 1,54 MPa, lo que significa que están más propensos a quebrarse.

Para ello aplicamos la primera ley de termodinámica que se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{ladrillos}} = m C_e \Delta T$$

La masa (m) se calculará a través de la capacidad máxima de cada horno, siendo de 41 paquetes de 2 800 ladrillos cada uno. El calor específico ( $C_e$ ) es de 0,84 kJ/kg ° K para un ladrillo elaborado de arcilla roja. La variación de temperatura ( $\Delta T$ ) tendrá un valor inicial de 25°C y como valor final el setpoint de 1 000 °C.

Primero calculamos la masa (m) por quema de ladrillos.

$$m = 41 \frac{\text{paquetes}}{\text{quema}} \times 2\,800 \frac{\text{ladrillos}}{\text{paquete}} \times 2,2 \frac{\text{kg}}{\text{ladrillo}}$$

$$m = 252\,560 \text{ kg /quema}$$

Reemplazamos los valores en la fórmula:

$$Q \text{ ladrillos} = 252\,560 \frac{\text{kg}}{\text{quema}} \times 0,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times (1\,273,15 - 298,15^\circ\text{K})$$

$$Q \text{ ladrillos} = 206\,846\,640 \text{ kJ/quema}$$

El resultado lo dividimos entre el tiempo de cocción del proceso de 24 horas, para obtener el consumo de energía por hora.

$$Q \text{ ladrillos} = 206\,846\,640 \frac{\text{kJ}}{24 \text{ h}} = 8\,618\,610 \text{ kJ/hora}$$

### **Calor requerido para eliminar el agua residual**

Para calcular el calor necesario para eliminar el agua residual del ladrillo se requiere conocer el porcentaje de humedad que ingresa al horno. Para este valor se ha considerado un 5% que fue obtenido por la empresa a través de estudios realizados anteriormente, asimismo se aplica la siguiente fórmula:

$$Q \text{ H}_2\text{O residual} = \% \text{ humedad } m ( C_p \times \Delta T + ( H_v - H_s ) )$$

La capacidad calorífica del agua líquida ( $C_p$ ) es de 4,18 kJ/kg K°, la variación de temperatura tendrá como valor inicial 25 °C y un valor final de 100 °C que viene a ser la temperatura de ebullición del agua. La entalpía de vapor saturado ( $H_v$ ) será de 2 674,9 kJ/kg mientras que la entalpía de líquido saturado ( $H_s$ ) es de 417,5 kJ/kg.

$$Q_{\text{H}_2\text{O residual}} = 0,05 \times 252\,560 \text{ kg} \times \left( 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}^\circ} \times (373,15 - 298,15 \text{ K}^\circ) \right) + (2\,674,9 - 417,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$Q_{\text{H}_2\text{O residual}} = 32\,465\,325 \text{ kJ}$$

El resultado lo dividimos entre el tiempo de cocción de 24 horas, para obtener el consumo de energía por hora.

$$Q_{\text{H}_2\text{O residual}} = 32\,465\,325 \frac{\text{kJ}}{24 \text{ h}} = 1\,352\,272 \text{ kJ/h}$$

### **Calor requerido para compensar pérdidas**

Para determinar el calor que se requiere para compensar las pérdidas se identificó los elementos que las generan, los cuales son: las paredes, el suelo, el techo y las aberturas, teniendo la siguiente expresión:

$$Q_{\text{perdido}} = Q_{\text{paredes}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{suelo}} + Q_{\text{aberturas}}$$

Las pérdidas de calor de las paredes, techo y el suelo se generan por medio de una transferencia de calor por conducción, en donde se aplica la ley de Fourier que se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{pared}} = k A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Cabe señalar que el horno está construido en base a ladrillo tipo refractario, que viene a ser un tipo de ladrillo que se caracteriza por soportar elevadas temperaturas superiores a los 1 500°C y posee una conductividad térmica (k) de 0,50 W/m K°. A continuación se realizaron los respectivos cálculos.

### **Pérdidas de calor por las paredes**

Para calcular las pérdidas que se generan por las paredes del horno es necesario conocer el área por donde va a fluir el calor, el cual se calculó a través de las dimensiones del horno, teniendo un largo de 67,4 m, una altura de 4,7 m y un espesor de 1,5 m.

Primero calculamos el área de transferencia de calor:

$$A_{\text{pared}} = a \times h = 67,4 \text{ m} \times 4,7 \text{ m} = 316,78 \text{ m}^2$$

Aplicamos la Ley de Fourier de acuerdo a las características del horno considerando las 2 paredes:

$$Q_{\text{pared}} = 2 \times 0,5 \frac{\text{W}}{\text{m K}^\circ} \times 316,78 \text{ m}^2 \times \frac{(1\,273,15 - 298,15^\circ\text{K})}{1,5 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{pared}} = 205\,907 \text{ W}$$

Convertimos los Watts a kJ/h.

$$Q_{\text{paredes}} = 205\,907 \text{ W} \times \frac{3,6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{\text{W}} = 741\,265 \text{ kJ/h}$$

### **Pérdidas de calor por el techo**

Para calcular las pérdidas que se generan en el techo del horno es necesario conocer el área por donde va a fluir el calor, el cual se calculó a través de las dimensiones del horno, teniendo un largo de 67,4 m y presenta una forma cilíndrica con una altura de 1,8 m y un grosor de 0,9 m.

Primero calculamos el área de transferencia de calor:

$$A \text{ cilindro} = 2 \pi r h + 2 \pi r^2$$

$$A \text{ cilindro} = 2 \times r \times 1,8 \text{ m} \times 67,4 \text{ m} + 2 \times \pi \times 1,8^2 = 782,64 \text{ m}^2$$

$$A \text{ techo} = \frac{782,64 \text{ m}^2}{2} = 391,32 \text{ m}^2$$

Aplicamos la Ley de Fourier según a las características del horno:

$$Q \text{ techo} = 0,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ \text{K}} \times 391,32 \text{ m}^2 \times \frac{(1\,273,15 - 298,15^\circ \text{K})}{0,9 \text{ m}}$$

$$Q \text{ techo} = 211\,965 \text{ W}$$

Convertimos los Watts a kJ/h

$$Q \text{ techo} = 211\,965 \text{ W} \times \frac{3,6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{\text{W}} = 763\,074 \text{ kJ/h}$$

### **Pérdidas de calor por el suelo**

Para calcular las pérdidas que se generan en el suelo del horno es necesario conocer el área por donde va a fluir el calor, el cual se calculó a través de las dimensiones del horno, teniendo un largo de 67,4 m, un ancho de 3,6 m y un grosor de 1,2 m. Cabe mencionar que el suelo del horno está elaborado a base de cemento y cuenta con una conductividad térmica de 0,29 W/m °K.

Primero calculamos el área de transferencia de calor:

$$A \text{ suelo} = a \times h = 3,6 \text{ m} \times 67,4 \text{ m} = 242,64 \text{ m}^2$$

Aplicamos la Ley de Fourier según a las características del horno considerando una temperatura del suelo de 15 °C.

$$Q_{\text{suelo}} = 0,29 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ} \text{K}} \times 242,64 \text{ m}^2 \times \frac{(1273,15 - 288,15 \text{ }^{\circ}\text{K})}{1,2 \text{ m}}$$

$$Q_{\text{suelo}} = 57\,758,43 \text{ W}$$

Convertimos los Watts a kJ/hora

$$Q_{\text{suelo}} = 57\,758,43 \text{ W} \times \frac{3,6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{\text{W}} = 207\,930 \text{ kJ/h}$$

### **Pérdidas de calor por aberturas**

Las pérdidas de calor por aberturas se generan por medio de una transferencia de calor por radiación, en donde se aplica la Ley de Stefan Boltzmann que se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$P = e \sigma A (T^4 - T_c^4)$$

El valor de la constante de boltzmann ( $\sigma$ ) es de  $5,6703 \times 10^{-8} / \text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}^4$ . En nuestro caso se tomará como abertura la chimenea que posee un largo de 1,5 m y un ancho de 1,2 m.

Primero calculamos el área de transferencia de calor:

$$A_{\text{aberturas}} = a \times h = 1,5 \times 1,2 \text{ m} = 1,8 \text{ m}^2$$

Aplicamos la Ley de Stefan Boltzmann según a las dimensiones de la chimenea del horno:

$$Q_{\text{abertura}} = 1,8 \text{ m}^2 \times 5,6703 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}^4} \times (1273,15^4 - 298,15^4 \text{ }^{\circ}\text{K})$$

$$Q_{\text{aberturas}} = 267\,355,230 \text{ W}$$

Convertimos los Watts a kJ/h

$$Q_{\text{aberturas}} = 267\,355,230 \text{ W} \times \frac{3,6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{\text{W}} = 962\,479 \text{ kJ/h}$$

### Calor total requerido por el proceso

Para determinar el calor requerido total se procede a sumar los resultados obtenidos en base a las necesidades de energía requeridas por el proceso:

$$Q_{\text{Total}} = 8\,618\,610 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 1\,352\,722 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 741\,265 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \\ + 763\,074 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 207\,930 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} + 962\,479$$

$$Q_{\text{Total}} = 12\,646\,080 \text{ kJ/h}$$

Posteriormente procedemos a convertir en consumo de energía de kJ/h a kcal/h:

$$Q_{\text{Total}} = 12\,646\,080 \text{ kJ/h} \times \frac{1 \text{ kcal/h}}{4,1868 \text{ kJ/h}} = 3\,020\,464 \text{ kcal/h}$$

De acuerdo a los resultados se obtiene un requerimiento de energía térmica de 3 020 646 kJ/, que viene a ser la cantidad de calor que requiere el horno para obtener una adecuada cocción de los ladrillos tipo pandereta.

Tabla 29. Requerimientos de energía para la cocción de ladrillos pandereta

Necesidades de energía	kJ/h	kcal/h
Calor requerido para los ladrillos (Q ladrillos)	8 618 610	2 058 520
Calor requerido para eliminar el agua residual (Q H2O)	1 352 722	323 092
Perdida de calor por las paredes (Q paredes)	741 265	177 048
Perdida de calor por el techo (Q techo)	763 074	182 257
Perdida de calor por el suelo (Q suelo)	207 930	49 663
Perdida de calor por aberturas (Q aberturas)	962 479	229 884
<b>Total de calor requerido</b>	<b>12 646 080</b>	<b>3 020 464</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.1.2 Selección del tipo de combustible

Para seleccionar el combustible más adecuado para la propuesta se realizó un análisis comparativo entre los diferentes tipos de combustibles que son empleados habitualmente en la cocción de los ladrillos tomando como referencia los criterios de selección establecidos por el PRAL [44], los cuales son: el poder calorífico, el grado de contaminación, el impacto ambiental y el precio.

Tabla 30. Tipos de combustibles para hornos de ladrillos

Tipo de combustible	Poder calorífico (kcal /kg)	Grado de contaminación atmosférica	Efecto en el entorno	Precio
Llantas usadas	8 300	Muy alto	Ennegrecimiento del entorno, emite una cantidad alta de GEI	40 soles/unid
Cascarilla de arroz	3 280	Bajo	Aprovechamiento de residuos	8 soles/saco
Aserrín y viruta de madera	3 540	Bajo	Aprovechamiento de residuos	8 soles/saco
Carbón de piedra	7 400	alta	Emite una cantidad alta de GEI	4 soles/kg
Petróleo	10 500	Muy alta	Riesgo de contaminantes por emisión de GEI y derrames	11,20 soles/galón
Gas natural	8 500	Bajo	Emite una cantidad baja de GEI	9,8 soles/balón

Fuente: Elaboración propia.

En base al análisis se determinó que la cascarilla de arroz viene a ser la mejor opción para ser utilizada como fuente de energía en la propuesta de diseño del sistema automatizado, debido a que posee un precio bajo y accesible para la empresa.

Además el uso de cascarilla de arroz en la cocción de los ladrillos contribuye de manera positiva al medio ambiente, ya que posee un bajo grado de contaminación atmosférica y representa un aprovechamiento al residuo generado en el proceso de pilado de arroz. Para reforzar el análisis de

selección, en ITDG [45] señala que el uso de la cascarilla de arroz en la quema de ladrillos es viable técnica, social y económicamente, por tanto su empleo a nivel nacional es una alternativa importante para reducir los gases de efecto invernadero (GEI) así como disminuir los costos de producción en los procesos.

### **Cálculo del flujo de combustible por hora**

El cálculo del flujo de combustible por hora se determinó en base al poder calorífico de la cascarilla de arroz, siendo de 3 280 kcal/kg,

Sin embargo en [46] indica que la temperatura máxima del material en estado seco es de 970 °C y para alcanzar un valor superior debe ser mezclada con otro combustible similar. Por esa razón se optó por utilizar como material complementario al aserrín que cuenta con un poder calorífico de 3 540 kcal/kg.

La cantidad de material por hora para la cocción se va calcular en base al poder calorífico de cada tipo de combustible y la relación de su composición, para ello primero definimos las variables:

a = cantidad de cascarilla de arroz en kg

b = cantidad de aserrín en kg

En la propuesta la relación de las variables de acuerdo a su composición será de un 80 % cascarilla de arroz y 20 % aserrín, lo que significa que  $a = 4 b$ , por ende establecemos la siguiente ecuación en base a la cantidad de calor que requiere el proceso.

$$3\ 280\ a + 3\ 540\ b = 3\ 020\ 464$$

Reemplazamos la relación en la ecuación y calculamos los kg de cascarilla de arroz por hora:

$$3280 a + 3540 \frac{a}{4} = 3\,020\,464$$

$$3280 a + 885 a = 3\,020\,464$$

$$a = 725 \text{ kg / h}$$

Por consiguiente calculamos los kg de aserrín por hora reemplazando los valores en la ecuación:

$$3280 \times 725 + 3540 b = 3\,020\,464$$

$$b = 182 \text{ kg / h}$$

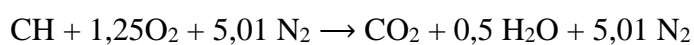
Como resultado se deberá de abastecer 725 kg de cascarilla de arroz y 182 kg por hora de aserrín por hora, equivalente a un total de 907 kg de material.

### 3.3.1.3 Diseño del sistema de ventilación de aire

Esta parte tiene como objetivo diseñar un sistema de ventilación que pueda controlar el flujo de aire que ingresa en la etapa de cocción y suministrar el oxígeno necesario para generar la reacción del combustible en el interior del horno. Los cálculos realizados y la elección de los elementos que conformarán el sistema fueron justificados a través de un respectivo análisis.

#### A. Calculo del flujo de aire

Para calcular el flujo de aire que requiere el proceso para la combustión y descomposición térmica del combustible, se tomó como referencia la reacción química establecida por Prada y Cortez [46] para la cascarilla de arroz:



Asimismo establecieron la relación entre el material y el aire requerido para su respectiva combustión:

$$(A/C)_{\text{esteq}} = \left( \frac{m_{\text{aire}}}{m_{\text{comb}}} \right) = \frac{4,76 \text{ a MW}_{\text{aire}}}{1 \text{ MW}_{\text{comb}}}$$

Si reemplazamos los valores del peso molecular de la cascarilla de arroz (CH), del aire y la relación molar se obtiene:

$$(A/C)_{\text{esteq}} = \frac{4,76 \times 1,25 \times 28,8491}{13,0189}$$

$$(A/C)_{\text{esteq}} = 13,185$$

El resultado indica por cada kg de combustible se debe abastecer de 13,0189 kg de aire para generar una reacción de tipo estequiométrica, a partir de esto podemos calcular el flujo de aire que requiere el sistema en relación al flujo de combustible que se le suministrará al proceso.

$$\text{Flujo de aire} = \frac{907 \text{ kg}_{\text{comb}}}{\text{h}} \times \frac{13,185 \text{ kg}_{\text{aire}}}{\text{kg}_{\text{comb}}}$$

$$\text{Flujo de aire} = 11\,959 \text{ kg}_{\text{aire}}/\text{h}$$

Convertimos el flujo de aire de kg/h a m<sup>3</sup>/h considerando que ingresa a temperatura ambiente de 25 °C con una presión atmosférica normal y una densidad de 1,19 kg/m<sup>3</sup>.

$$p = \frac{m}{v}$$

$$1,19 \text{ kg} / \text{m}^3 = \frac{11\,959 \text{ kg}}{v}$$

$$v = 10\,050 \text{ m}^3$$

El resultado indica que para la combustión de la cascarilla de arroz se requiere de abastecer de 10 050 m<sup>3</sup> de aire para lograr una adecuada cocción de los ladrillos. Para calcular la velocidad del aire por segundo se divide el caudal obtenido entre el área de conducción, siendo de 1,2 m<sup>2</sup>.

$$v_{\text{aire}} = \frac{Q}{A} = \frac{10\,050 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{\text{h}}{3\,600 \text{ s}}}{1,2 \text{ m}^2}$$

$$v = 2,33 \text{ m/s}$$

Finalmente se obtiene que el aire que ingresará al proceso tendrá una velocidad de 2,33 m/s.

## **B. Selección del ventilador**

Para controlar el flujo de aire que ingresa al horno se propone un sistema de ventilación conformado principalmente por la instalación de un ventilador centrífugo que va a introducir aire a una presión moderada mediante el giro de una turbina, que será efectuado por medio de un motor. Cabe mencionar que la empresa ya dispone de un ventilador de aire para todos los hornos del proceso, sin embargo en la propuesta se quiere controlar el flujo de aire de un horno en específico.

Para la selección del ventilador centrífugo se optó por la marca SODECA, una empresa dedicada a rubro de ventiladores de alta calidad y fiabilidad en el mercado nacional, por ende se realizó un análisis comparativo entre sus diferentes ventiladores de uso industrial que ofrece al mercado.

Tabla 31. Ventiladores centrífugos de la marca SODECA

Serie	Presión	Aspiración	Material del envolvente	Material de la turbina	Álabes
CPV	baja	simple	polipropileno	polipropileno	hacia adelante
CMA	media	simple	fundición de aluminio	función de aluminio	hacia adelante
CMP	media	simple	chapa de acero	chapa de acero galvanizado	hacia adelante
CMR	media	simple	chapa de acero	chapa de acero	hacia atrás
CAS	alta	simple	chapa de acero	chapa de acero galvanizado	hacia atrás
CAS-S	alta	simple	chapa de acero	chapa de acero galvanizado	hacia atrás
CA	alta	simple	fundición de aluminio	fundición de aluminio	hacia atrás

Fuente: SODECA 2019: página 10. [47]

En base a un análisis se determinó que el ventilador más adecuado corresponde la serie CMP debido a los siguientes criterios:

- Trabaja a una presión media y cuenta con una aspiración simple.
- La cubierta está diseñada a base de acero que brinda protección equipo mientras que la turbina está hecha por acero galvanizado que ofrece protección ante la oxidación.
- Los álabes se encuentran inclinados hacia adelante, que son ideales para procesos que presentan altas cantidades de material particulado como polvo y ceniza.
- Cuenta con un motor eléctrico tipo IE3 de 60 Hz que brinda un mejor rendimiento.



Figura 36. Ventilador serie CMP

Fuente: SODECA 2019: página 180. [48]

En cuanto al modelo se escogió el ventilador CMP-2050-4T-20 que puede llegar a suministrar hasta un caudal máximo de 19 000 m<sup>3</sup>/h superior al flujo de aire requerido en el proceso de 10 050 m<sup>3</sup>/h. Este rango de diferencia sirve para cuando se requiera un comportamiento más agresivo del proceso, se podrá aumentar el flujo de aire.

Tabla 32. Características principales del ventilador CMP-2050-4T-20

Modelo	Nº de Polos	Velocidad (RPM)	Intensidad 380 – 480 V (A)	Potencia (kW)	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Nivel presión sonora (dB)	Peso (kg)
CMP-2050-4T-20	4	1 740	28,5	15	19 000	89	172

Fuente: SODECA 2019: página 180. [48]

### **Análisis de la potencia del ventilador**

Un ventilador centrífugo está compuesto por dos elementos principalmente: una turbina que va a girar dentro de una cubierta espiral para permitir el ingreso del aire a través de sus álabes y un motor que va a convertir la potencia eléctrica recibida en potencia mecánica de rotación para hacer girar la turbina, sin embargo durante el proceso existen pérdidas de energía mecánica por rozamiento y deslizamientos.

El motor instalado en el ventilador es de tipo eléctrico trifásico de corriente alterna, cuya potencia mecánica se mide en caballos de fuerza (HP), se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$P_{\text{mecánica}} = \frac{\sqrt{3} \text{ ef V I } f_p}{1\,000}$$

Donde ef es el rendimiento, V el voltaje, I la corriente nominal y  $f_p$  el factor de potencia, por consiguiente reemplazamos los datos de la tabla 32 en la fórmula:

$$P_{\text{mecánica}} = \frac{\sqrt{3} \times 0,93 \times 380 \text{ V} \times 28,5 \text{ A} \times 0,83}{1\,000}$$

$$P_{\text{mecánica}} = 14,48 \text{ kW}$$

Convertimos de kW a HP

$$P_{\text{mecánica}} = 14,48 \text{ kW} \times \frac{1,341 \text{ HP}}{1 \text{ kW}}$$

$$P_{\text{mecánica}} = 19,42 \text{ HP}$$

La potencia mecánica del motor es de 19,42 HP equivalente a 14,48 kW, lo que significa que hay una pérdida de energía de 0,52 kW en relación a la potencia establecida de la máquina.

Para un motor asíncrono su velocidad se mide en revoluciones por minuto (RPM) que indica la cantidad de giros del rotor del motor y se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{120 \text{ f } (1 - s)}{p}$$

Donde  $f$  es la frecuencia de la red de alimentación,  $p$  el número de polos y  $s$  es el factor de desplazamiento del motor de un 5 %, reemplazamos los datos los datos en la fórmula:

$$n = \frac{120 \times 60 \text{ Hz} \times (1 - 0,05)}{4}$$

$$n = 1\,710 \text{ RPM}$$

Si analizamos la tabla 32 el motor cuenta con una velocidad de 1 740 RPM, sin embargo con el resultado obtenido podemos afirmar que la velocidad del motor será de 1 710 RPM, lo que significa una reducción del caudal del ventilador de 19 000 m<sup>3</sup>/h a 18 672 m<sup>3</sup>/h.

Con este dato se procede a calcular la velocidad necesaria del motor para producir la cantidad de aire que se requiere en el proceso.

$$n = \frac{1\,710 \text{ RPM}}{18\,672 \text{ m}^3/\text{h}} \times 10\,050 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$n = 921 \text{ RPM}$$

Asimismo se procedió a calcular la frecuencia requerida para que el motor gire a una velocidad 921 RPM, para ello despejamos  $f$  en la fórmula anterior:

$$f = \frac{n p}{(1 - s) 120}$$

Reemplazamos los valores

$$f = \frac{1\,052 \text{ RPM} \times 4}{(1 - 0,05) 120}$$

$$f = 32,3 \text{ Hz}$$

El resultado indica que la frecuencia necesaria para generar el flujo de aire requerido en el proceso será de 32,3 Hz.

Con el fin de que el personal a cargo pueda regular la velocidad del motor de acuerdo al comportamiento que este requiera da del proceso se aplicó el mismo procedimiento para diferentes caudales.

Tabla 33. Parámetros del flujo de aire

<b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Velocidad (RPM)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>
16 000	1 465	51,4
14 000	1 282	45
12 000	1 099	38,6
10 000	916	32,1
8 000	733	25,7
6 000	549	19,3
4 000	366	12,9
2 000	183	6,4
1 000	92	3,2

Fuente: Elaboración propia.

### **C. Diseño del sistema eléctrico**

El sistema de ventilación debe contar con una serie de dispositivos eléctricos que puedan asegurar el adecuado funcionamiento del ventilador centrífugo y controlar el caudal en el proceso. Para la selección del dispositivo se optó por la compañía Schneider Electric, una empresa dedicada a la distribución de dispositivos eléctricos con reconocimiento en el mercado nacional e internacional.

A continuación se presentan los elementos que van a conformar el diseño eléctrico del sistema de ventilación con su respectivo análisis de selección.

### ▪ Llave termomagnética

Es el dispositivo que va a proteger al ventilador centrífugo ante una posible sobrecarga de energía eléctrica que llegue a superar los valores máximos de corriente alterna. Para ello se calculó la intensidad de corriente a partir de la siguiente fórmula:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos\phi}$$

Reemplazamos en la fórmula anterior los datos según las características de diseño del ventilador: que cuenta con una potencia eléctrica de 15 kW, un voltaje de 380 V y un factor de potencia de 0,8.

$$I = \frac{15\,000\text{ W}}{\sqrt{3} \times 380\text{ V} \times 0,83}$$

$$I = 27,5\text{ A}$$

Como resultado se obtuvo una intensidad de corriente de 27,5 A siendo un valor cercano a lo establecido, sin embargo para tener una mejor seguridad se optó por trabajar con una intensidad de 28,5 A que corresponde a la ficha técnica del ventilador. Según el catalogo de Schneider Electric, se va a utilizar la llave termomagnética EZ9F56232 de la gama Easy9 que puede llegar a soportar una intensidad máxima de 32 A, suficiente para proteger al ventilador ante una posible descarga eléctrica.

Tabla 34. Características de la llave termomagnética EZ9F5623

Ítem	Descripción
Gama	Easy9
Tipo de producto	Interruptor automático
Numero de polos	2 P.
Corriente Nominal	32 A
Frecuencia de Red	50/60 Hz
Tensión de compatibilidad	220- 400 V

Fuente: Schneider Electric 2015: página 4. [49]



Figura 37. Llave termomagnética EZ9F56232

Fuente: Schneider Electric 2015: página 4. [49]

#### ▪ Interruptor diferencial

Es el dispositivo de seguridad que protegerá al personal ante una posible descarga eléctrica cuando este requiera manipular el ventilador. Su selección va a depender de la corriente nominal de ventilador de 28,5 A.

Según el catalogo de Schneider Electric se va a utilizar el interruptor diferencial A9R35240 de la gama Acti 9 que puede llegar soportar una intensidad máxima de 40 A, suficiente para asegurar la protección del trabajador.

Tabla 35. Características del interruptor A9R35240

Ítem	Descripción
Gama	Acti 9
Tipo de producto	Interruptor diferencial
Numero de polos	2 P
Corriente Nominal	40 A
Frecuencia de Red	50/60 Hz
Tensión de compatibilidad	220-240 V

Schneider Electric 2011: página 94. [50]



Figura 38. Interruptor diferencial A9R35240

Fuente: Schneider Electric 2011: página 94. [50]

#### ▪ Variador de frecuencia

Es el elemento que va a permitir controlar la velocidad del motor modificando la frecuencia hasta obtener el flujo de aire deseado para el proceso, asimismo el dispositivo debe ser compatible con el equipo en relación a la tensión eléctrica y la potencia del motor.

De acuerdo al catálogo de Schneider Electric los variadores de frecuencia de la gama Altivar 212 son los más adecuados, debido a que en su ficha técnica indican un uso específico para sistemas de ventilación y climatización (HVAC). El modelo ATV212HD15N4 cumple con las condiciones de diseño de trabajar con una potencia del motor de 20 HP a una tensión máxima de hasta 480 V.

Tabla 36. Características del Variador ATV212HD15N4

Ítem	Descripción
Gama	Altivar 212
Destino del producto	Motores asíncronos
Aplicación específica de producto	Sistemas HVAC
Potencia del motor en kW	15 kW
Potencia del motor en HP	20 HP
Tensión de alimentación	380 - 480 V
Frecuencia de alimentación	50 - 60 Hz

Fuente: Schneider Electric 2020: página 37. [51]



Figura 39. Variador de frecuencia ATV212HD15N4

Fuente: Schneider Electric 2020: página 37. [51]

#### ▪ Contactor Auxiliar

Para activar el variador de frecuencia desde el circuito de mando se requiere de un contactor auxiliar para lograr controlar la velocidad del motor. En base al catálogo de Schneider Electric se eligió el contactor auxiliar modelo CAD32M7 de la gama TeSys, que puede llegar a soportar una corriente nominal de 10 A para una frecuencia de alimentación de 60 Hz.

Tabla 37. Características de contactor CAD32M7

Ítem	Descripción
Gama de producto	TeSys
Tipo de producto	Relés de Control
Aplicación del contactor	Circuitos de control
Tensión	220 V
Corriente térmica nominal	10 A a < 60°
Frecuencia de alimentación	50 - 60 Hz

Fuente: Schneider Electric 2020: página 4. [51]



Figura 40. Contactor auxiliar CAD32M7

Fuente: Schneider Electric 2020: página 4. [51]

#### ▪ Pulsadores

En la propuesta del sistema de ventilación se van a emplear como operadores eléctricos a los pulsadores, quienes van a controlar el paso de la corriente eléctrica y van a servir como unidades de mando para el control del ventilador.

El pulsador de marcha es el pulsador verde que va a permitir el ingreso de la corriente y el encendido del ventilador respectivamente, para ello se eligió el modelo XB4BW33M5 de la gama Harmony XB4 que cuenta con un perfil de verde empotrado y luminoso.

Tabla 38. Características del pulsador XB4BW33M5

Ítem	Descripción
Gama	Harmony XB4
Tipo de producto	Pulsador luminoso
Material del bise	$\leq 3$ dB
Diámetro de montaje	22 mm
Tipo de cabezal	Estándar
Forma del cabezal	Redondo
Perfil de operador	Verde empotrado
Fuente de luz	LED protegido
Tensión de compatibilidad	220 - 400 V

Fuente: Schneider Electric 2020: página 9. [52]



Figura 41. Pulsador verde XB4BW33M5

Fuente: Schneider Electric 2020: página 9. [52]

El pulsador de paro será el pulsador rojo que va a cortar el ingreso de la corriente y el apagado del ventilador respectivamente, para ello se eligió el modelo XB4BW34M5 de la gama Harmony XB4 que cuenta con un perfil de operador de rojo empotrado y luminoso.

Tabla 39. Características del pulsador XB4BW34M5

Ítem	Descripción
Gama	Harmony XB4
Tipo de producto	Pulsador luminoso
Material del bise	$\leq 3$ dB
Diámetro de montaje	22 mm
Tipo de cabezal	Estándar
Forma del cabezal	Redondo
Perfil de operador	Rojo empotrado
Fuente de luz	LED protegido
Tensión de compatibilidad	220-400 V

Fuente: Schneider Electric 2020: página 9. [52]



Figura 42. Pulsador XB4BW34M5

Fuente: Schneider Electric 2020: página 9. [52]

### ▪ Cableado eléctrico

Para la conexión de los elementos que conformarán el diseño del sistema eléctrico será necesario utilizar cables. Su elección va a depender de corriente nominal de 28,5 A calculada anteriormente, es por ello que se eligió a los cables tipo TW 80 de 6 mm<sup>2</sup> de la marca INDECO pueden llegar a soportar un amperaje máximo de 40 A.

### Diseño eléctrico en CADESIMU

Para representar el circuito de fuerza y de mando del sistema se utilizó el programa CADESIMU para el diseño y simulación de esquemas de los automatismos eléctricos en la propuesta.

Tabla 40. Leyenda del sistema eléctrico en CADESIMU

Leyenda	Tipo de variable
Q1	Llave electromagnética EZ9F56232
F1	Interruptor diferencial A9R35240
G1	Variador de frecuencia ATV212HD15N4
M1	Motor eléctrico WEG IE3 de 20 HP
S1	Pulsador XB4BW33M5
S2	Pulsador XB4BW34M5
K1	Contactador auxiliar CAD32M7
H1	Lámpara del pulsador de marcha
H2	Lámpara del pulsador de paro

Fuente: Elaboración propia.

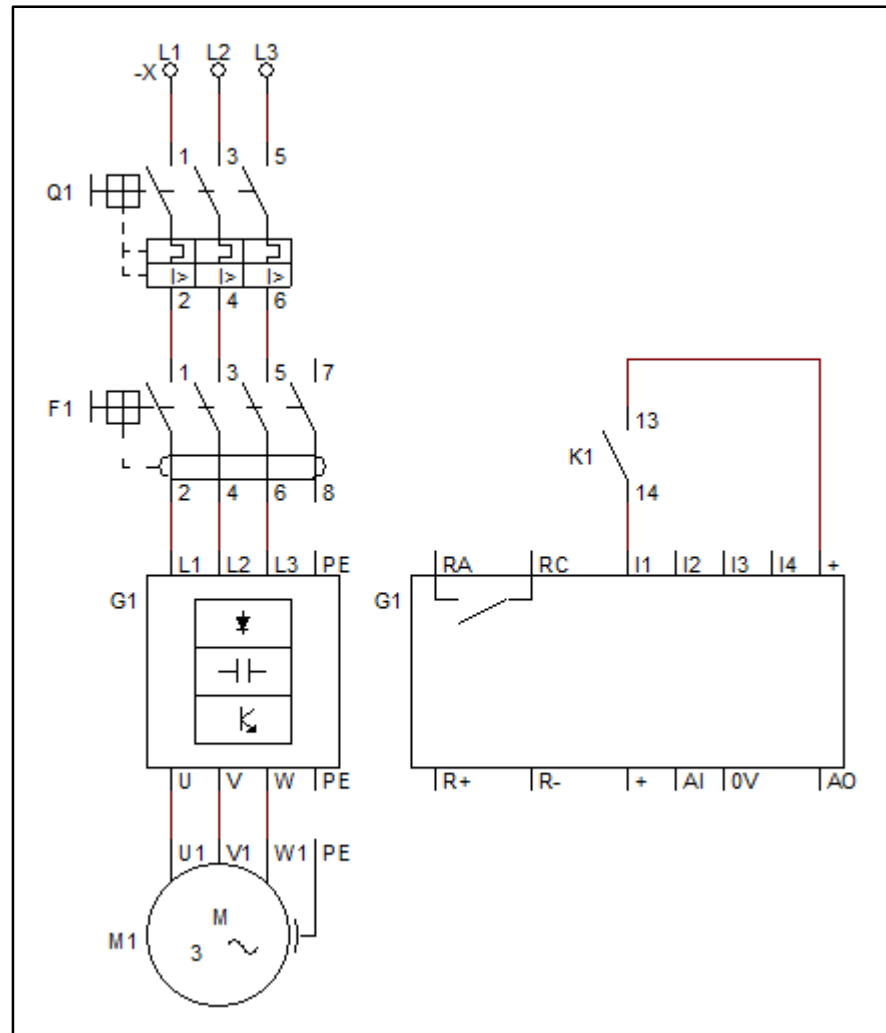


Figura 43. Circuito de fuerza del sistema de ventilación

Fuente: Elaboración propia.

El diseño eléctrico del circuito de fuerza cuenta con una alimentación trifásica (L1, L2 y L3), una llave termomagnética (Q1), un interruptor diferencial (F1) y un contacto auxiliar (K1) que va a activar al variador de frecuencia (G1) para controlar la velocidad del motor (M1).

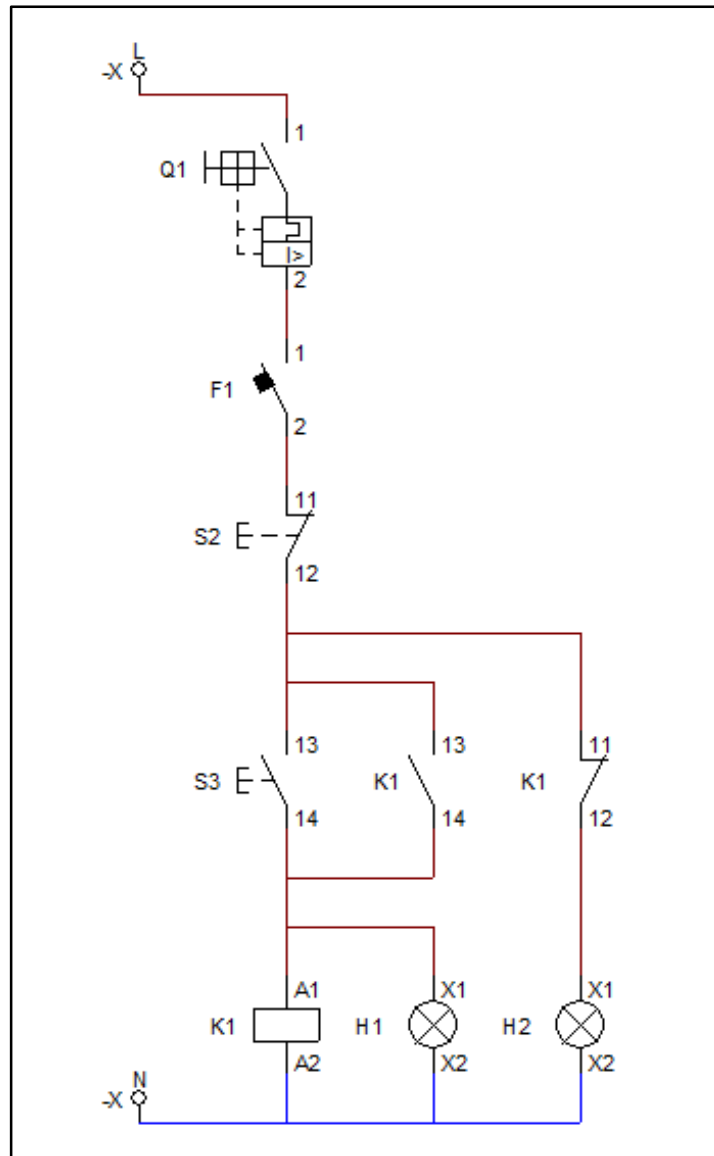


Figura 44. Circuito de mando del sistema de ventilación

Fuente: Elaboración propia.

El diseño eléctrico del circuito de mando cuenta con un pulsador de marcha (S1) con su iluminación verde (H1), un pulsador de paro (S2) con su iluminación roja (H2) y un contactor auxiliar (K1) que servirá para activar el variador de frecuencia (G1).

#### D. Instalación del sistema de ventilación

La instalación del sistema de ventilación va a consistir en conectar la turbina del ventilador con el conducto interior del horno, que es utilizado como vía de acceso para abastecer de aire al proceso y generar la combustión de la cascarilla de arroz.

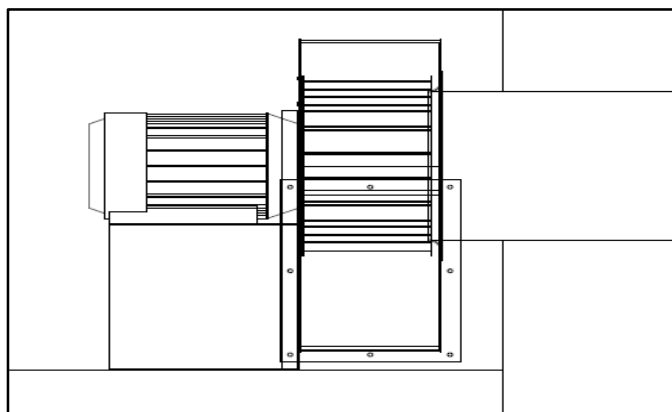


Figura 45. Conexión del ventilador con el horno

Fuente: Elaboración propia.

El aire va a ingresar en el área de entrada de la cascara espiral y ser absorbido por los álabes de la turbina para ser expulsado en dirección perpendicular al conducto interior del horno, al mismo tiempo se activan los quemadores para permitir el ingreso del combustible al proceso, el contacto entre ambos va a producir una reacción de combustión que suministrará el calor necesario para la cocción de los ladrillos.

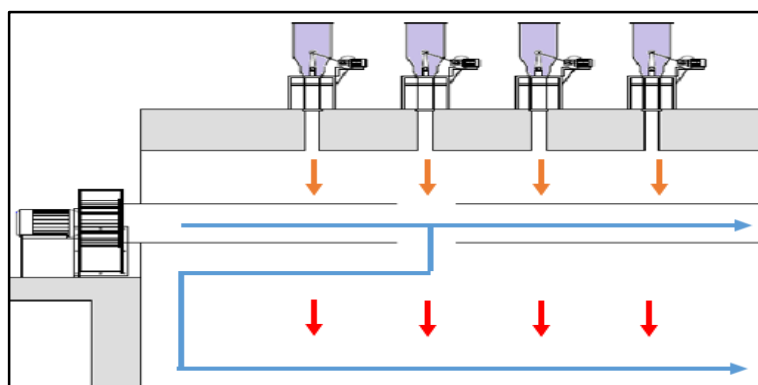


Figura 46. Funcionamiento del sistema de ventilación

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo para lograr un adecuado funcionamiento del sistema, el personal a cargo de la cocción deberá de ajustar el variador de frecuencia instalado en el ventilador para definir el caudal que se requiera para el proceso. Para ello el ventilador va a contar con un soporte elaborado a base de cemento y ladrillo, que dispondrá de una escalera vertical de metal para que el operador pueda manipular la máquina cuando lo requiera.

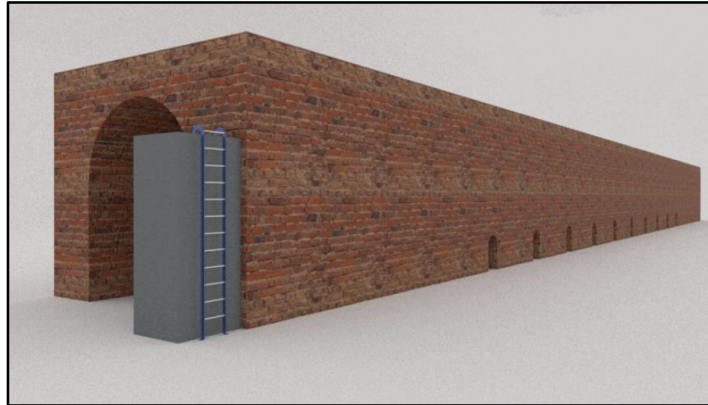


Figura 47. Soporte del sistema de ventilación

Fuente: Elaboración propia.

#### **3.3.1.4 Diseño del sistema de control del combustible**

Esta parte tiene como objetivo diseñar un sistema de control que pueda controlar el flujo de combustible que ingresa al proceso para someter a los ladrillos a las condiciones de temperatura adecuadas. Los cálculos realizados, el diseño del controlador y la elección de los elementos que conformarán el sistema fueron justificados a través de un respectivo análisis.

##### **A. Quemadores de combustible**

Para la propuesta se ha creído conveniente utilizar las máquinas actuales del proceso, que son los quemadores giratorios con tornillo sin fin, debido a que la problemática de la empresa gira en torno a una baja eficiencia del horno producto de un uso inadecuado de estos. Asimismo se propone la instalación de 40 quemadores automatizados que puedan abastecer a cada

hoyo de alimentación de manera uniforme, para lograr el mayor rendimiento posible del proceso.

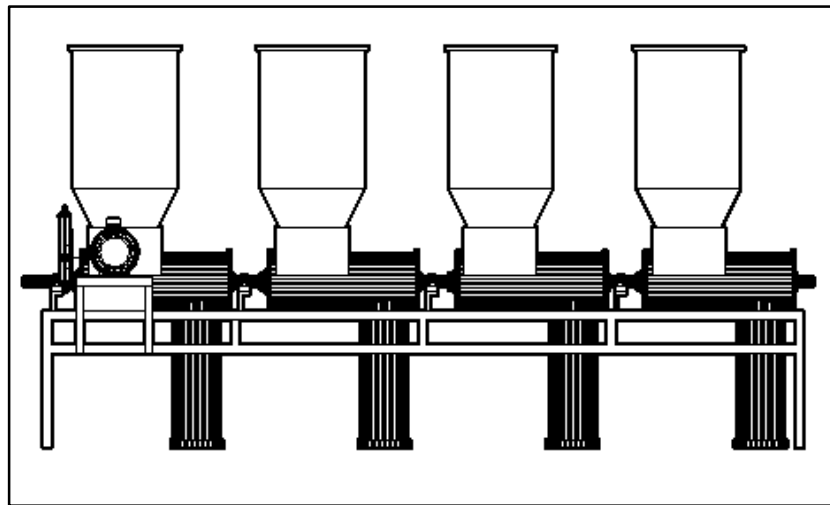


Figura 48. Quemadores de combustibles en AutoCad

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la capacidad de la máquina, si comparamos el flujo de combustible actual del proceso de 750 kg/h y el flujo de combustible de la propuesta será de 909 kg/h calculado en la página 105, se aprecia una diferencia de 159 kg equivalente a un 18 % del material. Por ello se propone aumentar la capacidad de cada tolva del quemador a 30 kg, con el fin de asegurar el ingreso constante de combustible al horno de ladrillos.

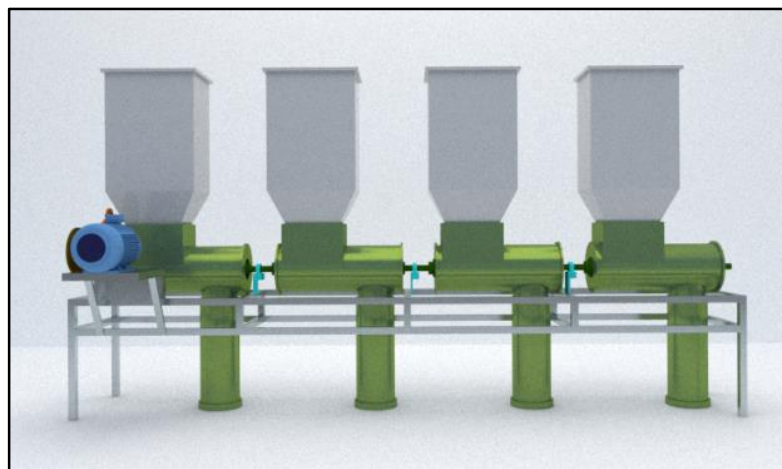


Figura 49. Vista Frontal de quemadores automatizados

Fuente: Elaboración propia.

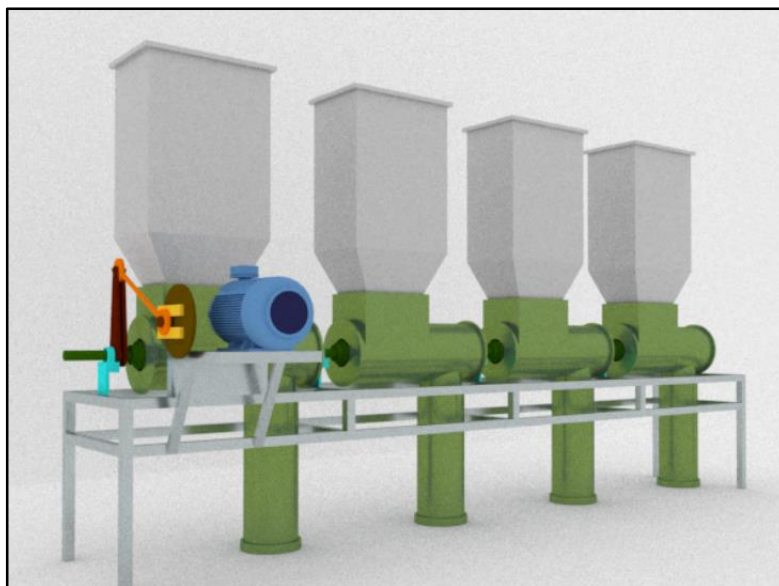


Figura 50. Quemadores de combustibles automatizados

Fuente: Elaboración propia.

### Análisis de la potencia del motor

El motor instalado en los quemadores de combustible corresponde al motor eléctrico trifásico de corriente alterna W22 IE2 de la marca WEG, que tiene como función mover al tornillo sin fin para permitir el paso del combustible a través de los hoyos de alimentación.

Tabla 41. Características técnicas del motor W22 IE2

Ítem	Descripción
Carcasa	80
Potencia	1,5 kW (2HP)
Numero de polos	2
Frecuencia	60 Hz
Resbalamiento	5,97
Tensión nominal	220-440 V
Corriente nominal	2,8 A
Tensión de compatibilidad	220-400 V

Fuente: WEG 2016: página 55. [53]



Figura 51. Motor WEG IE2

Fuente: WEG 2016: página 55. [53]

Calculamos la potencia mecánica del motor:

$$P_{\text{mecánica}} = \frac{0,832 \times \sqrt{3} \times 440 \text{ V} \times 2,8 \text{ A} \times 0,78}{1\ 000}$$

$$P_{\text{mecánica}} = 1,398 \text{ kW}$$

Convertimos los kW a HP

$$P_{\text{mecánica}} = 13,98 \text{ kW} \times \frac{1,341 \text{ HP}}{1 \text{ kW}}$$

$$P_{\text{mecánica}} = 1,88 \text{ HP}$$

La potencia mecánica del motor es de 1,88 HP equivalente 1,398 kW, lo que significa que hay una pérdida de energía de 0,102 kW en relación a la potencia establecida de la tabla 41. Posteriormente calculamos la velocidad del motor (RPM).

$$n = \frac{120 \times 60 \text{ Hz} \times (1 - 0,059)}{2}$$

$$n = 3\ 388 \text{ RPM}$$

En efecto el motor debería contar con una velocidad de 3 600 RPM, sin embargo con el resultado obtenido podemos afirmar que la velocidad será de 3 385 RPM cuando se encuentre en actividad.

En relación al flujo de combustible actual de 75 kg/h del proceso, podremos calcular la velocidad del motor para generar un flujo de combustible de 22,725 kg/h, ideal para controlar la temperatura en cada hoyo de alimentación.

$$n = \frac{3\,388 \text{ RPM}}{75 \text{ kg/h}} \times 22,725 \text{ kg/h}$$

$$n = 1\,027 \text{ RPM}$$

Asimismo se procedió a calcular la frecuencia requerida para que el motor gire a una velocidad 1 207 RPM.

$$f = \frac{1\,027 \text{ RPM} \times 2}{(1 - 0,05) 120}$$

$$f = 18,02 \text{ Hz}$$

El resultado indica que la frecuencia necesaria para generar el flujo de combustible ideal para el proceso será de 18 Hz.

## **B. Diseño del sistema eléctrico**

El sistema de control del combustible debe contar con una serie de dispositivos eléctricos que puedan asegurar el adecuado funcionamiento de los quemadores y controlar el flujo de combustible. Para la selección del dispositivo se optó por la compañía Schneider Electric. A continuación se presentan los elementos que van a conformar el diseño eléctrico del sistema con su respectivo análisis de selección.

### Llave termomagnética

Es el dispositivo que va a proteger al quemador ante una posible sobrecargar de energía eléctrica que llegue a superar los valores máximos de corriente alterna. Para ello se calculó la intensidad de corriente a partir de las características técnicas del motor en la tabla 41.

$$I = \frac{1\,398\text{ W}}{\sqrt{3} \times 440\text{ V} \times 0,83}$$

$$I = 2,35\text{ A}$$

Como resultado se obtuvo una intensidad de corriente de 2,35 A, sin embargo para tener una mejor seguridad se optó por trabajar con una intensidad de 2,8 A que corresponde a la ficha técnica del motor.

Según el catalogo de Schneider Electric, se va a utilizar la llave termomagnética EZ9F5621 de la gama Easy9 que puede llegar a soportar una intensidad máxima de 10 A, suficiente para proteger al equipo ante una posible descarga eléctrica.

Tabla 42. Características de la llave termomagnética EZ9F5621

Ítem	Descripción
Gama	Easy9
Tipo de producto	Interruptor automático
Numero de polos	2 P.
Corriente Nominal	10 A
Frecuencia de Red	50/60 Hz
Tensión de compatibilidad	220-400 V

Fuente: Schneider Electric 2015: página 4. [49]



Figura 52. Llave termomagnética EZ9F56210

Fuente: Schneider Electric 2015: página 4. [49]

### Interruptor diferencial

Como medida de seguridad, se instalará un interruptor diferencial en los quemadores de combustible para proteger al personal cuando este requiera de la manipulación del equipo. Su selección va a depender de la corriente nominal de quemador de 2,8 A.

Según el catálogo de Schneider Electric el interruptor diferencial más adecuado corresponde al modelo A9R10216 de la gama Acti 9, que puede llegar a una intensidad máxima de 16 A, suficiente para asegurar la protección del trabajador.

Tabla 43. Características del interruptor A9R10216

Ítem	Descripción
Gama	Acti 9
Tipo de producto	Interruptor diferencial
Numero de polos	1 P
Corriente Nominal	16 A
Frecuencia de Red	50/60 Hz
Tensión de compatibilidad	220-240 V

Fuente: Schneider Electric 2011: página 86. [50]



Figura 53. Interruptor diferencial A9R10216

Fuente: Schneider Electric 2011: página 86. [50]

### Variador de frecuencia

Es el elemento que va a permitir controlar la velocidad del motor modificando la frecuencia hasta obtener el flujo de combustible deseado para el proceso, asimismo el dispositivo debe ser compatible con el quemador en relación a la tensión eléctrica y la potencia del motor. De acuerdo al catálogo de Schneider Electric los variadores de frecuencia de la gama Altivar 71 son los más adecuados, debido a que en su ficha técnica indican su uso específico para motores asíncronos de menor potencia a 15 kW. El modelo ATV71HU15N4 cumple con las condiciones de diseño de trabajar con una potencia del motor de 2 HP a una tensión máxima de hasta 480 V, además cuenta con una fácil instalación.

Tabla 44. Ficha técnica de variador ATV71HU15N4

Ítem	Descripción
Gama	Altivar 71
Destino del producto	Motores asíncronos
Aplicación específica de producto	Máquinas complejas
Potencia del motor en kW	1,5 kW
Potencia del motor en HP	2 HP
Tensión de alimentación	380 - 480 V
Frecuencia de alimentación	50 - 60 Hz

Fuente: Schneider Electric 2020: página 1 [54]



Figura 54. Variador de frecuencia ATV71HU15N4

Fuente: Schneider Electric 2020: página 1 [54]

### **Contactor Auxiliar**

Se implementará un contactor auxiliar en el circuito de mando para activar al variador de frecuencia instalado en el motor del quemador. Según el catálogo de Schneider Electric se eligió el contactor auxiliar modelo CAD32M7 de la gama TeSys, que puede llegar a soportar una corriente nominal de 10 A para una frecuencia de alimentación de 60 Hz.

#### ▪ **Pulsadores**

En la propuesta de diseño se van a utilizar tres tipos de pulsadores: un pulsador de marcha, un pulsador de paro y un pulsador de emergencia, este último tendrá la función de apagar los quemadores de forma rápida ante una posible situación que pudiera afectar la seguridad de las maquinas como del personal de área. Los dispositivos fueron seleccionados a en base al catálogo Schneider Electric.

Para el pulsador verde se eligió el modelo XB4BW33M5 y para el pulsador rojo el modelo XB4BW34M5 de la gama Harmony XB4 analizados anteriormente.

Con respecto al pulsador de emergencia se optó por el modelo XB4BS8445 de la gama Harmony XB4, que cuenta con una forma circular y un enclavamiento mecánico, ideal para enviar una señal de todo o nada al proceso. El personal a cargo presionará el botón y las maquinas serán apagadas en forma instantánea.

Tabla 45. Características del pulsador XB4BS8445

Ítem	Descripción
Gama	Harmony XB4
Tipo de producto	Pulsador de parada de emergencia
Material del bise	Metal cromado plateado
Diámetro de montaje	22 mm
Tipo de cabezal	Estándar
Forma del cabezal	Redondo
Perfil de operador	Rojo Seta
Tipo de operador	Enclavamiento mecánico

Fuente: Schneider Electric 2020: página 9. [52]



Figura 55. Pulsador de emergencia XB4BS8445

Fuente: Schneider Electric 2020: página 10. [52]

#### ▪ Cableado eléctrico

Para la conexión de los dispositivos eléctricos será necesario utilizar cables. Su elección va a depender de la corriente nominal de 2,8 A calculada anteriormente, es por ello que se eligieron los cables tipo TW 80 de 1,5 mm<sup>2</sup> de la marca INDECO que pueden llegar a soportar un amperaje máximo de 14 A.

### C. Diseño del sistema de control

Primero establecemos el objetivo principal del sistema: controlar la temperatura del horno en el proceso de cocción de los ladrillos pandereta hasta alcanzar el valor deseado del setpoint. Por consiguiente identificamos las variables que se desean controlar y manipular en el sistema:

- **Variables a controlar:** Se va a identificar y controlar la temperatura que será indicada por los sensores instalados en el interior del horno.
- **Variables a manipular:** Se va a manipular el flujo másico de combustible que ingresa al proceso.

Por consiguiente establecemos las especificaciones de diseño de control del proceso a automatizar.

- **Sistema de control:** es de lazo cerrado, los quemadores van a aumentar o disminuir el flujo de combustible de acuerdo a la señal que envíe los sensores de temperatura cuando se presenten desviación en relación al setpoint.
- **Tipo de señales:** son analógicas, el sensor de temperatura va a enviar una señal en forma de onda de manera continua al controlador.
- **Proceso:** es la cocción de los ladrillos, que será efectuada en un tiempo establecido de 24 horas a un valor de referencia de 1 000°C.
- **Perturbaciones:** son las señales indeseadas que pueden alterar el proceso y afectar la temperatura del horno: demoras en el proceso, fallas en las máquinas, obstrucción en los alimentadores, humedad del combustible, entre otros.

- **Controlador:** es el PLC, que tendrá por objetivo mandar las señales hacia el actuador para el respectivo control de la temperatura
- **Actuador:** es el motor del quemador de combustible, que va a aumentar o disminuir su velocidad de acuerdo a la señal emitida por el PLC.

### **Sistema de Control PID**

En la propuesta se deberá implementar un controlador que cumpla con las especificaciones de diseño establecidas para sistema de lazo cerrado, por tal motivo se hizo un análisis comparativo entre el controlador On/off y el controlador PID que son los más empleados en sistemas automatizados.

El controlador On/Off no es aplicable para este tipo de proceso debido a que solo cuenta con movimientos de todo o nada que conlleva a una baja precisión en la señal de respuesta, cuando el objetivo del sistema es llevar a la temperatura al setpoint o a un valor muy cercano a este. Además no es recomendable en proceso de alto riesgo, siendo la etapa de cocción la de mayor importancia para la producción de los ladrillos.

Por el contrario el controlador PID viene a ser la mejor opción, ya que puede controlar la temperatura del horno a pesar de las perturbaciones que se presenten durante el proceso por medio de una retroalimentación. Además se ampliamente utilizado en sistemas de lazo cerrado y en industrias de tratamientos térmicos.

El controlador PID va a calcular la desviación o error entre la temperatura actual del horno y el setpoint, para enviar una respuesta al actuador que a su vez pueda regular el flujo de combustible haciendo que la temperatura aumente o disminuya según corresponda.

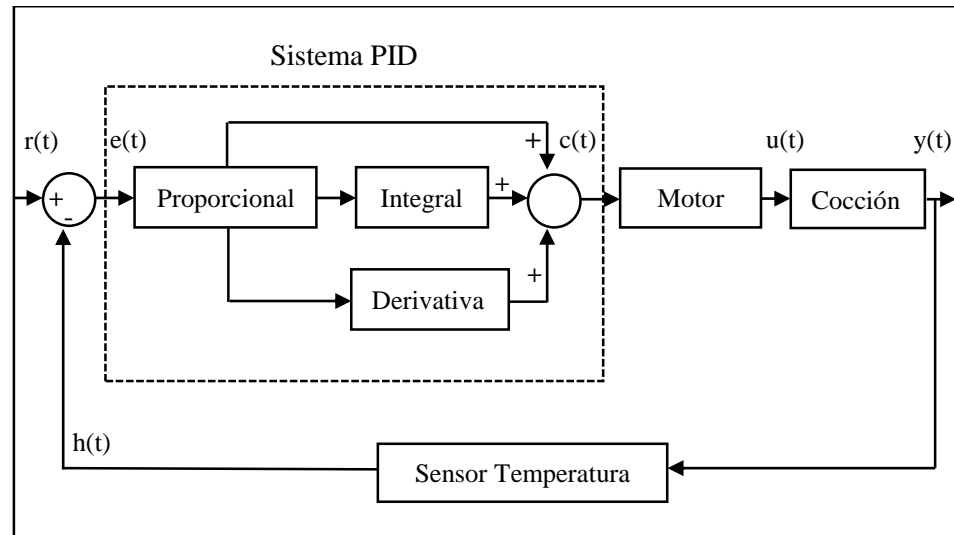


Figura 56. Diagrama de control PID

Fuente: Elaboración propia.

En la figura  $r(t)$  viene a ser el setpoint,  $h(t)$  es la señal analógica transmitida por el sensor,  $e(t)$  es el error o diferencia entre ambas señales que será recibida por el controlador PID para ser analizada y posteriormente enviar una orden  $c(t)$  al actuador que va a controlar la variable  $y(t)$  hasta alcanzar la temperatura de referencia, este procedimiento se repite de manera continua durante todo el proceso.

### **Análisis de la temperatura del horno**

Se realizó un análisis del comportamiento de la temperatura del horno en actividad haciendo uso del instrumento de medición termómetro infrarrojo digital. Las mediciones fueron realizadas por el autor de la investigación en un intervalo de tiempo de 12 horas, teniendo un total de 72 muestras que se pueden apreciar en anexos 6.

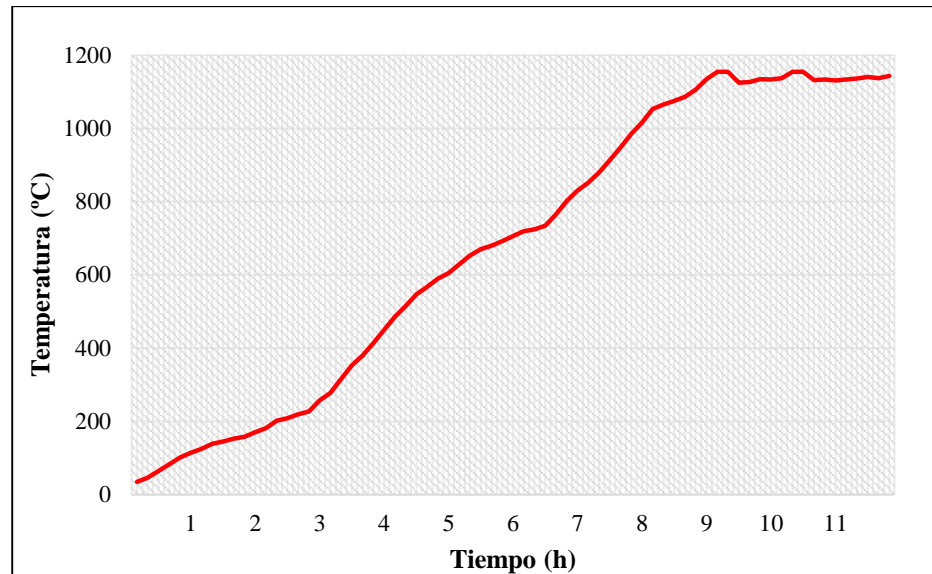


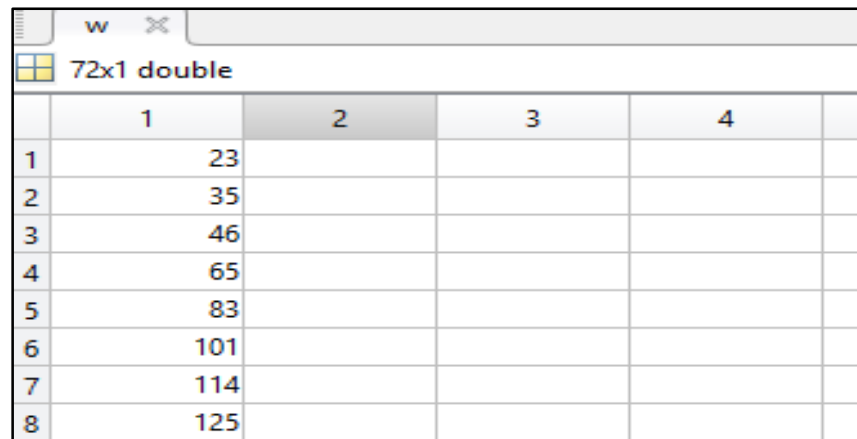
Figura 57. Análisis de Temperatura de cocción de ladrillos

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 57 existe un tiempo prolongado de 490 minutos equivalente a 8,16 horas aproximadamente para que el horno pueda alcanzar los 1 000 °C, luego la temperatura va aumentando hasta superar los 1 154 °C para seguir con su respectivo descenso.

Las mediciones de temperatura fueron procesadas en el software de cálculo y programación MATLAB para medir la respuesta transitoria de la temperatura relación al tiempo y a su vez determinar la función de transferencia del proceso. Para ello se tomó como referencia los 1 000 °C indicado en [43] para generar suficiente calor y lograr una adecuada cocción de los ladrillos. A continuación se explica a detalle los pasos a seguir en MATLAB para hallar la función de transferencia  $G(s)$ .

– Entramos a la plataforma MATLAB y crear un vector vacío  $w=[]$  para ingresar los datos de la temperatura obtenidos en el horno de ladrillos, después nos dirigimos a Workspace y copiamos los datos.



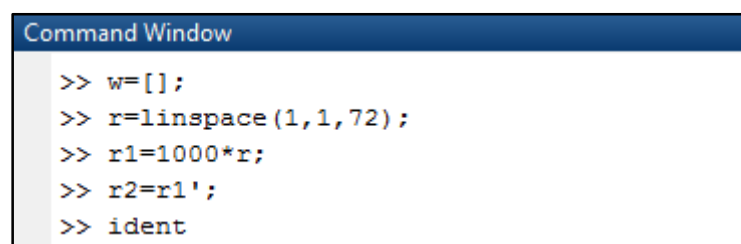
	1	2	3	4	
1	23				
2	35				
3	46				
4	65				
5	83				
6	101				
7	114				
8	125				

Figura 58. Mediciones de temperatura en Workspace de MATLAB

Fuente: Elaboración propia.

–En Command Window ingresamos el código `r=linspace(1,1,72)`, un vector de 72 espacios para el valor de referencia del sistema en relación al tiempo.

–Ingresamos el código `r1=1000*r` para definir el setpoint o valor de referencia del proceso que viene a ser los 1 000 °C y agregamos el código `r2=r1` para el valor de entrada del proceso. Agregamos `Ident` para procesar los datos en Workspace.



```

Command Window
>> w=[];
>> r=linspace(1,1,72);
>> r1=1000*r;
>> r2=r1';
>> ident
  
```

Figura 59. Ventana de comandos

Fuente: Elaboración propia.

–En la ventana System Identification importamos los datos desde el Workspace, para ello abrimo la ventana Import Data y digitamos como entrada a `r2` y como salida a `w`, asimismo definimos el tiempo de partida de 0 segundos y el intervalo de tiempo entre cada medición de temperatura de 10 minutos equivalente a 600 segundos.

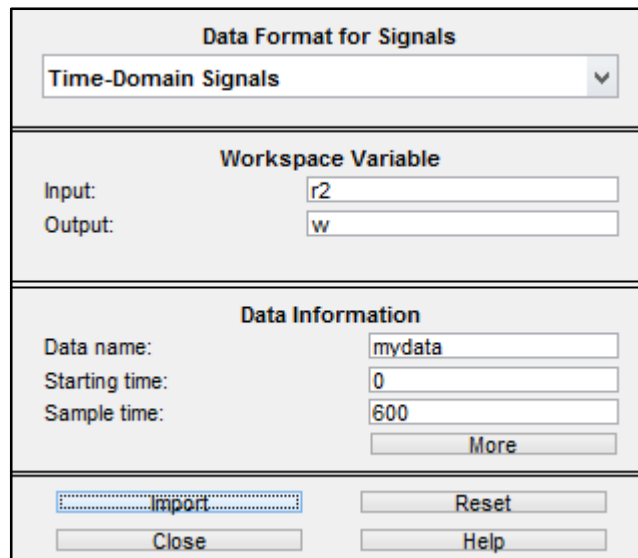


Figura 60. Ventana de Import Data

Fuente: Elaboración propia.

–En la lista Estimate seleccionamos la opción Transfer Function Models y nos abre la ventana Transfers Functions, digitamos 2 polos y 0 zeros para estabilizar el sistema, como resultado en Import models aparece la función de transferencia (tf1) en relación a los datos que han sido procesados, por consiguiente lo importamos al Workspace.

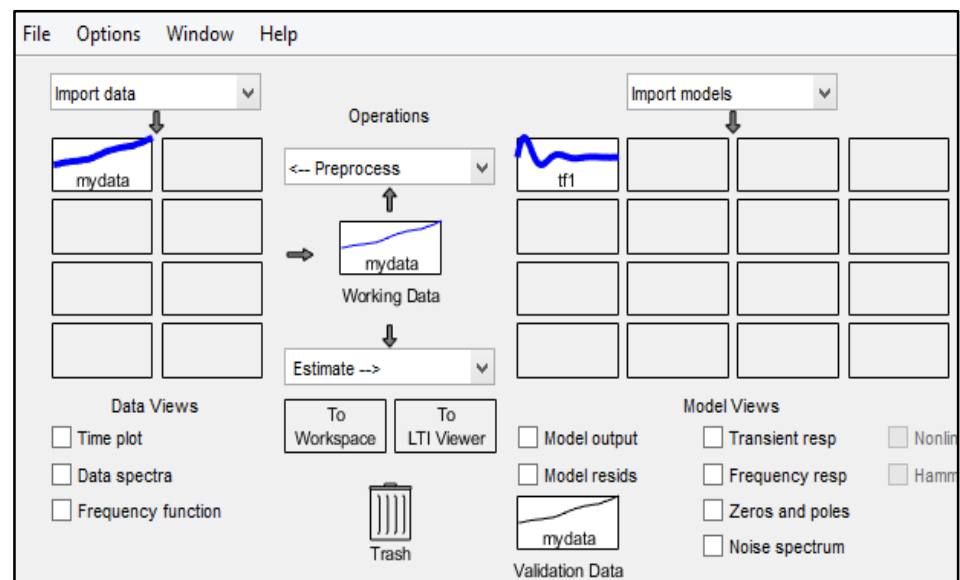


Figura 61. Ventana System Identification

Fuente: Elaboración propia

–Ingresamos el código tf1 en la ventana de comandos y obtenemos la función de transferencia del proceso  $G(s)$  en base a las mediciones realizadas en el horno de ladrillos.

```
>> tf1

tf1 =

  From input "u1" to output "y1":
      5.642e-09
  -----
  s^2 + 4.81e-05 s + 6.644e-09

Name: tf1
Continuous-time identified transfer function.

Parameterization:
  Number of poles: 2   Number of zeros: 0
  Number of free coefficients: 3
  Use "tfdata", "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
  Estimated using TFEST on time domain data "mydata".
  Fit to estimation data: 92.13% (stability enforced)
  FFE: 1124, MSE: 977.7
```

Figura 62. Función de transferencia - Ventana de comandos

–Finalmente digitamos en la ventana de comandos el código `step(tf1)` para observar el comportamiento de sistema mediante una gráfica.

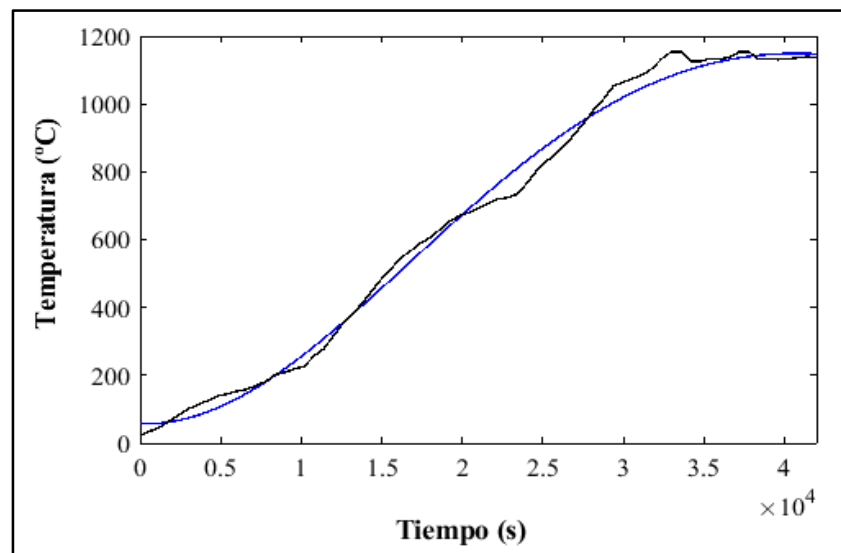


Figura 63. Análisis de la temperatura en MATLAB

Fuente: Elaboración propia.

El análisis en MATLAB se obtuvo un 92,13 % de similitud, superior al rango establecido por el programa de 75 %, lo que indica la veracidad de los resultados. Asimismo se obtuvo la función de transferencia del proceso:

$$G(s) = \frac{5,642 \times 10^{-9}}{s^2 + 4,18 \times 10^{-5}s + 6,644 \times 10^{-9}}$$

La función  $G(s)$  obtenida presenta un sistema de segundo orden que se caracteriza por tener dos polos, además no cuenta zeros en su función de transferencia. A continuación se visualiza la respuesta transitoria de la temperatura en relación al tiempo.

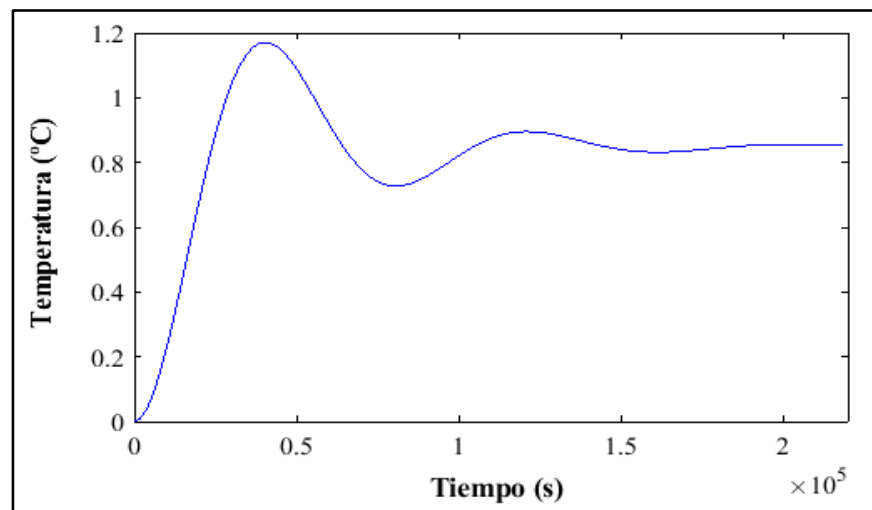


Figura 64. Respuesta transitoria de la temperatura del horno

Fuente: Elaboración propia.

Según la gráfica el comportamiento de la temperatura presenta una forma oscilatoria con movimiento subamortiguado. Esto significa que antes que el proceso alcance la estabilidad se va a presentar una amplitud superior al valor de referencia. A continuación se analizaron los zeros y los polos de la función de transferencia.

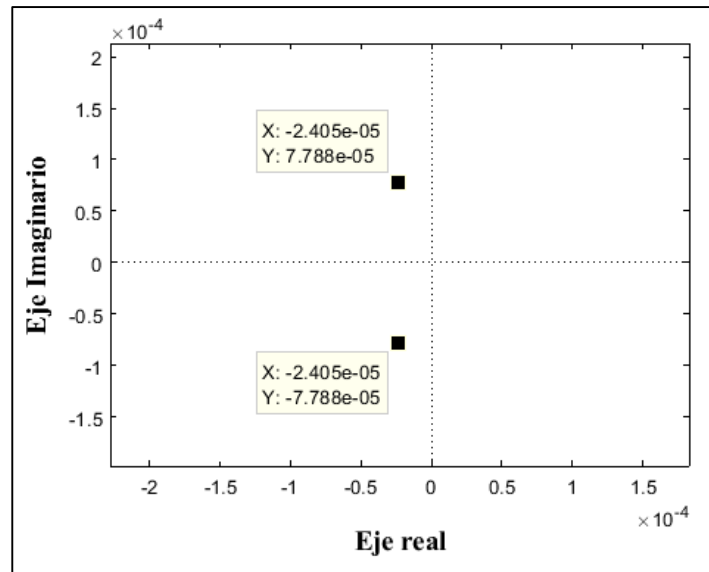


Figura 65. Diagrama de zeros y polos

Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el diagrama, la función de transferencia presenta 2 polos de  $-2,4 \times 10^{-5} \pm 7,79 \times 10^{-5}i$  ubicados en la parte negativa del eje imaginario, según la teoría indica que el sistema es estable y podrá ser controlado, sin embargo el valor de la parte imaginaria es menor a la parte real, lo que significa que el sistema tiene un comportamiento lento.

### Selección del método de Control

Para definir la metodología que se va a aplicar en el sistema de control se debe realizar un análisis a la función de transferencia del proceso determinada anteriormente:

$$G(s) = \frac{5,642 \times 10^{-9}}{s^2 + 4,18 \times 10^{-5}s + 6,644 \times 10^{-9}}$$

En la función  $G(s)$ , la temperatura presenta un comportamiento oscilatorio con un sistema de segundo orden, esto indica que no se podrá aplicar el método de Ziegler-Nichols de curva de reacción, ya que como se detalló en la teoría solo es aplicable a un proceso que tenga un comportamiento sigmoideal en un sistema de primer orden.

En relación a lo anterior, el segundo método de Ziegler-Nichols para sistemas oscilatorios tampoco es aplicable, ya que consiste en llevar al proceso a su máxima frecuencia hasta obtener un comportamiento oscilatorio continuo, sin embargo los polos de la función de transferencia están ubicados en forma lineal, lo que significa el sistema nunca va a oscilar y alcanzar su frecuencia máxima.

Por defecto para controlar la temperatura del horno es necesario aplicar el método de asignación de polos, que tiene como objetivo el diseño de control de un sistema de lazo cerrado que cumpla con las especificaciones de diseño establecidas, además es el método más apropiado para ser aplicado en sistemas de segundo orden.

### **Análisis del método de Asignación de Polos**

Esta parte tiene como objetivo realizar un análisis al método de asignación de polos para lograr obtener la función de transferencia de lazo cerrado del sistema automatizado, para ello vamos a utilizar un modelo matemático de segundo orden que va a representar la función de transferencia del proceso.

$$G(s) = \frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

En donde K va a ser la ganancia o respuesta del sistema,  $\zeta$  es el factor de amortiguamiento y  $\omega_n$  es la frecuencia del proceso. Por consiguiente asignamos valores a los coeficientes de la función G(s):

$$G(s) = \frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} = \frac{k}{s^2 + a s + b} = \frac{A}{B}$$

De acuerdo a la teoría el controlador PID convencional o tradicional tiene la siguiente expresión:

$$C(s) = k_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right)$$

En donde  $k_c$  vendría a ser la ganancia proporcional del proceso en relación a la temperatura que va a multiplicar a la acción integral y la acción derivativa, la suma de los tres es la señal de respuesta del controlador. Si resolvemos la expresión anterior se obtiene:

$$C(s) = \frac{k_c \tau_d s^2 + k_c s + \frac{k_c}{\tau_i}}{s}$$

Del mismo modo asignamos valores a los coeficientes de la función  $C(s)$ :

$$C(s) = \frac{k_c \tau_d s^2 + k_c s + \frac{k_c}{\tau_i}}{s} = \frac{z_2 s^2 + z_1 s + z_0}{s} = \frac{D}{E}$$

Asimismo los valores asignados en las funciones  $C(s)$  y  $G(s)$  serán reemplazados en la función de transferencia de lazo cerrado  $H(s)$  para sistemas de control PID.

$$H(s) = \frac{C(s) G(s)}{1 + C(s) G(s)} = \frac{\frac{D}{E} \frac{A}{B}}{1 + \frac{D}{E} \frac{A}{B}} = \frac{DA}{EB + DA}$$

$$H(s) = \frac{DA}{EB + DA} = \frac{k (z_2 s^2 + z_1 s + z_0)}{s^3 + (a + k z_2) s^2 + (b + k z_1) s + k z_0}$$

Como resultado se obtuvo la función de lazo cerrado  $H(s)$  del proceso cuando sea automatizado, sin embargo podemos observar que cuenta con 2 zeros y 3 polos, lo que significa que se tendrá que adicionar un tercer polo a nuestra función de transferencia para que pueda ser controlada.

### **Sistema de control PID por asignación de polos**

En relación a análisis anterior procedemos a aplicar el método de asignación de polos, para ello necesitamos la función de transferencia del proceso que se obtuvo anteriormente a través del programa MATLAB.

$$G(s) = \frac{5,642 \times 10^{-9}}{s^2 + 4,18 \times 10^{-5}s + 6,644 \times 10^{-9}}$$

Posteriormente establecemos los parámetros de diseño que definirá el controlador PID para un sistema de segundo orden de acuerdo a las características que se desee del proceso. Los parámetros son: el tiempo de establecimiento, el factor de amortización y la tolerancia permitida.

▪ **Tiempo de establecimiento (Tss)**

Viene a ser el tiempo que tarda el proceso en llegar al setpoint para mantener la estabilidad, se calcula dividiendo cuatro entre la frecuencia ( $\omega_n$ ). En efecto si tenemos una frecuencia actual de  $8,15 \times 10^{-5}$  el tiempo de establecimiento será de 49 080 segundos equivalente a 13,63 horas. Sin embargo en la propuesta se ha considerado un tiempo de establecimiento de 8 horas equivalente a 28 800 segundos que es lo que tarda el proceso en llegar su valor de referencia.

▪ **El factor de amortización ( $\zeta$ )**

Se calcula a través de la amplitud o pico máximos ( $M_p$ ) que alcanzará nuestro proceso, para este valor se ha considerado un 15 %, es decir que la temperatura del horno no deberá superar los 1 150 °C. El pico máximo se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$M_p = 100 e^{\frac{-\pi \zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

Despejamos el factor de amortización ( $\zeta$ ) en la fórmula anterior:

$$\zeta = \frac{\ln\left(\frac{M_p}{100}\right)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2\left(\frac{M_p}{100}\right)}}$$

$$\zeta = 0,5169$$

▪ **Tolerancia permitida ( $\omega_n$ )**

Es el rango de error máximo que alcanzará la temperatura cuando esta llegue al setpoint. Para la propuesta se ha considerado una tolerancia de un 5 % debido a que en el proceso se trabaja con altos rango de temperatura. La tolerancia permitida ( $\omega_n$ ) se calcula a través de la siguiente formula:

$$\omega_n = \frac{3}{\zeta T_{ss}}$$

Reemplazamos los valores del tiempo de establecimiento y el factor de amortización:

$$\omega_n = \frac{3}{0,5169 \times 28\,800}$$

$$\omega_n = 2,0151 \times 10^{-4}$$

A partir de estos datos ya podemos definir la función de transferencia deseada  $G_d(s)$  del proceso reemplazando los parámetros en el modelo matemático de segundo orden establecido anteriormente, considerando una ganancia mínima de uno para K.

$$G_d(s) = \frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{(2,0151 \times 10^{-4})^2}{s^2 + 2 \times 0,5169 \times 2,0151 \times 10^{-4} + (2,0151 \times 10^{-4})^2}$$

$$G_d(s) = \frac{4,0606 \times 10^{-8}}{s^2 + 2,0832 \times 10^{-4} + 4,0606 \times 10^{-8}}$$

Despejamos el polinomio de segundo grado en la función anterior.

$$P(s) = s^2 + 2,0832 \times 10^{-4} + 4,0606 \times 10^{-9}$$

A partir del polinomio  $P(s)$  procedemos a calcular la ubicación de los nuevos polos a partir de la siguiente fórmula.

$$\text{Polos} = \zeta \omega_n \pm \omega_n \sqrt{(1-\zeta)^2}$$

Reemplazamos los parámetros de tiempo establecido y tolerancia permitida, se obtiene:

$$\text{Polos} = -0,5169 \times (2,0151 \times 10^{-4}) \pm 2,0151 \times 10^{-4} \times \sqrt{(1 - 0,5169)^2}$$

$$P_1 = -1,042 \times 10^{-4} + 1,725 \times 10^{-4} i$$

$$P_2 = -1,042 \times 10^{-4} - 1,725 \times 10^{-4} i$$

Si analizamos la función de transferencia deseada  $G_d(s)$  cuenta con dos polos dominantes que van a gobernar la dinámica del proceso, mientras que en función de transferencia de lazo cerrado  $H(s)$  cuenta con tres, lo que significa que se tendrá que adicionar un tercer polo rápido ( $P_r$ ).

Para que el polo asignado no pueda afectar la dinámica del proceso deberá estar situado a una distancia alejada del eje real, para ello se ha considerado un valor del 10 en referencia a la ubicación del polo dominante.

$$P_r = 10 \times \text{Real}(-1,042 \times 10^{-4} - 1,725 \times 10^{-4} i)$$

$$P_r = -1,042 \times 10^{-4}$$

Una vez calculado los tres polos que requiere el proceso para que pueda ser controlado se procedió a calcular el polinomio de tercer orden deseado  $P_d(s)$  en el diseño del sistema automatizado.

$$P_d(s) = (s^2 + 2,0832 \times 10^{-4} + 4,0606 \times 10^{-8})x(s + 1,042 \times 10^{-4})$$

$$P_d(s) = s^3 + 0,0013 s^2 + 2,5762 \times 10^{-7} s + 4,2298 \times 10^{-11}$$

### Cálculo de los parámetros PID

Con el análisis del método realizado anteriormente, procedemos a calcular los parámetros proporcional ( $k_c$ ), integral ( $\tau_i$ ) y derivativa ( $\tau_d$ ) del controlador PID. Para ello vamos a utilizar el polinomio de tercer orden calculado anteriormente.

$$P_d(s) = s^3 + 0,00125 s^2 + 2,5762 \times 10^{-7} s + 4,2298 \times 10^{-11}$$

$$P_d(s) = s^3 + (a + k z_2) s^2 + (b + k z_1) s + k z_0$$

Le asignamos valores a los coeficientes del polinomio  $P_d(s)$ :

$$a + k z_2 = d_1$$

$$b + k z_1 = d_2$$

$$k z_0 = d_3$$

Asimismo reemplazamos los valores de  $z_1$ ,  $z_2$  y  $z_3$  de la función  $C(s)$ :

$$C(s) = \frac{z_2 s^2 + z_1 s + z_0}{s} = \frac{k_c \tau_d s^2 + k_c s + \frac{k_c}{\tau_i}}{s}$$

:

$$a + k k_c \tau_d = d_1$$

$$b + k k_c = d_2$$

$$k \frac{k_c}{\tau_i} = d_3$$

Resolvemos el sistema de ecuaciones y despejamos  $k_c$ , para obtener la fórmula para calcular la ganancia proporcional del sistema de control.

$$k_c = \frac{d_2 - b}{k}$$

- **Ganancia proporcional ( $k_c$ )**

$$k_c = \frac{2,5762 \times 10^{-7} - 6,644 \times 10^{-9}}{5,642 \times 10^{-9}}$$

$$k_c = 44,4835$$

A partir de la ganancia proporcional ( $k_c$ ) procedemos a calcular los demás parámetros del tiempo integral ( $\tau_i$ ) y derivativo ( $\tau_d$ ).

- **Tiempo integral ( $\tau_i$ )**

$$\tau_i = \frac{k_c}{d_3}$$

$$\tau_i = \frac{5,642 \times 10^{-9} \times 44,4835}{4,2298 \times 10^{-11}}$$

$$\tau_i = 5,9335 \times 10^3$$

- **Tiempo derivativo ( $\tau_d$ )**

$$\tau_d = \frac{d_1 - a}{k_c}$$

$$\tau_d = \frac{0,00125 - 4,18 \times 10^{-5}}{44,4835 \times 5,642 \times 10^{-9}}$$

$$\tau_d = 4,7889 \times 10^3$$

Como resultado obtenemos los parámetros de control para nuestro sistema automatizado, sin embargo en la función de transferencia de control PID convencional  $C(s)$  es una ecuación no propia, es decir que el denominador es menor al numerador, por lo tanto no puede ser aplicada en el proceso.

Por tal motivo para controlar la temperatura se requiere añadir un filtro pasa-abajo en la acción derivativa que servirá para atenuar la frecuencia de las altas temperatura. El controlador PID con filtro tendrá la siguiente expresión:

$$C(s)_{\text{filtro}} = k_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} + \frac{\tau_d s}{\alpha \tau_d s + 1} \right)$$

Resolvemos la función y obtenemos:

$$C(s)_{\text{filtro}} = \frac{(\alpha k_c \tau_i \tau_d + k_c \tau_i \tau_d) s^2 + (k_c \tau_i + \alpha k_c \tau_d) s + k_c}{\alpha \tau_i \tau_d s^2 + \tau_i s}$$

Para el desarrollo de la propuesta se ha considerado un porcentaje de atenuación al ruido menor a un 10% ya que se trabaja con altos rangos de temperatura, además si queremos reducir el tiempo de cocción de los ladrillos se pueden generar frecuencias altas que podrían afectar la estabilidad del sistema. Finalmente reemplazamos datos calculados anteriormente y obtenemos la función de transferencia del controlador PID con filtro.

$$C(s)_{\text{filtro}} = \frac{1,327 \times 10^9 s^2 + 2,74610^5 s + 44.4835}{1,421 \times s^2 + 5,934 \times 10^3 s}$$

### **Análisis del sistema de control en SIMULINK**

Para verificar que el sistema de control pueda eficazmente controlar el proceso, se empleó el software de programación visual SIMULINK. El análisis va a consistir en comprobar si los parámetros proporcional, integral y derivativo calculados puedan cumplir con el objetivo principal del sistema de controlar la temperatura del horno hasta alcanzar el setpoint y mantener la estabilidad.

Asimismo de verificar que se cumplan con las especificaciones de diseño de un tiempo de establecimiento ( $T_{ss}$ ) de 8 horas, un pico máximo ( $M_p$ ) de un 15 % y una tolerancia del 5 %. Para ello se hizo una representación del proceso aplicando un controlador PID en el programa.

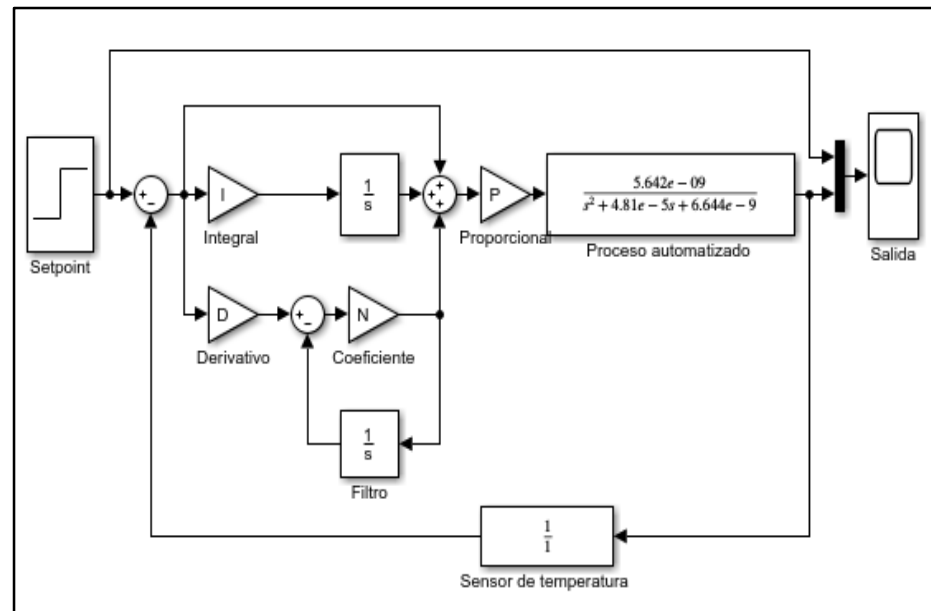


Figura 66. Diseño del sistema de control PID en SIMULINK

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una simulación en el programa para medir el comportamiento de la temperatura aplicando un controlador PID.

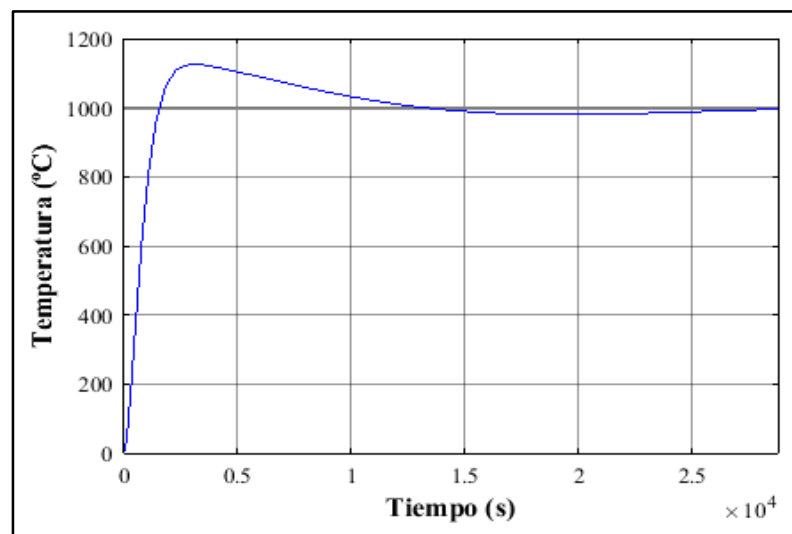


Figura 67. Temperatura con sistema de control PID

Fuente: Elaboración propia.

En efecto el controlador PID logró controlar la temperatura del horno manteniéndola estable hasta alcanzar el valor de referencia de 1 000 °C con una tolerancia de un 5% en el tiempo establecido de 8 horas. Además la temperatura máxima fue de 1 120 °C siendo menor al de pico máximo, lo que reduce las posibilidades de producir ladrillos rajados y quemados.

Para reforzar el resultado obtenido, se hizo una representación del proceso de cocción de los ladrillos en el programa, añadiendo una perturbación en el proceso que pueda afectar la estabilidad de la temperatura.

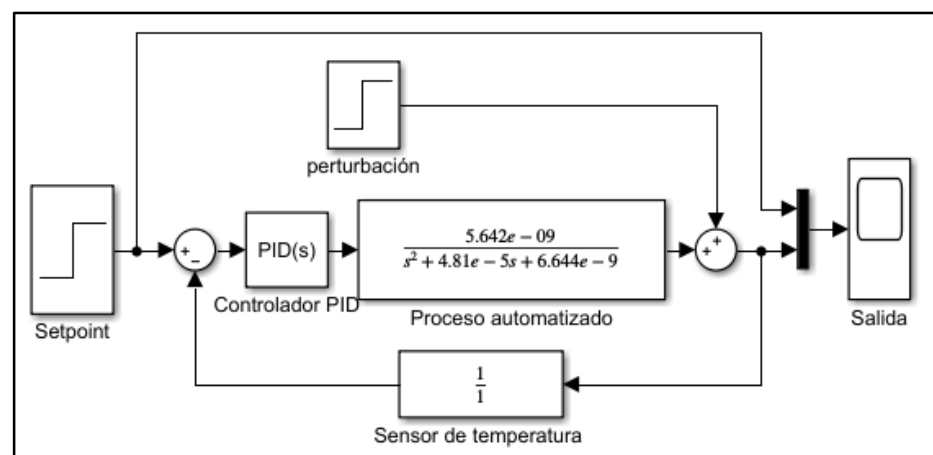


Figura 68. Diseño del sistema de control PID con perturbación

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una simulación en el programa para medir el comportamiento de la temperatura ante una posible perturbación que pudiera afectar la dinámica de proceso. Para ello se consideró una variación de la temperatura a 1 100 °C en el intervalo de tiempo de 28 800 segundos equivalente a las 8 horas.

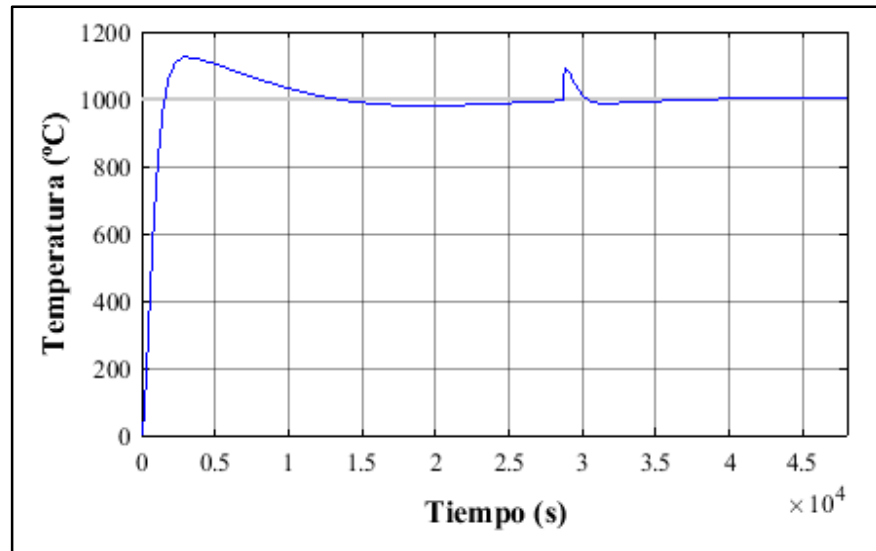


Figura 69. Temperatura con sistema de control PID y perturbación

Fuente: Elaboración propia.

En efecto el controlador PID logró mantener la estabilidad de la temperatura ante la perturbación sin presentar una variación significativa en la dinámica del proceso. Para evaluar mejor su desempeño se añadieron distintas perturbaciones del proceso de forma consecutiva para medir su capacidad de respuesta.

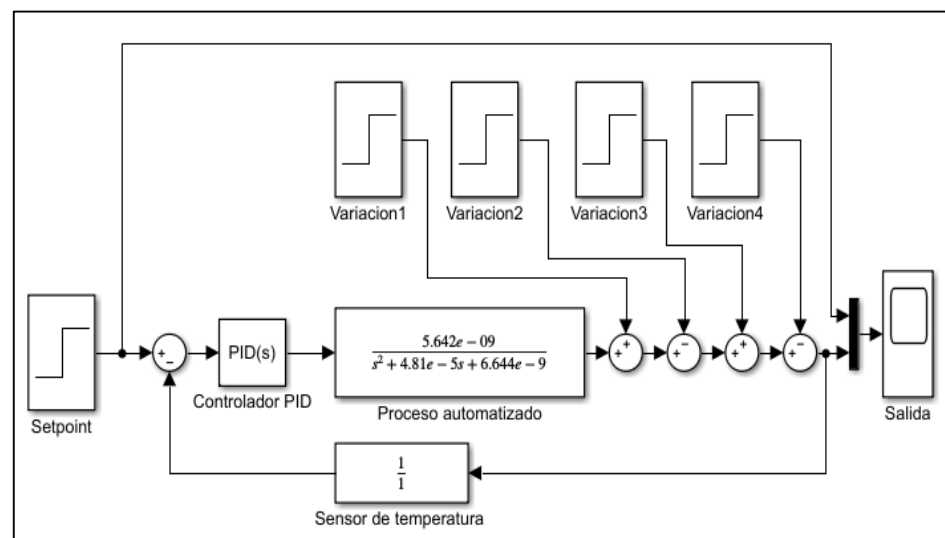


Figura 70. Diseño del sistema de control PID con distintas perturbaciones

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se realizó la simulación en el programa para medir el comportamiento de la temperatura antes las distintas perturbaciones.

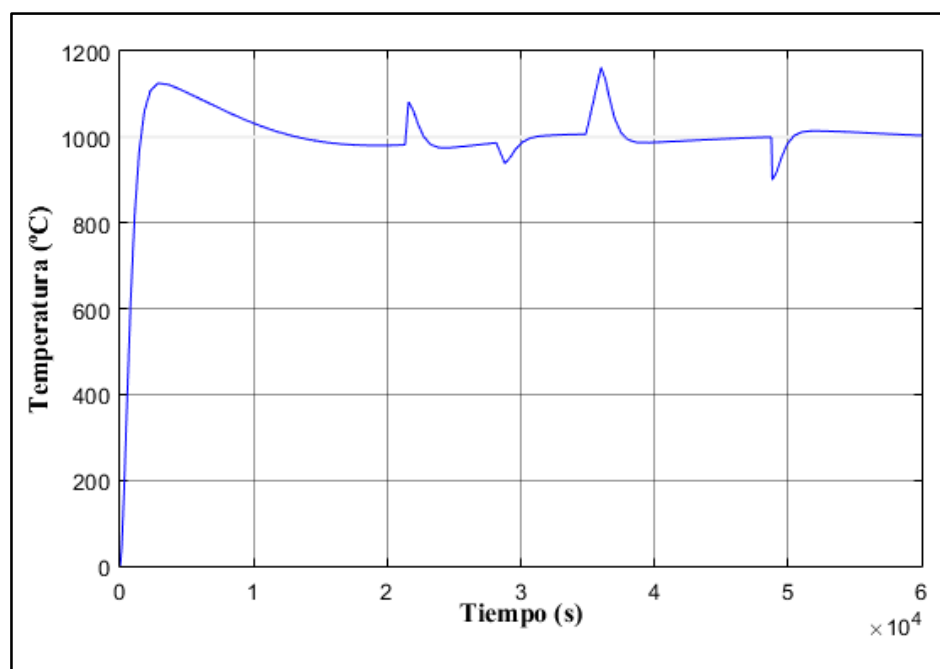


Figura 71. Temperatura con sistema de control PID y perturbaciones

Fuente: Elaboración propia.

El resultado indica que el sistema logro controlar la temperatura hasta alcanzar el setpoint en todas las variaciones del proceso lo que garantiza la efectividad la eficacia del sistema. A continuación se presenta los datos obtenidos en base al análisis realizado anteriormente.

Tabla 46. Sistema de control PID con perturbación

Perturbación	Setpoint (°C)	Variación establecida (°C)	Tiempo de llegada (min)	Variación percibida (°C)	Tiempo de respuesta (min)
1	1 000	100	6,7	82	27,3
2	1 000	50	12,2	36	20,7
3	1 000	200	21,8	168	26,7
4	1 000	100	6,2	94	20,3

Fuente: Elaboración propia.

Como se evidencia en la tabla el controlador PID pudo reducir la variación de temperatura a un valor menor del establecido al inicio del análisis y presento un tiempo de respuesta inmediata cercano al tiempo de llegada de

la perturbación, generando que el ladrillo no se vea muy afectado ante posibles variaciones críticas que puedan afectar la calidad del producto, lo que evidencia la eficiencia del sistema de control.

Para validar que la elección del sistema de control PID es la correcta, se hizo un análisis comparativo en relación a los otros mecanismos de control proporcional (P) y proporcional–integral (PI) para medir su grado de respuesta en el proceso en las mismas condiciones de diseño. Para ello se representó los tres mecanismos de control en el proceso haciendo uso del programa SIMULINK.

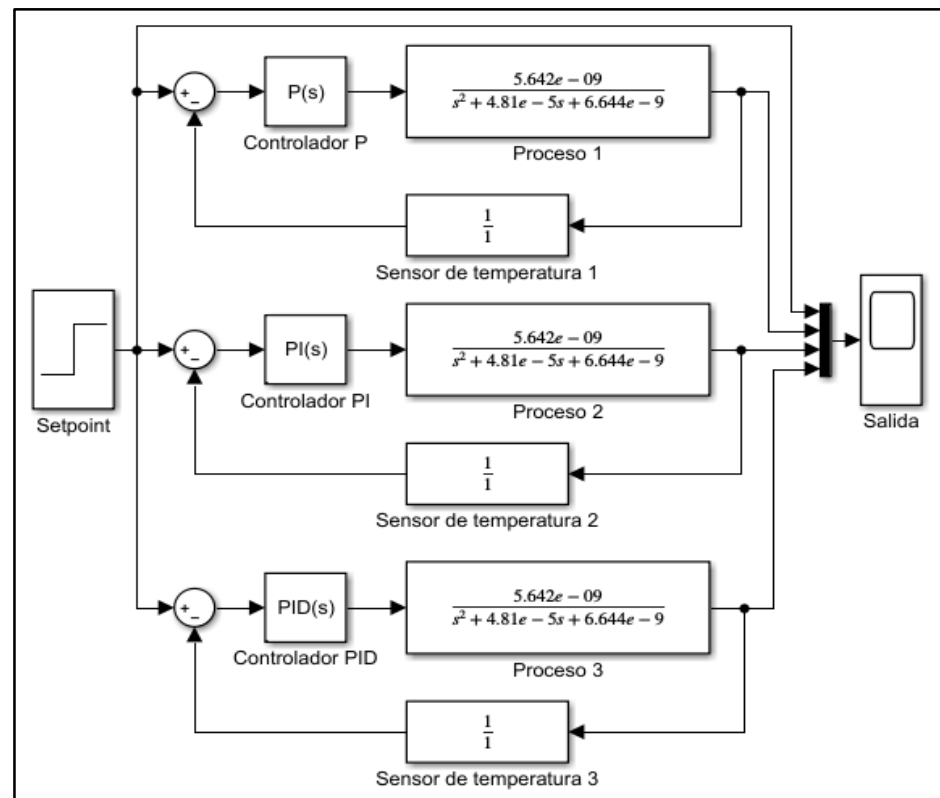


Figura 72. Mecánicas de control aplicados en el proceso.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó una simulación para medir el comportamiento de la temperatura en relación a los tres tipos de mecanismo de control P, PI y PID en un tiempo de cocción de 28 800 segundos equivalente a 8 horas.

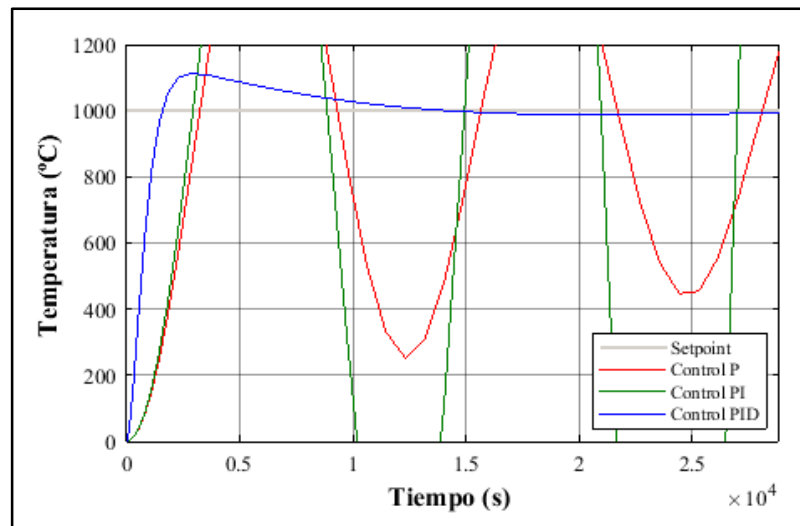


Figura 73. Análisis de la temperatura según el tipo de control

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar el controlador PID viene a ser la mejor opción para controlar el proceso en comparación a los otros mecanismos de control, ya que fue el único capaz de lograr controlar la temperatura y mantenerla estable. Asimismo añadir la importancia de utilizar la acción derivativa ( $t_d$ ) en el sistema ya que reduce el error al mínimo para que la estabilidad del proceso no pueda verse afectada.

En beneficio del operador se aplicó el procedimiento anterior para realizar un análisis comparativo entre un comportamiento agresivo y lento de la temperatura del horno en relación al tiempo. Para ello se representó ambos procesos utilizando el programa SIMULINK.

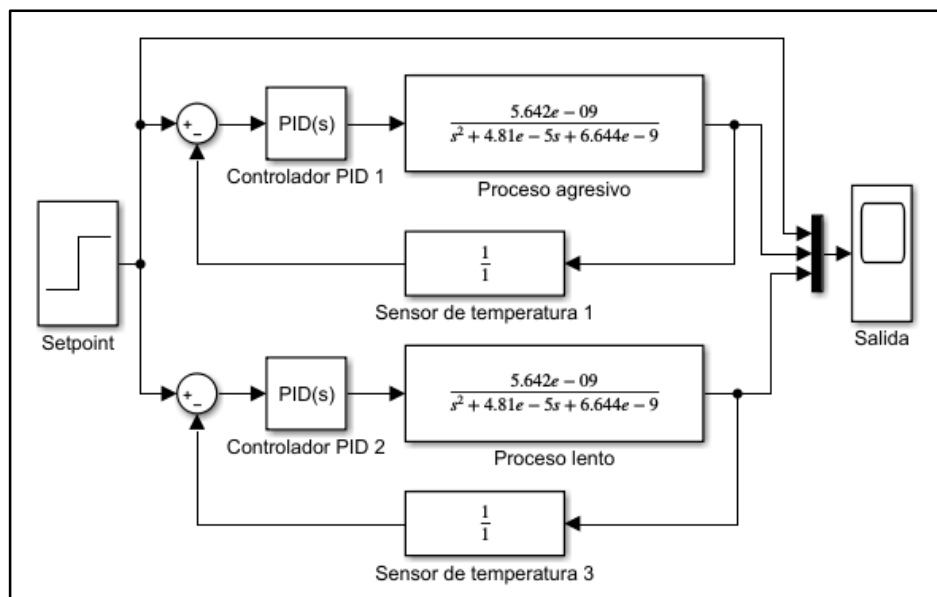


Figura 74. Sistema de control PID según el comportamiento del proceso  
Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la simulación en el programa considerando un tiempo de establecimiento de 14 400 segundos equivalente a 4 horas para un proceso agresivo y un tiempo de establecimiento de 43 200 segundos equivalente a 12 horas para un proceso lento.

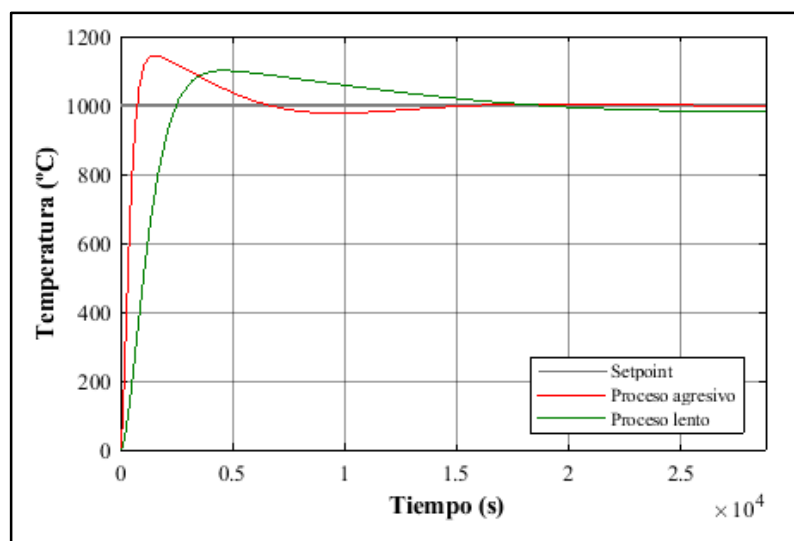


Figura 75. Temperatura según el comportamiento del proceso  
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura 75 podemos observar que si reducimos el tiempo de establecimiento a 4 horas el sistema sigue siendo estable, sin embargo la

temperatura máxima supera los 1 54°C, lo que podría afectar la calidad de los ladrillos.

Del mismo modo podemos observar que si aumentamos el tiempo de establecimiento a 12 horas el sistema sigue siendo estable y la temperatura máxima es menor a 1 100 °C, lo que podría mejorar la calidad de los ladrillos pero aumentar el tiempo de ciclo del proceso. Asimismo en la tabla 46 se indican los parámetros de control para que el operador pueda regular la temperatura según el comportamiento que requiera del proceso.

Tabla 47. Parámetros PID del sistema de control

Parámetros	Comportamiento		
	Agresivo	Estándar	Lento
	4 h	8 h	12 h
<b>Ganancia proporcional</b>	181,42	48,48	19,12
<b>Tiempo integral</b>	$3,026 \times 10^3$	$5,93 \times 10^3$	$8,61 \times 10^3$
<b>Tiempo derivativo</b>	$2,395 \times 10^3$	$47,889 \times 10^3$	$7,28 \times 10^3$

Fuente: Elaboración propia.

#### D. Elección del sensor de temperatura

En la propuesta se utilizará como instrumento de medición de la temperatura a las termocuplas, ya que cumplen con los criterios de selección establecidos en [14]. Este instrumento de medición llega a emitir una señal precisa, además de ser económicas y de fácil instalación, lo que contribuye a ser las más adecuadas para el proceso de cocción de ladrillos.

Tabla 48. Tipos de termocuplas

Tipo	Cable + aleación	Cable -aleación	Rango de temperatura (°C)	Rango de tensión (mV)
J	Hierro	Cobre/nickel	-180 - 750	42,2
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	-180 - 1 372	54,8
T	Cobre	Cobre/nickel	-250 - 400	20,8
R	87 % Platino 13 % Rhodio	100 % Platino	0 - 1 767	21,09
S	90 % Platino 10 % Rhodio	100 % Platino	0 - 1 767	18,68
B	70 % Platino 30 % Rhodio	94 % Platino 6 % Rhodio	0 - 1 767	13,814

Fuente: Michalski, Eckersdorf, Kucharski y McGhee 2001: página 48 [55]

La termocupla a utilizar será la tipo K, debido a que posee la mayor amplitud de 1 372 ° C, superior al valor de referencia y a la temperatura máxima de 1 154 ° C, lo que significa que el sensor no se verá afectado por el comportamiento del proceso.

Para obtener una medición correcta de la temperatura se debe contar una termocupla tipo K que pueda alcanzar el interior del horno, para ello su bulbo o conductor de metal deberá tener una longitud de 1,5 metros y su cable de extensión de 2,2 metros. Con respecto a la cantidad de sensores de temperaturas será la misma cantidad de actuadores, es decir que cada quemador de combustible contará con su propia termocupla, con el fin de obtener el mismo comportamiento de la temperatura en cada parte del horno.

## E. Diseño del sistema de control

### Controlador Lógico Programable (PLC)

En la propuesta se va a utilizar el PLC de la serie Modicon M241, de la marca Schneider Electric reconocido en el mercado por su rendimiento en sistemas automatizados. En cuanto al modelo del PLC se optó por el autómatas programable TM241CE40R, que cuenta con un total de 24

entradas digitales, trabaja a una tensión entre 100 a 240 V y cuenta con una capacidad de ampliación de 7 módulos de expansión.

Tabla 49. Características de PLC Modicon TM241CE40R

Ítems	Descripción
Gama de producto	Modicon M241
Tipo de producto	Autómata programable
Tensión de compatibilidad	100 -240 V
Pie de Conducto	24, entrada discreta 8 entrada rápida
Tipo de salida digital	Relé Transistor
Número de salidas discretas	4 transistor 4 salida rápida 12 relé
Número de E/S digitales	40
Frecuencia de red	50/60 Hz
Módulos de ampliación	7 módulos

Fuente: Schneider Electric 2014: página 14 [56]



Figura 76. PLC Modicon TM241CE40R

Fuente: Schneider Electric 2014: página 14 [56]

### Módulo de expansión

Para que el PLC pueda recibir y enviar señales analógicas se tendrá que instalar módulos de expansión. El sistema va a contar con un módulo de entrada para recibir las señales analógicas de la termocupla tipo K y un módulo de salida para la señal de respuesta para el motor del quemador de combustible. En relación al módulo de entrada se va utilizar el modelo TM3TI8TG de la marca Schneider Electric, compatible con el PLC y cuenta con una capacidad máxima de 8 entradas analógicas para termocuplas tipo K.

Tabla 50. Características del módulo TM3TI8TG

Ítems	Descripción
Rango del producto	Modicon TM3
Tipo de producto o componente	Módulo de entrada analógica
Compatibilidad	Modicon T241, T221, T251
Número de entradas analógicas	8 entradas
Tipo de entrada analógica	NTC, PTC, termoelemento: J,K,R,S,B,T,N
Resolución de entrada analógica	16 bits

Fuente: Schneider Electric 2018: página 51. [57]



Figura 77. Módulo de expansión TM3TI8TG

Fuente: Schneider Electric 2018: página 51. [57]

En relación al módulo de salida, se va utilizar el modelo TM3AQ4G de la marca Schneider Electric, compactible con el PLC y cuenta con una capacidad máxima de 4 salidas digitales.

Tabla 51. Características del módulo TM3AQ4G

Ítems	Descripción
Rango del producto	Modicon TM3
Tipo de producto	Módulo de entrada analógica
Compatibilidad	Modicon T241, T221, T251
Número de salidas analógicas	4 salidas
Tipo de entrada analógica	+ - 10 V, de 0 a 10 V, de 0 a 20 mA, de 4 a 20 mA
Resolución de salida analógica	12 bits

Fuente: Schneider Electric 2018: página 54. [57]



Figura 78. Módulo de expansión TM3AQ4G

Fuente: Schneider Electric 2018: página 54. [57]

La relación entre ambos será de un módulo de entrada para 2 módulos de salida hasta completar la cantidad de accesos de amplificación del PLC. Con respecto a la cantidad de elementos, se va a requerir de un total de 3 autómatas programables (PLC), 5 módulos de entrada y 10 módulos de salida para automatizar a los 40 quemadores de combustible con su respectivo sensor de temperatura,

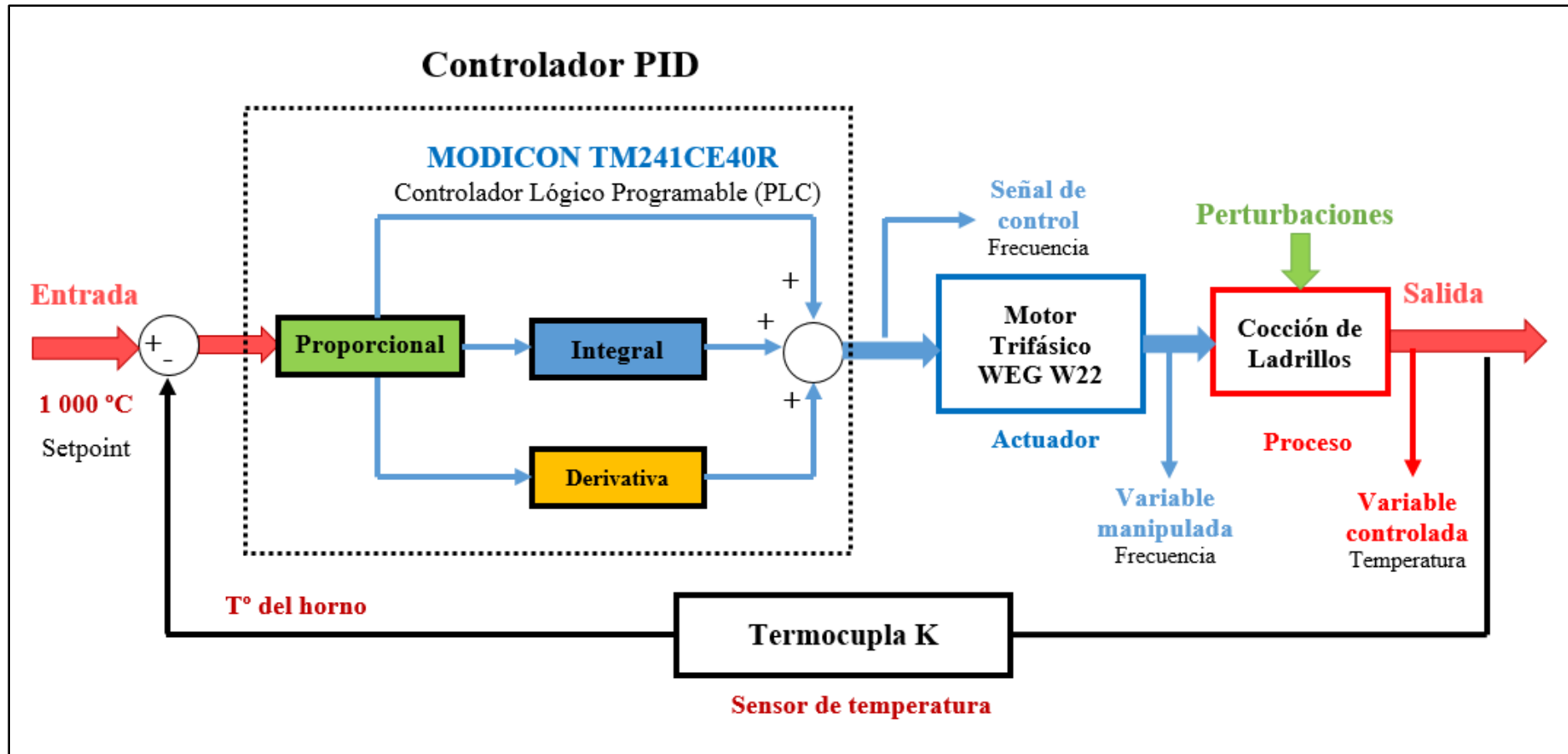


Figura 79. Gráfica de control del sistema de combustión automatizado

Fuente: Elaboración propia.

## F. Programación del PLC

Para programar el controlador lógico programable (PLC) y los elementos que van a conformar la propuesta de diseño del sistema automatizado se utilizó el software Somachine versión 4,1. La programación se realizó en lenguaje ladder y se ajustó los parámetros proporcional, integral y derivativo del controlador PID. A continuación se explicará el procedimiento para programar un quemador de combustible en Somachine según las especificaciones del sistema.

- Para empezar abrimos el programa Somachine, creamos un nuevo proyecto y asignamos el PLC a utilizar, en este caso viene a ser el Modicon TM241CE40R, luego vamos a Logic Builder.
- Seleccionamos en IO Modules, el módulo TM4AQ4/G y configuramos sus entradas a termoelemento K, de igual forma seleccionamos el módulo TM4AQ4/G y configuramos sus salidas en 0-10 V para ajustar el variador de frecuencia. Agregamos un POU
- Creamos un módulo de variable PID con el nombre de CONTROLADOR\_PID y le asignamos los parámetros de ganancia proporcional en KP, tiempo integral en TI y tiempo derivativo en TD.
- Creamos la variable SETPOINT para controlar para ajustar la temperatura de acuerdo al comportamiento del proceso.
- Creamos un módulo EN/EQ, que tendrá como entrada (EN) la variable TERMOCUPLA que es la señal enviada por el sensor de temperatura (%IW2) y como salida (EQ) la variable TEMPERATURA, que es el error en referencia de la variable SET\_POINT para ser sintonizada por el controlador PID.
- Insertamos un contacto de EMERGENCIA para el pulsador de paro general del proceso, un contacto de APAGADO para el pulsador rojo y

el contacto de MARCHA para el pulsador verde. Insertamos una bobina MOTOR que viene a ser motor del quemador del combustible (%QW2).

- Creamos un módulo REAL\_TO\_WORD, que tendrá como entrada (EN) la variable FRECUENCIA, que es la señal de respuesta del controlador PID y como salida (EQ) la variable MOTOR para modificar su velocidad.
- Creamos un módulo REAL\_TO\_WORD que va a servir como medio para de controlar el equipo y creamos la variable FRECUENCIA que es la respuesta del módulo PID hacia variable MOTOR
- Finalmente nos dirigimos al módulo de entrada del PLC y le asignamos un valor de 10 % a filtro en configuraciones, para reducir las frecuencias altas de temperatura.

Tabla 52. Leyenda de programación Ladder en SoMachine

Variable	Tipo de variable	Significado	Dirección
MARCHA	BOOL	Pulsador de marcha	%IX0.1
CONTROLADOR_PID	PID	Controlador PID	Sin dirección
TERMOCUPLA	INT	Temperatura actual	%IW2
TEMPERATURA	REAL	Señal de entrada del controlador PID	Sin dirección
FRECUENCIA	REAL	Señal de respuesta del controlador PID	Sin dirección
MOTOR	BOOL	Motor el quemador de combustible	%QW2
SET_POINT	REAL	Valor de referencia de la temperatura	Sin dirección
APAGADO	BOOL	Pulsador de paro	%IX0.2
EMERGENCIA	BOOL	Pulsador de emergencia	%IX0.3

Fuente: Elaboración propia.

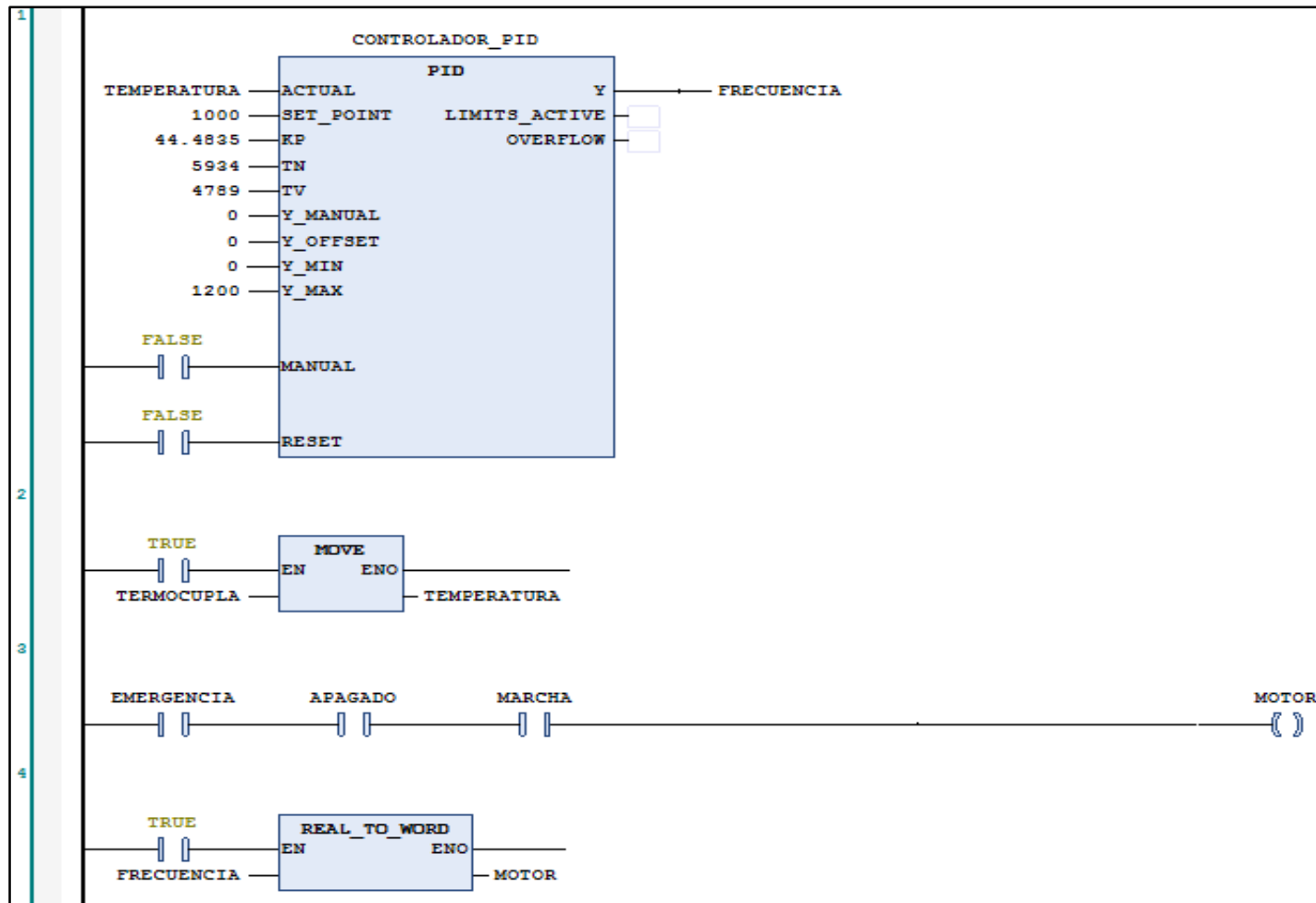


Figura 80 .Programación en lenguaje Ladder para automatizar un quemador.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2 Plan de Reducción de Riesgos

Para reducir los riesgos que se generan principalmente en el área de cocción y en otras etapas del proceso se propone un plan de reducción en base a la jerarquía de control de riesgos establecida por la ISO 45001 [58], con el objetivo de reducir la probabilidad de concebir cualquier tipo de malestar generado por los peligros presentes en el proceso, que pudiera afectar de manera perjudicial a la salud de trabajador.

- **Señales de seguridad**

En relación a la fase de control administrativo se propone la instalación de señales de seguridad con respecto a los peligros presentes del ruido y las emisiones de partículas en las áreas identificadas de la problemática. La señalización va a cumplir la función de comunicar en forma visual al trabajador sobre los equipos de protección que deberá utilizar cuando este se encuentre en actividad y a su vez indicar la manera correcta de realizar el trabajo.

Para identificar las señales de seguridad que serán implementadas en la propuesta se tomó como referencia la NTP 399.010 [59], donde se muestra el color y las formas de las señales de seguridad en relación al ruido y el material particulado, así como también los carteles de advertencia para el riesgo presente en el área de trabajo.

Las señales de seguridad que se van a instalar serán de dos tipos: señales de advertencia que tienen como referencia el color amarillo para indicar la presencia del peligro en el puesto de trabajo y las señales de obligación que tienen como referencia el color azul para indicar el uso obligatorio de los equipos de protección al personal. A continuación se proponen las señales a utilizar de acuerdo al tipo de riesgo.

### – Señales de ruido

Para el ruido se optó por la instalación de señales de advertencia que indiquen la presencia del peligro y serán instaladas en los puestos de trabajo que hayan presentado un alto nivel de presión sonora (NPS) de acuerdo al análisis de la página 83.



Figura 81 . Señal de ruido

Fuente: NTP 399.010 2004: página 56. [59]

Asimismo se instalarán señales que indiquen el uso obligatorio de protección auditiva en el puesto de trabajo.



Figura 82. Señal de uso de tapones de oído

Fuente: NTP 399.010 2004: página 66. [59]

### – Señales de emisiones de partículas

Para la emisión de partículas se optó por la instalación de señales de advertencia que indiquen la presencia de material particulado en el proceso

como la ceniza y los restos de pajilla de arroz, que serán instaladas en los puestos de trabajos en donde el operario se encuentre en contacto directo con el peligro. Además con respecto al área de cocción se va a instalar una señal de advertencia que indique que se está trabajando con material inflamable, que viene a ser el combustible y se deberá de tener cuidado para evitar un accidente de alto riesgo.



Figura 83. Señal de material inflamable

Fuente: NTP 399.010 2004: página 56. [59]



Figura 84. Señal de partículas suspendidas

Fuente: NTP 399.010 2004: página 56. [59]

Asimismo se instalarán señales que indiquen el uso obligatorio de las mascarillas y de protección ocular para el material particulado en el puesto de trabajo.



Figura 85. Señal de uso obligatorio de mascarilla

Fuente: NTP 399.010 2004: página 66. [59]



Figura 86. Señal de uso obligatorio de lentes

Fuente: NTP 399.010 2004: página 66. [59]

- **Equipos de protección personal (EPP)**

En cuanto a la última fase de la jerarquía de control se analizó cada equipo de protección personal propuesto para medir su grado de eficiencia con respecto al análisis realizado de la página 83 en las áreas identificadas de la problemática.

- **Uso de EPP para el ruido**

Como medida de solución para el ruido se propone el uso de protectores auditivos para reducir los efectos en la audición del trabajador, para ello se optó por elegir los tapones desechables debido a que son fabricados con una espuma de recuperación lenta que proporcionan una combinación de confort y protección para el usuario. El modelo seleccionado serán los tapones tipo

1 100 de la marca 3M™, que son fabricados a base de un material hipoalergénico para que el operario se pueda ver afectado al usarlos.

Tabla 53. Características de los tapones auditivo 1100

Ítem	Descripción
Tipo del producto	Tapones de oído
Marca	3M™
Forma	Cónica
Material	Poliuretano
Color del producto	Naranja
Serie del producto	Foam

Fuente: 3M™ 2014: página 10. [60]



Figura 87. Tapones auditivos 1100

Fuente: 3M™ 2014: página 10. [60]

### Nivel de atenuación del ruido (NRA)

Tabla 54. Atenuación del ruido de los tapones 1 1000

Frecuencia (Hz)	Atenuación del ruido (dB)	Desviación estándar
125	33,9	4,7
250	7,7	5,5
500	39,8	5,6
1 000	38,5	4,8
2 000	37	3,1
3 150	41,9	3,8
4 000	42,7	3,4
6 300	45,5	4
8 000	45,5	3,4
NRR	29 dB	

Fuente: 3M 2014: página 10. [60]

De acuerdo a la tabla 54 se aprecia que los tapones de oído seleccionados presentar un valor de atenuación del ruido (NRR) de 29 dB.

### Calculo de Nivel de ruido Atenuado NRA

Para medir la efectividad de los EPP seleccionados en los puestos de trabajo evaluados, se deberá determinar el nivel de ruido atenuado (NRA), el cual se calcula restando el nivel de presión sonora (NPS) menos la reducción del ruido (NRR).

$$\text{NRA} = \text{NPS} - \text{NRR}$$

Por ende aplicamos la fórmula anterior en los datos obtenidos del ruido en la tabla 24 de la página 83.

Tabla 55. Nivel de ruido atenuado

Área	Puesto de trabajo	NPS	NRR	NRA
Formado	Supervisor de formado	75.44	29	46.44
	Medición de proporciones de MP	95.6	29	66.6
	Mezclado y tamizado	94.87	29	65.87
	Amasado	91.8	29	62.8
	Moldeado y cortado	82.47	29	53.47
	Trasporte al área de secado	79.1	29	50.1
Cocción	Colocación de ladrillos en el horno	77.83	29	48.83
	Supervisor de cocción	74.1	29	45.1
	Alimentadores de combustible al horno	87.44	29	58.44

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de reducción del ruido procedemos calcular la dosis de exposición que se encuentra los operarios al utilizar equipos de protección auditivos:

Tabla 56. Dosis de exposición mejorada

Área	Puesto de trabajo	NRA	Tiempo de exposición (h)	Tiempo máximo permitido (h)	Dosis de exposición
Formado	Supervisor de formado	46.44	10	1483	0.01
	Medición de proporciones de MP	66.6	10	91	0.11
	Mezclado y tamizado	65.87	10	100	0.10
	Amasado	62.8	10	153	0.07
	Moldeado y cortado	53.47	10	559	0.02
	Trasporte al área de secado	50.1	10	893	0.01
Cocción	Colocación de ladrillos en el horno	48.83	10	1064	0.01
	Supervisor de cocción	45.1	12	2142	0.01
	Alimentadores de combustible al horno	58.44	12	337	0.04

Fuente: Elaboración propia.

En efecto con el resultado obtenido de la tabla 56 podemos afirmar que los tapones de oído 1 100 reducen la dosis de exposición hasta un valor menor a 1, que según la ACGIH [38] significa que los operarios del área de producción están expuestos al ruido.

Con respecto a la cantidad de protectores auditivos, en la propuesta se ha creído conveniente implementar únicamente a los 11 operarios que se encuentran expuestos al ruido en su puesto de trabajo, lo que significa que se va a requerir de 22 tapones de oídos. Sin embargo para tener un mejor control del riesgo se propone renovar el equipo de protección cada dos meses de uso, teniendo una cantidad total de 132 unidades al año.

#### – Uso de EPP para emisiones de partículas

Para la selección de los equipos de protección para las emisiones de partículas se tomó como criterio el tipo de riesgo, el cual es un riesgo mecánico que puede causar lesiones oculares y generar problemas respiratorios debido a la presencia de ceniza y cascarilla de arroz en el

ambiente de trabajo. Por ello se optó por utilizar en la propuesta el uso de mascarillas y gafas protectoras como equipos de protección.

En relación al tipo de mascarilla se consideró como la más adecuada para el proceso al respirador desechable 3M- 8210V que cuenta con un filtro de microfibra diseñado para que el usuario pueda respirar fácilmente y retener las partículas no deseadas.

Tabla 57. Características del respirador 3M-8210V

Ítem	Descripción
Marca	3M
Composición	Fibras de polipropileno Bandas de elastómero
Eficiencia de respiración	95%
Concentraciones	< 10 T.L.V
Referencia	Norma 42 CFR 84 NIOSH Norma NTC 2561
Color	Blanco , Amarillo
Mantenimiento	No requiere

Fuente: 3M™ 2013: página 3. [61]



Figura 88. Respirador desechable 3M-8210V

Fuente: 3M™ 2013: página 3. [61]

En relación a las gafas protectora se optó por utilizar el modelo HoneyWell XC 101, que están diseñados para brindar una protección ocular al usuario ante un posible accidente mecánico. Además son resistentes y cuentan con una buena visibilidad para que el operario pueda realizar sus respectivas funciones.

Tabla 58. Características de los lentes 12019 QX™ 2000

Ítem	Descripción
Marca	QX™
Lente	Trasparente
Tipo de producto	Lentes de seguridad
Descripción	Plantillas ajustables, puente nasal suave, lentes policarbonato envolventes
Revestimiento	Antirayado-antiniebla
Protección UV	99,9 %
Propiedades	Visibilidad buena, Reconocimiento de colores
Actividades	Industrias

Fuente: 3M™ 2013: página 8. [62]



Figura 89. Lentes 12019 QX™ 2000

Fuente: 3M™ 2013: página 8. [62]

Con respecto a la cantidad de los equipos de protección, se ha creído conveniente implementar únicamente a los 14 operarios que se encuentran expuestos a las emisiones de partículas en sus puestos de trabajo. Sin embargo para tener un mejor control del riesgo se propone renovar las mascarillas cada 2 meses y los lentes protectores cada 6 meses de uso con el fin de garantizar la seguridad del trabajador. Teniendo un total de 112 mascarillas y 28 lentes de protección al año

### 3.3.3 Plan de Capacitación al personal

#### – Capacitación en sistemas automatizados

Para lograr la efectividad de la propuesta de diseño automatizado, el supervisor del área y los operarios a su cargo deberán estar capacitados para el control y funcionamiento adecuado de las máquinas. Por ende se plantea una capacitación al personal exclusivo del área de cocción sobre temas relacionados a la automatización industrial, maquinas eléctricas, sistemas de control y funcionamiento de los elementos que conformarán la propuesta.

A continuación se muestra un programa de capacitación conformado por 4 secciones en relación a los temas mencionados anteriormente y estará dirigido a los operarios del área de cocción, el programa será dictado a través de un profesional de la empresa de capacitaciones Control Más SAC.

Tabla 59. Plan de capacitación al personal en sistemas automatizados

Sección	Tema	Tipo de Capacitación	Duración (horas)	Responsable
1	Automatización Industrial	Teórica/práctica	8	Control Más SAC
2	Maquinas eléctricas	Teórica/práctica	8	Control Más SAC
3	Sistemas de Control	Teórica/práctica	8	Control Más SAC
4	Control de PL	Teórica/práctica	8	Control Más SAC

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente teniendo el número de secciones y la duración de cada una, se procedió a realizar un cronograma de capacitación.

Tabla 60. Cronograma de capacitación sobre sistemas automatizados

Sección	Tema	Enero		Febrero	
		Semana 1	Semana 3	Semana 1	Semana 3
1	Automatización Industrial				
2	Maquinas eléctricas				
3	Sistemas de Control				
4	Control de PLC				

Fuente: Elaboración propia.

El costo del plan de capacitación por operario será de S/ 225, lo que significa que si queremos capacitar al todo el personal del área de cocción se tendrá un costo total S/ 3 150.

Además tener en cuenta la importancia de capacitar al personal, ya que si queremos lograr automatizar el proceso será responsabilidad de los operarios del área controlar y supervisar cada elemento que conforma el sistema de control, asegurando su correcto funcionamiento.

#### – Capacitación en procesos térmicos

Para lograr alcanzar la eficiencia deseada del horno del 95% en la etapa de cocción, es necesario que el personal a cargo conozca el comportamiento térmico y las variables que influyen en el proceso. Por tal motivo se propone el desarrollo de un curso dirigido únicamente a los supervisores del área de cocción sobre el tema de hornos industriales.

A continuación se muestra el desarrollo de un curso de inspección y mantenimiento de hornos que está conformado 2 módulos y será dictado de manera virtual por un instructor de la empresa CTI S. R. L.

Tabla 61. Plan de capacitación al personal en procesos térmicos

Módulo	Temas	Tipo de Capacitación	Duración (horas)	Responsable
1	Introducción a hornos industriales, quemadores, refractarios, ladrillos	Teórica	8	CTI S. R. L.
2	Técnicas de inspección pruebas de humos UT,FTIS programas de paros	Teórica	8	CTI S. R. L.

Fuente: Elaboración propia.

El costo del curso será de S/ 120, lo que significa que si queremos capacitar a los 2 supervisores del proceso se tendrá un costo total de S/ 240.

#### – Capacitación en seguridad y salud en el trabajo

Con el fin de asegurar la efectividad del plan de control de riesgos y asegurar la seguridad del trabajador, se propone un plan de capacitación sobre temas relacionados a la seguridad y salud en el trabajo, ya que en el análisis del personal de la página 91 se demostró la falta de conocimiento sobre los riesgos y las medidas de seguridad correspondiente, lo que podría afectar tanto la salud del trabajador como la productividad de la empresa. Por tal motivo se propone un plan de capacitación dirigido al personal del área de producción sobre los temas mencionados anteriormente y será dirigido por un profesional de la asociación peruana de seguridad (APPSOM).

Tabla 62. Plan de capacitación en seguridad y salud en el trabajo

Sección	Tema	Tipo de Capacitación	Duración (horas)	Responsable
1	Identificación de peligros y evaluación de riesgos	Teórica	8	APPSOM
2	Ergonomía	Teórica	8	APPSOM
3	Seguridad basada en el comportamiento	Teórica	8	APPSOM
4	Equipos de protección personal (EPPS)	Teórica/Práctico	8	APPSOM

Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente teniendo conocimiento que las empresas deben de realizar 4 capacitaciones al año sobre temas relacionados a la seguridad, se estableció el siguiente cronograma de capacitación.

Tabla 63. Cronograma de capacitación en seguridad y salud en el trabajo

Sección	Tema	Año			
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
1	Identificación de peligros y evaluación de riesgos				
2	Ergonomía				
3	Seguridad basada en el comportamiento				
4	Equipos de protección personal (EPPS)				

Fuente: Elaboración propia.

El costo por sección tiene un valor de S/ 80 por persona, lo que significa que para capacitar a los 40 operarios de producción se tendrá un costo de S/ 3 200, asimismo si queremos realizar 4 capacitaciones al año se tendrá un costo total de S/ 12 800. Además tener en cuenta la importancia de capacitar al personal en temas de seguridad industrial, ya que si garantizamos el bienestar del trabajador, se podrá obtener un mayor beneficio de este y a su vez aumentar la productividad de la empresa.

### 3.3.4 Nuevos indicadores del proceso

Con las propuestas de mejora, se logrará reducir el porcentaje de mermas y a su vez aumentar la productividad de la empresa, como también de mejorar las condiciones laborales de los trabajadores del área de producción.

Como principal indicador de mejora tenemos que la eficiencia del horno pasó a aumentar de un 83,2% a su valor estándar del 95 % debido a la propuesta de diseño del sistema automatizado, lo que representa una reducción significativa de las mermas generadas en la etapa de cocción en un 11,8%. A partir de este dato se calculó los siguientes indicadores.

## – Producción

Tabla 64. Producción de ladrillos con sistema automatizado

Año	Mes	Producción total de ladrillos (unid)	Ladrillos conformes (unid)	Mermas (unid)	Porcentaje mermas
2018	Ene	147 0810	1 293 756	177 054	12 %
	Feb	141 2590	1 224 946	187 644	13 %
	Mar	152 4560	1 321 558	203 002	13 %
	Abr	110 2950	978 298	124 652	11 %
	May	934 720	824 497	110 223	12 %
	Jun	1 093 090	978 045	115 045	11 %
	Jul	1 055 310	915 547	139 763	13 %
	Ago	1 301 821	1 111 605	190 216	15 %
	Sep	1 366 260	1 222 989	143 271	10 %
	Oct	103 5070	903 688	131 382	13 %
2019	Mar	712 090	625 677	86 413	12 %
	Abr	628 182	568 575	59 607	9 %
	May	701 093	589 929	111 164	16 %
	Jun	652 728	583 122	69 606	11 %
	Jul	802 722	683 272	119 450	15 %
	Ago	987 272	874 548	112 724	11 %
	Sep	1 006 818	874 005	132 813	13 %
	Oct	1 082 728	933 065	149 663	14 %
	Nov	1 152 722	1 009 371	143 351	12 %
	Dic	1 121 820	1 000 775	121 045	11 %
Total		21 145 356	18 517 266	2 628 090	12.4 %

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

En la tabla 64 se aprecia que la producción de ladrillos conformes aumentó a 18 517 366 unidades y la cantidad de mermas disminuyó a 2 628 090 unidades lo que representa una reducción significativa en el porcentaje de mermas de un 12,4 %, lo que significa que el 87,6 % de los ladrillos que produce en el proceso van directamente al cliente, generando un mayor beneficio para la empresa.

– **Productividad de materia prima**

Este indicador no se vio afectado debido a que la producción total siguió siendo la misma, es decir 47 611 toneladas de material para producir 21 145 356 ladrillos pandereta:

$$\text{Productividad de MP} = \frac{21\ 145\ 356 \text{ ladrillos}}{47\ 661 \text{ ton MP}}$$

$$\text{Productividad de MP} = 443,66 \text{ ladrillos/ton MP}$$

Por lo tanto la relación entre las unidades producidas por tonelada de materia prima que ingresa al proceso seguirá siendo de 443,66 ladrillos pandereta.

– **Productividad de mano de obra**

Asimismo este indicador tampoco se vio afectado, debido a que en la propuesta de diseño automatizado se optó por trabajar con la misma cantidad de operarios.

$$\text{Productividad de MO} = \frac{21\ 145\ 356 \text{ ladrillos/año}}{420 \text{ h/día} \times 24 \text{ días/mes} \times 20 \text{ mes/año}}$$

$$\text{Productividad de mano de obra} = 104,89 \frac{\text{ladrillos}}{\text{operario. h}}$$

Por lo tanto la relación entre las unidades producidas de ladrillos pandereta y los operarios que participan en dicho proceso seguirá siendo de 104,89 ladrillos/operario hora.

No obstante gracias a la propuesta de un plan de capacitación al personal se logró mejorar el grado de conocimiento de los operarios que conforman el área de producción con respecto a temas relacionados sobre los riesgos y medidas de seguridad en el ambiente de trabajo. Además se logró mejorar el desempeño

de los operarios del área de formado y cocción a través de cursos informativos sobre automatización y hornos industriales.

#### – Productividad de energía

Para el cálculo de este indicador es necesario conocer el consumo de energía eléctrica de los equipos que conforman la propuesta de mejora y que han sido implementados en el proceso, los cuales son: el ventilador centrífugo y los quemadores de combustible. Como resultados se obtienen un consumo de energía eléctrica de 247,2 kW/h.

Tabla 65. Nuevo consumo de energía eléctrica

Maquina	Cantidad	Intensidad (A)	Potencia (kW/h)
Etapa de Formado			
Faja de entrada	1	1,9	1,27
Molino 1	1	25	16,77
Faja 1	1	1,8	1,21
Zaranda	1	36	24,14
Faja 2	1	3,8	2,55
Molino 2	1	2,68	1,8
Faja 4	1	3,17	2,13
Faja 5	1	4	2,68
Molino 3	1	22	14,75
Faja 4	1	3,8	2,55
Amasadora	1	15	10,06
Faja 5	1	3,9	2,62
laminadora 1	1	13,8	9,25
Laminadora 2	1	14,5	9,72
Faja 6	1	1,05	0,7
Extrusora	1	16,6	11,13
Bomba de aceite	1	1,65	1,11
Faja 7	1	1,14	0,76
Cortadora	1	1,7	1,14
Faja 8	1	0,98	0,66
Etapa de Cocción			
Ventilador	1	60	40,24
Quemador	10	22,3	14,96
Propuesta de automatización			
Ventilador Centrifugo	1	28,5	15
Quemador automatizado	40	2,8	60
Total	31	255,12	247,2

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Por consiguiente calculamos la productividad de energía considerando el mismo tiempo de funcionamiento de los equipos.

$$\text{Productividad de energía} = \frac{21\,145\,356 \text{ ladrillos}}{247,2 \frac{\text{kW}}{\text{h}} \times \frac{10 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{24 \text{ día}}{\text{mes}} \times 20 \text{ meses}}$$

$$\text{Productividad de energía} = 17,82 \text{ ladrillos /kW h}$$

Como resultado obtenemos que la relación entre las unidades producidas y la energía suministrada al proceso será de 17,82 ladrillos/kW h.

#### – **Productividad de insumos agua**

Este indicador de productividad del insumo agua no se vio afectado, puesto que en la etapa de amasado seguirá siendo necesario suministrar un 20 % de agua para poder amasar la mezcla y darle consistencia al ladrillo. Alterar ese porcentaje podría afectar a las condiciones de diseño del producto.

$$\text{Productividad de insumo agua} = \frac{1 \text{ tonelada} \times \frac{1000 \text{ ladrillos}}{2,2 \text{ toneladas}}}{200 \text{ litros}}$$

$$\text{Productividad de insumo agua} = 2,27 \text{ ladrillos/litro}$$

Asimismo la relación entre las unidades producidas de ladrillos pandereta y la cantidad de agua utilizada será de 2,27 ladrillos/litro.

Por lo tanto la relación entre las unidades producidas de ladrillos pandereta y cantidad de agua utilizada en el proceso seguirá siendo de 2,27 ladrillos/litro.

– **Productividad del combustible**

Para el cálculo de este indicador es necesario conocer el nuevo consumo de combustible establecido en la propuesta de mejora, que corresponde a 725 kg de cascarilla de arroz y 182 kg de cascarilla de aserrín por hora, teniendo un total de 909 kg de combustible.

A partir de ese dato podemos calcular la productividad en relación a la capacidad máxima del horno de 41 paquetes, equivalente a un total de 114 800 ladrillos pandereta en un tiempo de cocción de 24 horas.

$$\text{Productividad de energía} = \frac{114\,800 \text{ ladrillos}}{909 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 24 \text{ h}}$$

$$\text{Productividad de energía} = 5,26 \text{ ladrillos/kg}$$

Como resultado se obtiene que la relación entre las unidades producidas de ladrillos pandereta y la cantidad de combustible empleado en la cocción será de 5,26 ladrillo/kg.

– **Eficiencia física**

Al mismo tiempo que se logró reducir las mermas generadas en el proceso, la producción de ladrillos conformes se vio afectada con un incremento significativo de un 11,8 %. Por ende para calcular el indicador de eficiencia física vamos a utilizar como salida la producción de venta obtenida de 18 517 266 ladrillos entre las entrada que viene a ser la materia prima utilizada al inicio del proceso. El resultado vendrá a ser grado de aprovechamiento por cada tonelada de materia prima que se logró obtener a través de la propuesta.

$$\text{Eficiencia} = \frac{18\,517\,266 \text{ ladrillos} \times 2,2 \frac{\text{kg}}{\text{ladrillo}}}{47\,661 \text{ toneladas}}$$

$$\text{Eficiencia} = 0,8453 \cong 84,53 \%$$

Con la propuesta se logró obtener una eficiencia física de un 84,53 %, que representa mayores ingresos económicos para la empresa.

Para validar este resultado se hace una comparación entre los rangos establecidos para la eficiencia real del proceso (ERP) de la tabla 19, donde señala que una eficiencia de un 85 % viene a ser el nivel aceptable para un proceso. Si bien no se ha superado ese indicador, el resultado que se obtuvo en la propuesta es un valor muy próximo, lo que indica que se ha mejorado de manera significativa la competitividad de la empresa reduciendo las pérdidas económicas.

#### – Eficiencia económica

Para calcular este indicador se tomó como referencia la unidad de venta de la empresa de un millar de ladrillos pandereta que según la eficiencia obtenida se tendrá un ingreso de 2 ,603 toneladas y una salida de 2,2 toneladas de materia prima. Los cálculos para hallar los nuevos costos de producción de un millar de ladrillos se pueden observar en el anexo 8.

Tabla 66. Nuevos costos de producción

<b>Recursos</b>	<b>Costos (soles)</b>
Materia prima	57,24
Mano de obra	67,67
Energía	13,18
Agua	3,78
Combustible	89,96
<b>Total Costos</b>	<b>231,83</b>

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I.R.L.

Por consiguiente calculamos la eficiencia económica en relación al precio del millar de ladrillos y sus costos de producción, considerando que el precio de ladrillo de S/ 350 por millar no se ha visto afectado por la propuesta.

$$\text{Eficiencia económica} = \frac{350 \text{ soles}}{231,83 \text{ soles}}$$

$$\text{Eficiencia económica} = 1,33$$

El resultado indica que por cada sol invertido se obtendrá una ganancia de 1,51 soles de utilidad, lo que representa un aumento significativo de un 11,92 % en la eficiencia económica.

### 3.3.5 Cuadro Comparativo del proceso

Tabla 67. Cuadro comparativo de indicadores del proceso

Indicadores del proceso		Unidad	Actual	Propuesta de mejora	Variación
Producción Total		ladrillos/año	21 145 356	21 145 356	-
Producción de ladrillos conformes		ladrillos/año	16 022 114	18 517 266	16%
Mermas		ladrillos/año	5 123 242	2 628 090	51%
% mermas		%	24	12,4	11.6 %
Tiempo de ciclo		h/ton	0,54	0,54	-
Productividad	Materia prima	ladrillos / ton MP	443,66	443,66	-
	Mano de obra	ladrillos / h operario	104,89	104,89	-
	Energía	ladrillos / kW h	31,98	17,82	44,28 %
	Insumos	Agua	ladrillos / litro	2,27	2,27
combustible		ladrillos / kg	6,38	5,26	18%
Eficiencia	Física	%	73,84	84,56	15%
	Económica	%	1,33	1,51	11,92 %

Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I.R.L.

### 3.4 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

#### 3.4.1 Inversión

Para determinar el costo de inversión del proyecto se realizó un análisis a detalle de la cantidad y precio respectivo de cada elemento que va a conformar el diseño del sistema automatizado. Los cuales fueron cotizados en diferentes empresas del rubro de distribución de equipos eléctricos, sistemas automatizados, equipos de protección personal y capacitación profesional con el fin de obtener un costo total de la propuesta.

Tabla 68. Costo de inversión del sistema de ventilación de aire

Ítem	Cantidad	Precio unidad (soles)	Precio total (soles)	Proveedor
Ventilador centrifugo CMP-2050-4T-20	1	11 178	11 178	SODECA
Ventilador centrifugo CMP-2050-4T-20 (repuesto)	1	11 178	11 178	SODECA
Llave termomagnética EZ9F56232	1	25	25	SODIMAC
Interruptor diferencial A9R35240	1	100	100	SODIMAC
Variador de frecuencia ATV212HD15N4	1	4 928	4 928	Facogem Industrial S. A.
Variador de frecuencia ATV212HD15N4 (repuesto)	1	4 928	4 928	Facogem Industrial S. A.
Contactador auxiliar CAD32M7	1	90	90	EECOL Electric
Pulsador verde XB4BW33M5	1	116	116	SyZ COMINSA
Pulsador rojo XB4BW34M5	1	116	116	SyZ COMINSA
Cableado eléctrico TW 80 de 6 mm <sup>2</sup>	10	8	75	SODIMAC
Instalación eléctrica	1	980	980	Siel Electric S. R. L.
Instalación del ventilador	1	2 200	2 200	La empresa
Total de inversión	21		35 914	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69. Costo de inversión del sistema de combustión automatizado

Ítem	Cantidad	Precio unidad (soles)	Precio total (soles)	Proveedor
Quemador de Combustible	40	3 850	154 000	Compañía Peruana de Tecnoceramica
Quemador de Combustible (repuesto)	5	3 850	19 250	Compañía Peruana de Tecnoceramica
Motor W22 IE2	40	780	31 200	EDIPESA
Motor W22 IE2	5	780	3 900	EDIPESA
Llave termomagnética EZ9F56210	40	24,9	996	SODIMAC
Interruptor diferencial A9R10216	40	49,9	1 996	SODIMAC
Variador de frecuencia ATV71HU15N4	40	3 612,3	144 490	WIA Automation
Variador de frecuencia ATV71HU15N4 (repuesto)	5	3 612,3	18 061	WIA Automation
El contactor auxiliar CAD32M7	40	90	3 600	EECOL electric
Pulsador verde XB4BW33M5	40	116,2	4 648	Siel Electric S. R. L.
Pulsador rojo XB4BW34M5	40	116,2	4 648	Siel Electric S. R. L.
Pulsador de emergencia XB4BS8445	1	140	140	Siel Electric S. R. L.
Termocupla tipo K	40	880	35 200	EuroControl
Termocupla tipo K (repuesto)	10	880	8 800	EuroControl
PLC TM241CE40R	3	1 960	5 880	RS S. A. C.
Módulo de entrada TM3TI8TG	5	910	4 550	SyZ COMINSA
Módulo de salida TM4AQ4G	10	520	5 200	RS S. A. C.
Cableado eléctrico TW 80 de 1,5 mm <sup>2</sup>	200	3,8	760	SODIMAC
Software SoMachine VA.1 DVD	1	20	20	Schneider Electric
Instalación eléctrica	40	850	34 000	Siel Electric S. R. L.
Total de inversión	600		481 339	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70. Costo de inversión del plan de control de riesgos

Ítem	Cantidad	Precio unidad (soles)	Precio total (soles)	Proveedor
Tapones auditivos Bale 3M	66	3,9	257,4	SODIMAC
Lentes 12019 QX <sup>TM</sup> 2000	28	40	1 120	SOLMINSA S. A. C.
Mascarilla desechable 3M-8210V	86	6.5	559	SOLMINSA S. A. C.
Señales de seguridad	6	45	270	CCIMA
Total de inversión	186		2 206,4	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71. Costo de inversión del plan de capacitación al personal

Capacitación	Cantidad	Precio unidad (soles)	Precio total (soles)	Proveedor
Automatización industrial	14	225	3 150	Control Más S. A. C.
Procesos térmicos	2	120	240	CTI S. R. L.
Seguridad y salud en el trabajo	40	80	12 800	APPSOM
Total de inversión	56		16 190	

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestra en forma resumida los costos de cada propuesta de mejora con el fin de tener un costo total de la inversión a realizar.

Tabla 72. Costo de inversión total de la propuesta

Propuesta de mejora	Costo fijo (soles)	Costo anual (soles)
Diseño del sistema de ventilación de aire	35 914	
Diseño de un sistema automatizado	481 339	
Plan de reducción de riesgos	270	1 936,4
Plan de capacitación al personal	3 390	12 800
Total de inversión	520 913	147 36

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2 Beneficio

Con el fin de demostrar que la propuesta de mejora logrará su objetivo principal de aumentar la productividad de la empresa Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L se deberá realizar un análisis costo beneficio para comprobar si el diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción es conveniente para la empresa desde un punto de vista económico.

Para determinar el beneficio de la propuesta se procedió a realizar un pronóstico de la demanda del ladrillo pandereta para un periodo de cinco años, para ello se aplicó un análisis de regresión lineal utilizando el método de mínimos cuadrado tomando como referencia las ventas de ladrillos en el año 2019.

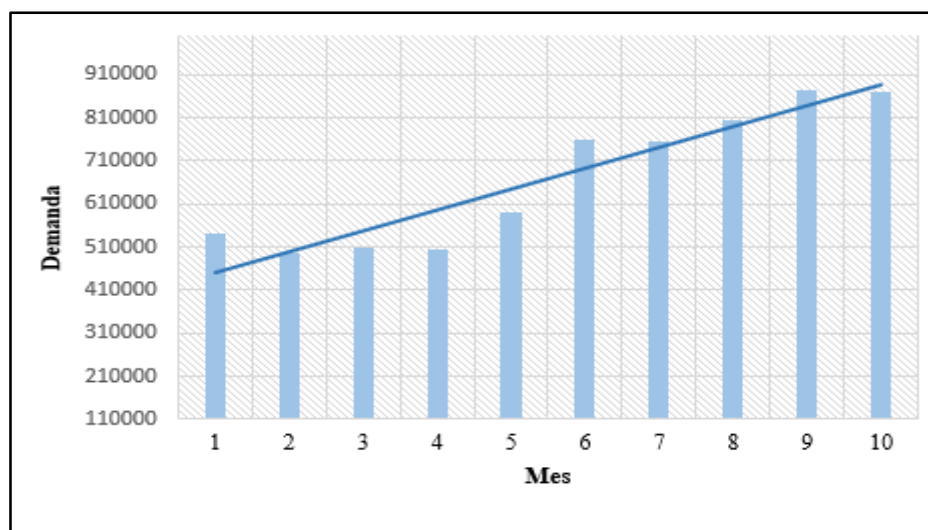


Figura 90. Tendencia de la demanda

Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de la recta y coeficiente de correlación:

$$y = 311\,569 + 17\,060x$$

$$r = 0,9964$$

En efecto se obtuvo el comportamiento de la demanda de ladrillos en el tiempo con un coeficiente de correlación de 99,64 % indicando que la relación entre ambas variables es casi perfecta. Sin embargo para garantizar que la proyección es válida se deben cumplir con los supuestos del método de regresión lineal. Para ello se utilizó la herramienta de simulación de riesgos del programa Microsoft Excel para analizar los datos en relación a los supuestos.

Tabla 73. Análisis de los supuestos del método de regresión lineal

Supuestos	Resultado		Interpretación
<b>Heteroscedasticidad</b>	Prueba W (P-Value)	0,5427	La variable dependiente presente una distribución con igual varianza con respecto a los valores de la variable independiente.
	Prueba de hipótesis	Homoscedasticidad	
	Aproximación al resultado	Sin problemas	
<b>Valores atípicos</b>	Límite min	361 680	En el análisis no se identificó valores atípicos que pudieran afectar la línea ajustada y crear altos errores de estimación.
	Límite máx	977 971	
	N° de valores atípicos	-	
<b>No linealidad</b>	P-Value	0,003	Existe una relación no lineal entre las variables, lo que asegura la estimación del modelo lineal
	Prueba de hipótesis	No lineal	
<b>Esfericidad y normalidad</b>	Estadístico - D	0,0980	El estadístico- D es menor a los valores críticos en todos los niveles de significancia, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se verifica que los errores estén distribuidos normalmente
	D Crítico a 1 %	0,2390	
	D Crítico a 5 %	0,2580	
	D Crítico a 10 %	0,2940	

Fuente: Elaboración propia.

En base al análisis realizado anteriormente se pudo verificar que el modelo de regresión lineal cumple con todas las condiciones establecidas de los supuestos del método. Por consiguiente se procedió a determinar la proyección de la demanda.

Tabla 74. Proyección de la demanda

Año	Demanda proyectada (unidades)
2020	7 116 673
2021	9 573 291
2022	12 029 910
2023	14 486 529
2024	16 943 148

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se realizó un análisis comparativo para medir el beneficio que podría generar en relación a la producción de ladrillos pandereta si se implementará la propuesta de diseño automatizado en el proceso.

Tabla 75. Producción de ladrillos con sistema automatizado

<b>Año</b>	<b>Producción de ladrillos (unidad)</b>	<b>Producción de ladrillos con sistema automatizado (unidades )</b>	<b>Incremento (unidades)</b>	<b>Ingreso (soles)</b>
2020	7 116 673	8 202 902	1 086 229	380 180
2021	9 573 291	11 034 478	1 461 187	511 415
2022	12 029 910	13 866 054	1 836 144	642 650
2023	14 486 529	16 697 631	2 211 102	773 886
2024	16 943 148	19 529 207	2 586 059	905 121
<b>Total</b>	<b>60 149 551</b>	<b>69 330 272</b>	<b>9 180 721</b>	<b>3 213 252</b>

Fuente: Elaboración propia.

En efecto al aumentar la productividad del proceso se notará un incremento de 9 180 721 de unidades en la producción de ladrillos que podría representar un ingreso S/ 3 213 258 para la empresa en un periodo de 5 años.

Tabla 76. Reducción de mermas con sistema automatizado

<b>Año</b>	<b>Mermas 24 % (unidades)</b>	<b>Mermas 12,4 % (unidades)</b>	<b>Reducción mermas (unidades)</b>
2020	2 247 370	1 161 141	1 086 229
2021	3 023 145	1 561 958	1 461 187
2022	3 798 919	1 962 775	1 836 144
2023	45 746 93	2 363 592	2 211 102
2024	5 350 468	2 764 408	2 586 059
<b>Total</b>	<b>18 994 595</b>	<b>9 813 874</b>	<b>9 180 721</b>

Fuente: Elaboración propia.

En efecto si se implementara la propuesta del diseño automatizado se lograría reducir las mermas de ladrillos pandereta en 9 180 721 unidades de ladrillos para un periodo de 5 años. Teniendo conocimiento de los costos de la inversión y la proyección de la demanda de la tabla 74,

Para calcular el flujo de caja se ha considerado una depreciación de las máquinas de un 10 % y un impuesto a la renta de 29,5 % establecidos por la SUNAT. En relación a la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) del proyecto se tomó

como referencia a Baca [63] donde se indica la fórmula para hallar la tasa de rendimiento.

$$\text{TMAR} = i + f + if$$

En donde el TMAR es igual a la suma más el producto del premio al riesgo (i) y el índice de inflación nacional (f). Para el valor del premio al riesgo (i) se ha considerado un nivel de riesgo medio de la propuesta equivalente a un 15% mientras que para el valor del índice de inflación (f) se tomó como referencia la media de la inflación anual de los cinco años previos al proyecto obtenidos a través del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP). A continuación se presenta el procedimiento realizado.

Tabla 77. Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

Número	Año	Inflación acumulada anual (%)
1	2015	4,40 %
2	2016	3,23 %
3	2017	1,36 %
4	2018	2,19 %
5	2019	1,90 %
f = Inflación media anual		2,62 %
i = Premio al riesgo		15,00 %
TMAR =		18,01 %

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se obtuvo una tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) o costo de capital de un 18,01% que viene a ser el beneficio económico mínimo que se espera obtener de la propuesta.

## 3.4.3 Flujo de caja

Tabla 78. Flujo de caja de la propuesta

<b>FLUJO DE CAJA</b>						
<b>Beneficios</b>	<b>Año</b>					
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>Demanda</b>		7 116 673	9 57 3291	12 029 910	14 486 529	16 943 148
<b>INGRESOS POR VENTAS</b>		S/ 2 490 836	S/ 33 50 652	S/ 4 210 469	S/ 5 070 285	S/ 5 930 102
<b>INVERSION</b>						
Capacitación al personal	S/ 3 390	S/ 12 800	S/ 12 800	S/ 12 800	S/ 12 800	S/ 12 800
Costos de los equipos	S/ 481 053					
Costo de instalación	S/ 36 200					
Equipos de protección personal	S/ 270	S/ 1 936	S/ 1 936	S/ 1 936	S/ 1 936	S/ 1 936
Total inversión	S/ 520 913					
Imprevistos (5%)	S/ 26 046					
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>	S/ 546 959	S/ 2 476 099	S/ 3 335 915	S/ 4 195 732	S/ 5 055 549	S/ 5 915 365
<b>EGRESOS</b>						
Costo de materia prima		S/ 407 387	S/ 548 013	S/ 688 640	S/ 829 267	S/ 969 894
Costo de mano de obra directa		S/ 481 728	S/ 648 016	S/ 814 305	S/ 980 593	S/ 1 146 882
Costo de insumos		S/ 760 986	S/ 1 023 672	S/ 1 286 358	S/ 1 549 045	S/ 1 811 731
Depreciación (10%)		S/ 48 105	S/ 48 105	S/ 48 105	S/ 48 105	S/ 48 105
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>		S/ 1 698 206	S/ 2 267 807	S/ 2 837 408	S/ 3 407 010	S/ 3 976 611
<b>UTILIDAD BRUTA</b>		S/ 777 894	S/ 1 068 109	S/ 1 358 324	S/ 1 648 539	S/ 1 938 754
Impuestos a la renta (28%)		S/ 229 479	S/ 315 092	S/ 400 706	S/ 486 319	S/ 571 932
<b>UTILIDAD (después de impuestos)</b>		S/ 548 415	S/ 753 017	S/ 957 618	S/ 1 162 220	S/ 1 366 822
Depreciación (10%)		S/ 48 105	S/ 48 105	S/ 48 105	S/ 48 105	S/ 48 105
<b>UTILIDAD NETA</b>	S/ - 546 959	S/ 596 520	S/ 801 122	S/ 1 005 724	S/ 1 210 325	S/ 1 414 927
<b>UTILIDAD ACUMULADA</b>	S/ - 546 959	S/ 49 562	S/ 850 684	S/ 1 856 407	S/ 3 066 732	S/ 4 481 659
<b>Valor actual neto (VAN)</b>	S/ 2 388 138					
<b>Tasa de interés de retorno (TIR)</b>	132,52 %					
<b>Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)</b>	18,01 %					
<b>Beneficio/costo</b>	1,48					

Fuente: Elaboración propia.

Como resultado se obtiene un valor actual neto de S/2 388 138 que será la utilidad obtenida por la empresa en un periodo de 5 años, además una tasa interna de retorno del 132,52 % en comparación al 18,01 % establecido y un beneficio de 1,48 soles por cada sol invertido en la propuesta. Esto representa un impacto económico significativo para la empresa y valida la rentabilidad de un diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción,

Para determinar el periodo de recuperación de la inversión se empleó el método de payback descontado, que sirve para evaluar el tiempo de recuperación del desembolso inicial hasta que los rendimientos acumulados se vuelven iguales a la inversión teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Para ello se calculó el flujo de caja descontado en relación al TMAR o costo de capital de la propuesta.

Tabla 79. Periodo de recuperación de la inversión

Año	0	1	2	3	4	5
Flujo de caja	S/ -546 959	S/ 596 520	S/ 801 122	S/ 1 005 724	S/ 1 210 325	S/ 1 414 927
F/C descontado	S/ -546 959	S/ 505 526	S/ 575 353	S/ 612 114	S/ 624 272	S/ 618 478
F/C descontado acumulado	S/ -546 959	S/ -41 433	S/ 533 920	S/ 1 146 035	S/ 1 770 307	S/ 2 388 785
Payback descontado	1,08 años					

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de recuperación se calculó a través de la inversión total entre los flujos de caja descontado acumulado teniendo como resultado 1,08 años, lo que significa que la empresa tendrá un plazo de 395 días para recuperar su inversión.

### 3.5 EVALUACIÓN DEL IMPACTO DE LA PROPUESTA

A pesar que el diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción tiene un impacto económico positivo para la empresa se deberá considerar el efecto que genera en su entorno, por ende esta parte tendrá como objetivo evaluar el impacto ambiental y social de la propuesta.

#### – **Impacto ambiental**

En relación al medio ambiente la propuesta tuvo un efecto positivo en relación ya que en el diseño del sistema automatizado se realizó un análisis comparativo en la tabla 30 de la página 104 sobre los diferentes tipos de combustibles que se utilizan en la industria ladrillera, teniendo como uno de su criterio de selección el impacto que pueda producir al medio ambiente.

En efecto se optó por utilizar la cascarilla de arroz que viene a ser el tipo de combustible con menor impacto ambiental que produce una menor cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) en relación a otros. Adema esta decisión fue respaldada en ITDG [45] donde señala el beneficio que produce al medio ambiente usar la cascarilla de arroz como fuente de energía.

#### – **Impacto social**

En relación a lo social, se tuvo una contribución positiva a la seguridad y salud de los trabajadores, debido a que en la propuesta de un plan de reducción de riesgo se logró reducir la presencia del ruido y las emisiones de partículas en los puestos de trabajos afectados hasta alcanzar los valores mínimos de peligro mediante el uso de equipos de protección personal adecuados para el proceso.

Asimismo para asegurar la efectividad de la propuesta en la página 167 se propone un plan de capacitación sobre temas relacionados a la seguridad y salud en trabajo, con la finalidad de transmitir conocimientos teóricos y prácticos para prevenir cualquier tipo de accidente que pueda poner en riesgo la salud integra de los colaboradores de la empresa.

#### IV. CONCLUSIONES

- ✓ Se diagnosticó la situación actual de la empresa Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L. quien presentaba un problema de baja productividad en su proceso de producción, debido a la generación de mermas de 5 123 242 unidades equivalente al 24 % de la producción total, asimismo se determinó que la eficiencia del proceso de 73,84 % estaba por debajo del nivel aceptable. Ante esta problemática se identificó como principal causa la etapa de cocción que presentó la mayor cantidad de mermas de 3 578 730 unidades, producto de una baja eficiencia del horno de 83,4 % y un control inadecuado de la temperatura del proceso. Adicionalmente se analizó otras causas que pudieran afectar la productividad como el ruido excesivo, la emisión de partículas y una falta de capacitación al personal.
- ✓ Ante la problemática se propuso el diseño de un sistema automatizado en la etapa de cocción con el objetivo de aumentar la eficiencia del horno y controlar la temperatura. Primero se calculó los requerimientos de energía térmica, segundo se diseñó un sistema de ventilación de aire y por último el diseño de un sistema de combustión automatizado aplicando un controlador PID. Los cálculos realizados fueron sustentados y verificados a través del programa MATLAB así como la elección de los elementos que conforman la propuesta, para la programación de PLC se utilizó el programa SoMachine. Asimismo se propuso un plan de control de riesgos y un plan de capacitación al personal en relación a las demás causas.
- ✓ Con el desarrollo de la propuesta se logró aumentar la eficiencia del horno a un 95 %, una reducción de mermas a un 12,4 %, una eficiencia aceptable de un 84,5 % con un aumento de la eficiencia económica del 11,92 %. Por ende se realizó un análisis costo-beneficio de la propuesta, teniendo como resultado un valor actual neto de S/2 388 138 y una tasa interna de retorno del 132,52 % con un periodo de recuperación de 395 días, además de un beneficio de 1,48 soles por cada sol invertido, que evidencia la rentabilidad de la propuesta.

## V. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar en la empresa Mochila Ladrillos y Agregados E. I. R. L. estudios e investigaciones orientados a la automatización industrial en otras etapas del proceso de producción de ladrillos consideradas como críticas para ver la necesidad de implementar nuevos sistemas automatizados, con el fin de aumentar aún más la productividad y contar con los beneficios que conlleva su implementación.
- ✓ Se debería realizar un análisis de riesgos laborales en las demás áreas del proceso consideradas no críticas para evaluar los riesgos como el estrés térmico, iluminación humedad que se pudieran presentar en los puestos de trabajo, con el fin de asegurar el bienestar del colaborador de la empresa.
- ✓ Se recomienda realizar estudios relacionado al aprovechamiento y la utilización de los desechos generados en la producción de ladrillo como la ceniza y los gases de combustión para obtener un beneficio adicional para la empresa.
- ✓ Se debería analizar y evaluar otros tipos de combustibles utilizados en la etapa de cocción de los ladrillos, con el fin de generar un mayor impacto positivo en reacción al medio ambiente.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Gestión, «Perú Construye,» El Grupo DIGAMMA, 18 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://peruconstruye.net/historia/>. [Último acceso: 18 Abril 2020].
- [2] I. Coronado, «Modelo de costos para mejorar la rentabilidad de las mypes de la industria ladrillera de Lambayeque,» *TZHOECOEN*, vol. XI, n° 3, pp. 87-102, 2019.
- [3] J. Velasquez y J. Gonzales, «Prototipo automatizado para el llenado y tapado de botellas de plástico,» *Revista Industrial Data*, vol. XX, n° 1, pp. 125-130, 2017.
- [4] F. Contreras, A. Villanueva, S. Tilvaldyev y D. Cornejo, «Mejora de la productividad, calidad y ergonomía de una operación de ensamble por medio de la automatización,» *Culcyt*, vol. 1, n° 58, pp. 213-223, 2016.
- [5] M. Abril, E. Lema y H. Ortiz, «Automatización del Bobinado Industrial de Fleje Plástico Mediante Motores Eléctricos Basados en Algoritmos de Control de Movimiento,» *Scielo*, vol. VI, n° 1-10, 2016.
- [6] M. Molina, «Automatización del sistema de control de la máquina empaquetadora de Blíster,» *Scielo*, vol. XLI, n° 1, pp. 1-4, 2018.
- [7] A. Mubarak, A. Hamdan y A. Mohamed, «Hoffman Red Bricks Kiln Modification And Pollution,» *IJERT*, vol. VIII, n° 2, pp. 87-95, 2015.
- [8] INDECOPI, «Norma Técnica Peruana 331.017,» Octubre 1978. [En línea]. Available: <https://www.udocz.com/read/179076991-norma-tecnica-peruana-ladrillo>. [Último acceso: 10 Octubre 2019].
- [9] F. Moreno, *El Ladrillo en la Construcción*, Bilbao: CEAC, 1981.
- [10] J. Bravo, *Gestión de Procesos*, Santiago: EVOLUCIÓN S.A, 2011.
- [11] EELA, «Manual de hornos eficientes en la industria ladrillera,» Septiembre 2015. [En línea]. Available: [http://www.redladrilleras.net/apps/manual\\_ccac/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf](http://www.redladrilleras.net/apps/manual_ccac/pdf/es/Manual-de-hornos-eficientes.pdf). [Último acceso: 20 Abril 2019].
- [12] M. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna*, México: McGrawHill, 2007.

- [13] R. Piedrafita, Ingeniería de la Automatización Industrial, México: Alfaomega, 2014.
- [14] G. Hernández y J. Mendoza, Fundamentación y Planeación de la Manufactura Automatizada, México: PEARSON, 2015.
- [15] E. García, Automatización de Procesos Industriales, Valencia: Alfaomega, 2001.
- [16] A. Barrientos y E. Gamboa, Sistemas de Producción Automatizados, Madrid: Dextra Editorial S. L., 2014.
- [17] J. Carrullo, Sistemas Automáticos de Control Fundamentos básico de análisis y modelado, Venezuela: UNERMB, 2011.
- [18] B. Kuo, Sistema de control automático, México: Prentice Hall.Inc, 1996.
- [19] M. Gutiérrez y S. Iturralde, Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control, La libertad: UPSE, 2017.
- [20] L. Lozano, L. Rodríguez y D. Giraldo, «Diseño, Implementación y Validación de un Controlador PID Autosintonizado,» *Tecno Lógicas*, vol. I, n° 28, pp. 33-53, 2012.
- [21] V. Alfaro, «Acuatlizacion del método de sintonizacion de controladores de ziegler nichols,» *UNA*, vol. XV, n° 12, pp. 39-52, 2005.
- [22] P. Vega, C. d. P. Moraga y V. Campos, «Un regulador PID de asignación de polos y varianza reducida.,» *Dialnet*, vol. XXVI, n° 4, pp. 5-14, 1993.
- [23] G. Kanawaty, Introducción al Estudio de Trabajo, Ginebra: Organización Internacional del Trabajo, 1996.
- [24] R. García, Estudio del trabajo Ingeniería de métodos y medición del trabajo, México: McGrawHill, 2005.
- [25] J. Lopez, Productividad, Estados Unidos: Palabrio, 2012.
- [26] J. Heizer y B. Render, Principios de Administracion de Operaciones, México: Pearson , 2009.
- [27] W. McCabe, J. Smith y P. Harriott, Operaciones Unitarias de Ingenieria Química, Méico DF: McGraw-Hill, 2007.
- [28] C. Geankoplis, Procesos y Trasporte de operaciones unitarias, México DF: Cecsa, 1998.
- [29] H. Guitierrez, Calidad total y productividad, México: Mc Graw Hill, 2010.

- [30] Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, *Herramientas para la mejora de la calidad*, Montevideo: UNIT, 2009.
- [31] ICG, «Reglamento Nacional de Edificaciones,» 21 Junio 2006. [En línea]. Available: <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>. [Último acceso: 20 Octubre 2020].
- [32] T. Fucci, «Haciendo más eficientes los procesos productivos. Los indicadores de eficiencia de los procesos hacia a competitividad y el futuro,» *Revista del departamento de Ciencias Sociales*, vol. III, n° 3, pp. 74-107, 2016.
- [33] R. Hernández, C. Fernández, Baptista y M. d. M. Pilar, *Metodología de la Investigación*, vol. 11, México D.F.: McGRAW-HILL, 2005, pp. 333-338.
- [34] RedLadrilleras, [En línea]. Available: <http://www.redladrilleras.net/assets/files/fb27f168113ce59412e89faab27e4633.pdf>. [Último acceso: 2019 Septiembre 28].
- [35] G. Gustavo, E. Edwin y S. Heller, «Análisis de temperaturas durante la cocción de ladrillos macizos y sus propiedades finales,» *redalyc*, vol. XXI, n° 51, pp. 118-131, 2017.
- [36] J. Ganime, L. Almeida da Silva, M. Robazzi, S. Valenzuela y S. Faleiro, «El ruido como riesgo Laboral: una revisión a la literatura,» *Scielo*, vol. IX, n° 2, pp. 1-15, 2010.
- [37] ECA, «Aprueban el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido,» 2004. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Milton/Downloads/ds.085.2003.pcm\\_%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Milton/Downloads/ds.085.2003.pcm_%20(1).pdf). [Último acceso: 22 Septiembre 2019].
- [38] ACGIH, «American Conference of Governmental Industrial Hygienists,» 1996. [En línea]. Available: <https://www.acgih.org/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2019].
- [39] SUNAFIL, «Sistema Normativo de Información Laboral,» 15 Enero 2013. [En línea]. Available: <https://www.sunafil.gob.pe/images/docs/normatividad/LEY-29981-Creacion-SUNAFIL.pdf>.
- [40] J. Varón y A. Hernán, «Caracterización térmica y estequiométrica de la combustión de la cascarilla de arroz,» *Scientia et Technica*, vol. I, n° 24, pp. 139-144, 2004.

- [41] C. Alveiro, «Evaluación del desempeño como herramienta para el análisis del capital humano,» *Visión del Futuro*, vol. XI, n° 1, pp. 1-22, 2009.
- [42] E. Auces y J. Rodríguez, «Cálculo de las necesidades de energía en un horno de relevo de esfuerzos,» *Ciencia e Ingeniería*, vol. XXIV, n° 3, pp. 375-385, 2003.
- [43] J. Rodríguez, F. Diego, C. Martínez, L. Méndez y M. Aguilar, «Perfiles de temperatura en un horno ladrillero,» *Redalyc*, vol. II, n° 3, pp. 209-217, 2004.
- [44] PRAL, «Guía de buenas prácticas para ladrilleras artesanales,» 3 Junio 2010. [En línea]. Available: <http://spij.minjus.gob.pe/graficos/Peru/2010/abril/21/RM-102-2010-PRODUCE.pdf>. [Último acceso: 15 Septiembre 2019].
- [45] ITDG, «Uso de Cascarilla de arroz como fuente energética en ladrilleras,» [En línea]. Available: [http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/24bib\\_arch.pdf](http://cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/24bib_arch.pdf). [Último acceso: 15 Septiembre 2019].
- [46] A. Prada y C. Cortes, «La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral,» *Scielo*, vol. 14, n° 1, p. 155.170, 2010.
- [47] SODECA, «Catálogos resumen Soluciones de ventilación,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sodeca.com/es/catalogs>. [Último acceso: 10 Abril 2020].
- [48] SODECA, «Ventiladores centrifugos y extractores de línea para conductos,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.sodeca.com/es/catalogs>. [Último acceso: 20 Abril 2020].
- [49] Scheiner Electric, «Easy la mejor opción,» 5 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://www.nalelectricos.com.co/archivos/Nacional-de-electricos-catalogo-schneider-easy-9.pdf>. [Último acceso: 10 Junio 2020].
- [50] Scheider Electric, «Catalogo Acti 9,» 2011. [En línea]. Available: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=catalogo-acti9-.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=catalogo-acti9-.pdf). [Último acceso: 16 Junio 2020].
- [51] Scheiner Electric, «Lista de Precios Variación de velocidad y arranque de motor,» 10 Junio 2020. [En línea]. Available: [https://www.se.com/pe/es/download/document/PEPreciosV\\_VelocidadyArranque/](https://www.se.com/pe/es/download/document/PEPreciosV_VelocidadyArranque/). [Último acceso: 12 Junio 2020].
- [52] Scheiner Electric, «Unidades de Mando y Señalización,» 10 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.se.com/pe/es/download/document/PEPreciosUndMandoSenalizacion/>. [Último acceso: 12 Junio 2020].

- [53] WEG, «W22 Motor Eléctrico Trifásico,» Abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.motorex.com.pe/uploads/catalogos/motores/weg-cata-logo-tecnico.pdf>. [Último acceso: 10 Mayo 2020].
- [54] Scheiner Electric, «Variador de velocidad ATV71,» 1 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product/ATV71HU15N4/variable-speed-drive-atv71---1.5kw-2hp---480v---emc-filter-graphic-terminal/>. [Último acceso: 12 Junio 2020].
- [55] L. Michalski, K. Eckersdorf, J. Kucharski y J. McGhee, Temperature Measurement, London: British Library, 2001.
- [56] Schneider Electric, «Controlador Lógicos Modicon M241 y M251,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.tecnical.cat/PDF/SCHNEIDER/PLC/schneider-plc-m241-m251-catalogo.pdf>. [Último acceso: 20 Mayo 2020].
- [57] Schneider Electric, «Modicon TM3 (EcoStruxure Machine Expert - Basic),» Diciembre 2018. [En línea]. Available: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_enDocType=User+guide&p\\_File\\_Name=EIO0000003348.00.pdf&p\\_Doc\\_Ref=EIO0000003348](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=EIO0000003348.00.pdf&p_Doc_Ref=EIO0000003348). [Último acceso: 20 Mayo 2020].
- [58] ISO, «ISO 45001:2018,» 13 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/standard/63787.html>. [Último acceso: 20 Abril 2020].
- [59] INDECI, «NTP 399.010-1,» 2004. [En línea]. Available: <http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc709/doc709-8.pdf>. [Último acceso: 20 Abril 2020].
- [60] 3M, «3M Productos de Protección auditiva,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.proveedoraindustrialdelbajio.com/catalogos/#>. [Último acceso: 10 Mayo 2020].
- [61] 3m, «Respiradores desechables 3M,» Septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.proveedoraindustrialdelbajio.com/catalogos/#>. [Último acceso: 10 Mayo 2020].
- [62] 3M, «Catálogo 3M lentes de seguridad,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.proveedoraindustrialdelbajio.com/catalogos/#>. [Último acceso: 10 Mayo 2020].

## VII. ANEXOS

Anexos 1: Tiempo de ciclo establecido por la empresa

Actividad	Tiempo (h)
Mezclado	2,8
Molienda	2,2
Tamizado	2,2
Amasado	2,8
Extrusión	2,4
Cortado	2,4
Secado	72
Cocción	24
Enfriado	24
Total	134,8

Fuente: Mochicla Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

Anexos 2: Sueldo de los trabajadores de la empresa

Área	Puesto de trabajo	Número de personal (turno /día)	Sueldo por trabajador (soles/mes)	Sueldo total (soles/mes)
Formado	Jefe de formado	1	2 000	2 000
	Mezclado de MP	1	1 800	1 800
	Tamizado	1	1 800	1 800
	Amasado	1	1 200	1 200
	Moldeado y cortado	1	1 400	1 400
	Trasporte al área de secado	3	1 400	4 200
Secado	Jefe de secado	1	1 800	1 800
	Colocación de ladrillos en la pampa de secado	4	1 400	5 600
	Orden de ladrillos en paquetes	3	1 200	3 600
	Carga de ladrillos secos	4	1 400	5 600
Cocción	Colocación de ladrillos en el horno	4	1 400	5 600
	Jefe de cocción	2	2 500	5 000
	Alimentadores de combustible al horno	8	1 500	12 000
	Jefe de cargadores	1	2 000	2 000
	Carga y transporte del ladrillo al almacén	5	1 200	6 000
Total		40		59 600

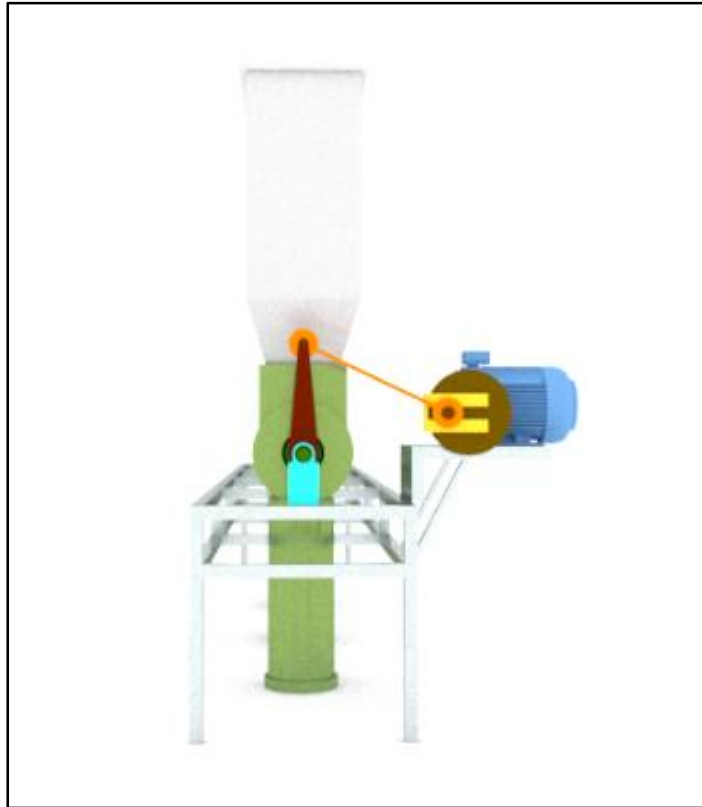
Fuente: Mochica Ladrillos y Agregados E. I. R. L.

## Anexos 3: Cálculo de los costos de producción para un millar de ladrillos

Recursos	Procedimiento de cálculo
<b>Materia prima</b>	<p>✓ Multiplicamos la cantidad MP por su respectivo costo en toneladas</p> $2,98 \text{ ton de MP} \times \frac{22 \text{ soles}}{\text{ton de MP}} = 65,53 \text{ soles}$
<b>Mano de obra</b>	<p>✓ Hallamos las horas trabajadas por operario mediante el ingreso de MP entre la productividad de MO</p> $\frac{2\,980 \text{ kg} \times \frac{\text{ladrillo}}{2,2 \text{ kg}}}{104,89 \frac{\text{ladrillo}}{\text{h operario}}} = 12,91 \text{ h operario}$ <p>✓ Calculamos el costo por hora operario mediante el costo total de MO al mes entre el total de horas trabajadas al mes</p> $\frac{60\,400 \frac{\text{soles}}{\text{mes}}}{420 \frac{\text{h operario}}{\text{día}} \times 24 \frac{\text{días}}{\text{mes}}} = 5,99 \frac{\text{soles}}{\text{h operario}}$ <p>✓ Multiplicamos las horas trabajadas por el costo por hora operario</p> $12,91 \text{ h operario} \times 5,99 \frac{\text{soles}}{\text{h operario}} = 77,34$
<b>Energía</b>	<p>✓ Hallamos en consumo de energía hora mediante el ingreso de MP entre la productividad de energía</p> $\frac{2\,980 \text{ kg} \times \frac{\text{ladrillo}}{2,2 \text{ kg}}}{31,98 \frac{\text{ladrillo}}{\text{kW h}}} = 42,36 \text{ kW h}$ <p>✓ Multiplicamos el consumo de kW hora por su respectivo costo</p> $42,36 \text{ kW h} \times \frac{0,1985 \text{ soles}}{\text{kW h}} = 8,40$
<b>Agua</b>	<p>✓ Hallamos en consumo de agua en m<sup>3</sup> mediante el ingreso de MP entre la productividad del insumo agua</p> <p>✓</p> $\frac{2\,980 \text{ kg} \times \frac{\text{ladrillo}}{2,2 \text{ kg}}}{2,27 \frac{\text{ladrillo}}{\text{litro}}} = 596,72 \text{ litros} \times \frac{\text{m}^3}{\text{litro}} = 0,597$ <p>✓ Multiplicamos el consumo de agua por su respectivo costo</p> $0,597 \text{ m}^3 \times \frac{7,268 \text{ soles}}{\text{m}^3} = 4,34$
<b>Combustible</b>	<p>✓ Hallamos en consumo de combustibles en sacos mediante al ingreso de MP entre la productividad del insumo combustible</p> $\frac{2\,980 \text{ kg} \times \frac{\text{ladrillo}}{2,2 \text{ kg}}}{6,38 \frac{\text{ladrillo}}{\text{kg}}} = 212 \text{ kg} \times \frac{\text{saco}}{25 \text{ kg}} = 8,48 \text{ sacos}$ <p>✓ Multiplicamos el consumo de combustible por su respectivo costo</p> $8,48 \text{ sacos} \times \frac{12,5 \text{ soles}}{\text{saco}} = 106$

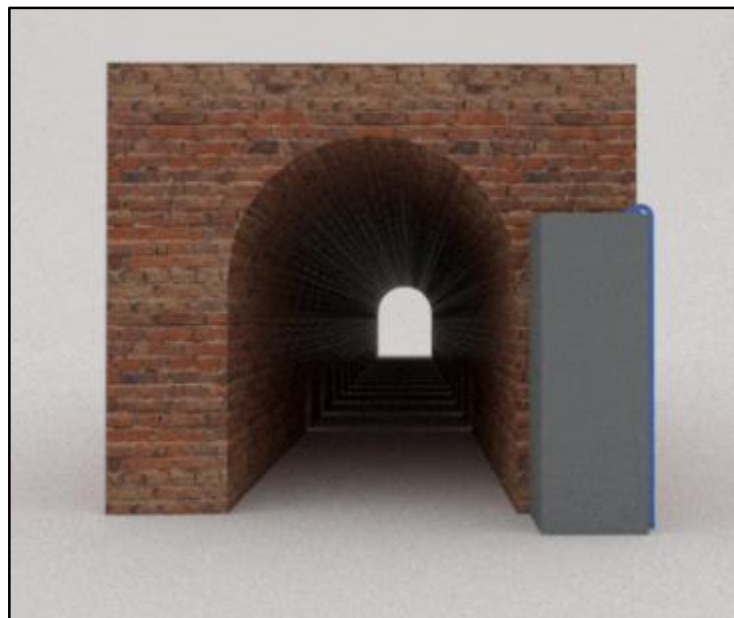
Fuente: Elaboración propia.

Anexos 4: Vista lateral del quemador de combustible



Fuente: Elaboración propia.

Anexos 5: Vista frontal del horno de ladrillos



Fuente: Elaboración propia.

## Anexos 6: Mediciones de Temperatura

Tiempo (h)	Temperatura (°C)					
	1	2	3	4	5	6
1	23	35	46	65	83	101
2	114	125	139	145	153	158
3	170	182	202	209	219	227
4	257	278	316	353	380	413
5	450	485	515	547	567	590
6	605	629	653	670	680	692
7	706	719	724	734	765	802
8	830	852	879	913	947	985
9	1 016	1 053	1 065	1 075	1 086	1 105
10	1 134	1 154	1 154	1 125	1 126	1 134
11	1 133	1 137	1 154	1 154	1 132	1 133
12	1 131	1 133	1 136	1 140	1 137	1 143

Fuente: Elaboración propia.

## Anexos 7: Sintonización del sistema de control PID en MATLAB

```

>> w=[]; %Mediciones de la temperatura%
>> r=linspace(1,1,72); %Variable tiempo%
>> r1=1000*r; %Setpoint o valor de referencia%
>> r2=r1';
>> Ident; %Procesamos los datos en Workspace%
>> G=tf(5.642e-9,[1 4.81e-5 6.644e-9]) %Función de transferencia del proceso%
>> polos=roots(G.num{1}) %Diagrama de polos y zeros%
>> zeros=roots(P.den{1})
>> rlocus(P)%Diagrama de polos y zeros%
>> [n,d]=tfdata(P,'v');
>> k=n(3);
>> a=d(2);
>> b=d(3);
>> Mp=15; %Temperatura o pico máximo%
>> ep=sqrt(((log(Mp/100))^2)/(pi^2+((log(Mp/100))^2))) %factor de amortización %
>> tau=1/(abs(max(roots(d)))) %Polo rápido %
>> Tss=28800; %tiempo de establecimiento %
>> Wn=3/(ep*Tss) %Frecuencia Natural
>> Sd=[-ep*Wn+1i*Wn*sqrt(1-ep^2), -ep*Wn-1i*Wn*sqrt(1-ep^2)]
>> p3=real(Sd(1))*10; %Polo Rapido
>> Sd1=[Sd p3];
>> Pds=poly(Sd1);
>> alpha=0.05;
>> Kc=(Pds(3)-b)/k; %Ganancia proporcional %
>> ti=(k*Kc)/Pds(4); %Tiempo integral %
>> td=(Pds(2)-a)/(k*Kc); %Tiempo derivativo %
>> d2=alpha*Kc*ti*td+Kc*ti*td;
>> d1=Kc*ti+alpha*Kc*td;
>> d0=Kc;
>> C=tf([d2 d1 d0],[alpha*ti*td ti 0]);
>> N=1/(td*alpha); %Filtro %
>> H=minreal((C*P)/(1+C*P)); %Funcion de transferencia de lazo cerrado %
>> step(H); %Comportamiento de la temperatura %

```

Fuente: Elaboración propia.

## Anexos 8: Cálculo de los nuevos costos de producción para un millar de ladrillos

Recursos	Procedimiento de cálculo
<b>Materia prima</b>	<p>✓ Multiplicamos la cantidad MP por su respectivo costo en toneladas</p> $2,603 \text{ ton de MP} \times \frac{22 \text{ soles}}{\text{ton de MP}} = 57,24 \text{ soles}$
<b>Mano de obra</b>	<p>✓ Hallamos las horas trabajadas por operario mediante el ingreso de MP entre la productividad de MO</p> $\frac{2\,603 \text{ kg} \times \frac{\text{ladrillo}}{2,2 \text{ kg}}}{104,89 \frac{\text{ladrillo}}{\text{h operario}}} = 11,26 \text{ h operario}$ <p>✓ Calculamos el costo por hora operario mediante el costo total de MO al mes entre el total de horas trabajadas al mes</p> $\frac{60\,400 \frac{\text{soles}}{\text{mes}}}{420 \frac{\text{h operario}}{\text{día}} \times 24 \frac{\text{días}}{\text{mes}}} = 5,99 \frac{\text{soles}}{\text{h operario}}$ <p>✓ Multiplicamos las horas trabajadas por el costo por hora operario</p> $11,26 \text{ h operario} \times 5,99 \frac{\text{soles}}{\text{h operario}} = 67,67$
<b>Energía</b>	<p>✓ Hallamos en consumo de energía hora mediante al ingreso de MP entre la productividad de energía</p> $\frac{2\,603 \text{ kg} \times \frac{\text{ladrillo}}{2,2 \text{ kg}}}{17,82 \frac{\text{ladrillo}}{\text{kW h}}} = 66,39 \text{ kW h}$ <p>✓ Multiplicamos el consumo de kW hora por su respectivo costo</p> $66,39 \text{ kW h} \times \frac{0,1985 \text{ soles}}{\text{kW h}} = 13,18$
<b>Agua</b>	<p>✓ Hallamos en consumo de agua en m<sup>3</sup> mediante el ingreso de MP entre la productividad del insumo agua</p> $\frac{2\,603 \text{ kg} \times \frac{\text{ladrillo}}{2,2 \text{ kg}}}{2,27 \frac{\text{ladrillo}}{\text{litro}}} = 521 \text{ litros} \times \frac{\text{m}^3}{\text{litro}} = 0,521$ <p>✓ Multiplicamos el consumo de agua por su respectivo costo</p> $0,521 \text{ m}^3 \times \frac{7,268 \text{ soles}}{\text{m}^3} = 3,78$
<b>Combustible</b>	<p>✓ Hallamos en consumo de combustibles en sacos mediante el ingreso de MP entre la productividad del insumo combustible</p> $\frac{2\,603 \text{ kg} \times \frac{\text{ladrillo}}{2,2 \text{ kg}}}{5,26 \frac{\text{ladrillo}}{\text{kg}}} = 224,9 \text{ kg} \times \frac{\text{saco}}{20 \text{ kg}} = 8,48 \text{ sacos}$ <p>✓ Multiplicamos el consumo de combustible por su respectivo costo</p> $11,24 \text{ sacos} \times \frac{8 \text{ soles}}{\text{saco}} = 89,96$

Fuente: Elaboración propia.

## Anexos 9: Demanda proyectada por mes

<b>Mes</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>
Enero	499 229	703 949	908 669	1 113 389	1 318 109
Febrero	516 289	721 009	925 729	1 130 449	1 335 169
Marzo	533 349	738 069	942 789	1 147 509	1 352 229
Abril	550 409	755 129	959 849	1 164 569	1 369 289
Mayo	567 469	772 189	976 909	1 181 629	1 386 349
Junio	584 529	789 249	993 969	1 198 689	1 403 409
Julio	601 589	806 309	1 011 029	1 215 749	1 420 469
Agosto	618 649	823 369	1 028 089	1 232 809	1 437 529
Septiembre	635 709	840 429	1 045 149	1 249 869	1 454 589
Octubre	652 769	857 489	1 062 209	1 266 929	1 471 649
Noviembre	669 829	874 549	1 079 269	1 283 989	1 488 709
Diciembre	686 889	891 609	1 096 329	1 301 049	1 505 769

Fuente: Elaboración propia.