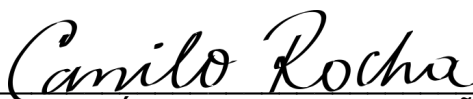


Nota de Aceptación:

Proyecto de Diseño Aprobado, en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali para optar el título de Ingeniero Industrial.



HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO
Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias



JORGE ENRIQUE ÁLVAREZ PATIÑO
Director Carrera Ingeniería Industrial



LUZ ELENA VINASCO ISAZA
Director(a) Proyecto de Diseño


CS Scanned with CamScanner

Luis Hernando Garzón
Jurado 1



Luis Alonso Velasco Roldan
Jurado 2

Santiago de Cali, 22-08-2023

Ingeniero

Maria Isabel Diaz Vega

Profesor Proyecto de Diseño II

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Asunto: Correcciones propuestas al proyecto de diseño Código 20XXXX

De acuerdo a la sustentación realizada el día 2 de julio de 2023, se nos solicitó correcciones a nuestro proyecto de diseño, las cuales se indican a continuación. Cabe anotar que ya tienen la aprobación del jurado.

Formato PD1 actual	Propuesta de corrección
<u>Titulo</u> Disminución de Defectuosos en el Proceso de Fabricación de Ladrillos en la Empresa La Samaritana S.A.S.	<u>Titulo</u> Diseño de un modelo de control de humedad en la materia prima para reducir defectuosos en una ladrillera.
<u>Objetivo general</u> Diseñar un modelo de eliminación de materia prima con alta humedad, con el fin de reducir la cantidad de ladrillos fisurado de farol liso que se evidencian en el subproceso de secado rápido, estableciendo criterios de aceptación a la materia prima previo al ingreso del proceso de manufactura.	<u>Objetivo general</u> Diseñar un modelo de control de humedad en la materia prima, con el fin de reducir la cantidad de ladrillos fisurados, estableciendo criterios de aceptación a la materia prima previo al ingreso del proceso de manufactura.
<u>Objetivos específicos</u> <ol style="list-style-type: none">1. Definir criterios de aceptación para la materia prima en función de los niveles de humedad que se consideren óptimos para evitar la fisuración durante el secado rápido.2. Implementar y evaluar diferentes métodos y tecnologías existentes que garanticen los criterios de aceptación para la materia prima.3. Validar el diseño de ingeniería propuesto a través de la implementación de un piloto o prototipo que permita verificar la efectividad de las mejoras implementadas en la reducción de ladrillos defectuosos.	<u>Objetivos específicos</u> <ol style="list-style-type: none">1. Identificar las variables de control más influyentes en el tipo de defecto fisurado durante el proceso de fabricación de ladrillos.2. Establecer criterios de aceptación para la materia prima en función de los niveles de humedad que se consideren adecuados para disminuir las fisuras durante el secado rápido.3. Implementar con una prueba piloto el diseño de ingeniería propuesto garantizando los criterios de aceptación para la materia prima que permita verificar la efectividad de las mejoras implementadas en la reducción de ladrillos defectuosos.






4. Establecer Procedimientos Operativos Estándar (POE) para el manejo y descarte adecuado de la materia prima que no cumplan los criterios de aceptación.	4. Validar el diseño de ingeniería propuesto por medio de herramientas financieras y estadísticas.
---	--

Otros Cambios propuestos:

Formato PD1 actual	Propuesta de corrección	# Página donde se evidencia el cambio

Agradecemos su atención y quedamos pendientes de su aprobación.

Cordialmente,

Elaborado y revisado por:		
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma
Luz Elena Vinasco Isaza	Director	
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	
Wilson Armando Ramirez Ordoñez	Estudiante	
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	
Luis Hernando Garzón Canizalez	Jurado Evaluador	

Santiago de Cali, 23- 01- 2024

Ingeniero

Jorge Enrique Alvarez Patiño

Director de Carrera Ingeniería Industrial

Pontificia Universidad Javeriana Cali


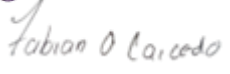


Asunto: Correcciones propuestas al proyecto de diseño Código 2023102

De acuerdo a la sustentación realizada el día 2 de diciembre del 2023, se nos sugirió la corrección del título para dar más claridad y que vaya más acorde al proyecto, por lo cual se realizan las siguientes propuestas de corrección al documento final. Cabe anotar que ya tienen la aprobación del director.

Formato PD2 actual	Propuesta de corrección
<u>Título</u> Diseño de un modelo de control de humedad en la materia prima para reducir defectuosos en una ladrillera.	<u>Título</u> Diseño de un sistema de control de humedad en la materia prima para reducir defectuosos en una ladrillera.
<u>Objetivo general</u> Diseñar un modelo de control de humedad en la materia prima, con el fin de reducir la cantidad de ladrillos fisurados, estableciendo criterios de aceptación a la materia prima previo al ingreso del proceso de manufactura.	<u>Objetivo general</u> Diseñar un sistema de control de humedad en la materia prima, con el fin de reducir la cantidad de ladrillos fisurados, estableciendo criterios de aceptación a la materia prima previo al ingreso del proceso de manufactura.

Agradecemos su atención y quedamos pendientes de su aprobación.

Cordialmente,

Elaborado y revisado por:		
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma
Luz Elena Vinasco Isaza	Director	
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	
Wilson Armando Ramirez Ordoñez	Estudiante	
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	

Santiago de Cali, noviembre 17 de 2023

Ingeniero

Jorge Enrique Álvarez Patiño

Director Carrera de Ingeniería Industrial

Pontificia Universidad Javeriana

Cali

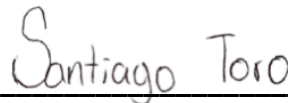
Asunto: Carta de aval para entrega final Proyecto de Diseño # 2023102

Por medio de la presente doy aval para la entrega final a la carrera, del documento que soporta el Proyecto de diseño # 2023102, bajo mi dirección, desarrollado por los estudiantes Fabian Otoniel Caicedo Amariles, Wilson Armando Ramírez Ordóñez y Jayder Santiago Toro Cabrera, titulado “*Diseño de un modelo de control de humedad en la materia prima para reducir defectuosos en una ladrillera*”.

Cordialmente,



Luz Elena Vinasco Isaza
Director de Proyecto



Jayder Santiago Toro Cabrera
Estudiante



Fabian Otoniel Caicedo Amariles
Estudiante



Wilson Armando Ramírez Ordóñez
Estudiante

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 1 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 1

Asistentes			Fecha y lugar: viernes 28 de julio de 2023, Almendros 3.5	Hora Inicio: 09:00 am	Hora Fin: 10:50 am
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Saludo de los integrantes del equipo 2. Revisión de objetivos, título de proyecto y posibles correcciones 3. Realización de presentación (Canva) para presentación al curso 		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
			Pendientes: <ol style="list-style-type: none"> 1.1 Realizar Canva para presentar correcciones al grupo, (responsable: equipo 102) (antes del 4 de agosto del 2023) 1.2 Asistir a la clase del 4 de agosto del 2023 para realizar exposición de las correcciones (responsable: equipo 102) (4 de agosto del 2023) 		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 2 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana – Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 2

Asistentes			Fecha y lugar: martes 1 agosto vía Teams	Hora Inicio: 01:00 pm	Hora Fin: 08:00 pm
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo de los integrantes del equipo 2. Socialización - Ideas para implementación de la solución - Ajustes base de datos para luego realizar el DOE - Planeación de visitas en días en los que se realizara farol liso y se permitirá que el equipo lleve a cabo la prueba piloto. 3. Cierre		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
			Pendientes: 2.1. Bosquejo de un manual que permitirá al equipo llevar a cabo la prueba piloto y que garantice el control de humedad a la materia prima previo al proceso productivo (responsable: Jayder Toro, Wilson Armando Ramirez) (15/09/2023 o antes) 2.2. Ajustar la base de datos y consultar con la directora del proyecto (responsable: Fabian Otoniel Caicedo Amariles) (antes del 12 de agosto del 2023)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 3 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 3

Asistentes			Fecha y lugar: miércoles 09 de agosto 2023, vía Teams	Hora Inicio: 05:00 pm	Hora Fin: 6:30 pm
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo 2. Socialización <ul style="list-style-type: none"> • Modificaciones de objetivo general y específicos • Diseño de experimentos • Base de datos para diseño de experimentos 3. Revisión		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
			Pendientes: 3.1 Ajustar la base de datos y consultar con la directora del proyecto (responsable: Fabian Otoniel Caicedo Amariles) (antes del 12 de agosto del 2023)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 4 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 4

Asistentes			Fecha y lugar: viernes 18 de agosto del 2023, vía Teams	Hora Inicio: 01:00 pm	Hora Fin: 08: 00 pm
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo 2. Socialización <ul style="list-style-type: none"> Listado de métodos y tecnologías aplicables evaluaciones de los métodos propuesto para elegir el mejor desarrollo para controlar la humedad en la materia prima criterios de aceptación considerados adecuados para controlar el ingreso de materia prima paso a paso que se va a seguir para la implementación del piloto 3. 3. Revisión		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
			Pendientes: 4.1 Realizar DOE luego de prueba piloto (responsable: Equipo 102) (Fecha: 15/09/2023)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 5 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 5

Asistentes			Fecha y lugar: viernes 1 de septiembre del 2023, vía Zoom	Hora Inicio: 07:00 am	Hora Fin: 07:20 am
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo 2. Socialización <ul style="list-style-type: none"> • Título del proyecto • Objetivos • Falta de aval 3. 4. Revisión		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante				
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
			Pendientes: 5.1 Entrega de aval jurado para aprobación de los cambios realizados en el proyecto. (responsable: Jayder Santiago Toro) (antes del 4 de septiembre del 2023)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 6 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 6

Asistentes			Fecha y lugar: 22/09/2023	Hora Inicio: 07:00 am	Hora Fin: 07:20 am
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo 2. Socialización -Diseño de experimentos 3. Revisión		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
			Pendientes: 6.1 Realización del DOE, explicación de porque es la alternativa elegida para validar el diseño propuesto (responsable: Equipo 102) (5 octubre del 2023)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 7 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 7

Asistentes			Fecha y lugar: jueves 5 de octubre vía Teams	Hora Inicio: 01:00 pm	Hora Fin: 06:00 pm
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo de los integrantes del equipo 2. Socialización - Realización del DOE 3. 3. Cierre		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
			Pendientes:		
			7.1 Socialización de datos y DOE con la directora (responsable: Equipo 102) (9 octubre del 2023)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 8 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 8

Asistentes			Fecha y lugar: Lunes 8 de octubre vía Teams	Hora Inicio: 09:00 am	Hora Fin: 10:15 am
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo de los integrantes del equipo 2. Socialización - Realización del DOE 3. 3. Cierre		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
Luz Elena Vinasco	Directora		Pendientes: 8.1 Correcciones de graficas e interpretaciones del DOE (responsable: Equipo 102) (Máximo hasta el 12 octubre del 2023)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 9 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 9

Asistentes			Fecha y lugar: Lunes 6 de noviembre de 2023	Hora Inicio: 02:00 pm	Hora Fin: 05:00 pm
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo de los integrantes del equipo		
Wilson Armando Ramirez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>	2. Socialización		
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>	- Resultados de la validación económica realizada		
			- Realización del POE (Socialización equipo 102)		
			- Conclusiones y recomendaciones		
			3. Cierre		
			Pendientes:		
			9.1- Resultados de la validación económica realizada (responsable: Fabian Otoniel Caicedo Amariles)		
			9.2 Realización del POE (responsable: Jayder Santiago Toro Cabrera)		
			9.3 Conclusiones y recomendaciones (responsable: Wilson Armando Ramirez Ordoñez)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 10 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 10

Asistentes			Fecha y lugar: Miércoles 8 de noviembre 2023, vía Zoom	Hora Inicio: 02:00 pm	Hora Fin: 02:20 pm
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante		1. Saludo 2. Socialización <ul style="list-style-type: none"> • Entrega 2 y detalles por mejorar 3. Revisión		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante				
Maria Isabel Vega	Docente	<i>Maria Isabel Diaz Vega.</i>	Pendientes: 10.1 Modificar formato de párrafos en el proyecto y ortografía		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 11 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 11

Asistentes			Fecha y lugar: lunes 13 de noviembre de 2023 vía Teams	Hora Inicio: 10:00 am	Hora Fin: 10:0 am
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados: 1. Saludo de los integrantes del equipo 2. Socialización - proyecto terminado 3. 3. Cierre		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>			
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
Luz Elena Vinasco	Directora		Pendientes: 11.1 enviar proyecto y anexos a la directora previa al ingreso (responsable: Wilson Armando Ramírez Ordoñez) 11.2 realizar correcciones al proyecto previo al ingreso (responsable: equipo 102)		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 12 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 12

Asistentes			Fecha y lugar: miércoles 15 de noviembre 2023, vía Teams	Hora Inicio: 02:00 pm	Hora Fin: 02:20 pm
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados:		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>	1. Saludo 2. Socialización - validación financiera del proyecto 3. Revisión		
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante				
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante				
Maria Isabel Vega	Docente	<i>Maria Isabel Diaz Vega</i>	Pendientes: No hay		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016

**ACTAS DE REUNIÓN
PROYECTO DE DISEÑO
Carrera de Ingeniería Industrial
Hoja No. 13 de 13**



Declaramos conocer y aceptar el reglamento y disposiciones de los Proyectos de Diseño I de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana - Cali, al igual que declaramos haber celebrado las reuniones descritas a continuación.

Reunión No. 13

Asistentes			Fecha y lugar: Jueves 16 de noviembre 2023, vía Teams	Hora Inicio: 06:00 pm	Hora Fin: 10:20 pm
Nombre	Director, asesor o estudiante.	Firma	Temas tratados: 1. Saludo 2. Socialización -Últimas correcciones 3. Revisión		
Fabian Otoniel Caicedo Amariles	Estudiante	<i>Fabian O Caicedo</i>			
Wilson Armando Ramírez Ordoñez	Estudiante	<i>Wilson Ramirez</i>			
Jayder Santiago Toro Cabrera	Estudiante	<i>Santiago Toro</i>			
			Pendientes: 2.1. No hay		

NIT 860.013.720-1

Calle 18 #118-250 Avenida Cañasgordas, Cali-Colombia, A.A. 26239, Código Postal: 760031, PBX (+57-2) 321 8200 / 485 6400 - Línea gratuita nacional 01-8000-180556 -

www.javerianacali.edu.co

Vigilada Mineducación Res. 12220 de 2016



LADRILLERA
La Samaritana

Santiago de Cali, 16 de noviembre de 2023

Ingeniero Jorge Enrique Álvarez Patiño
Director Carrera de Ingeniería Industrial
Pontificia Universidad Javeriana, Cali

Asunto: Carta Aval de la empresa

Como empresa **Ladrillera La Samaritana S.A.S.** da constancia que los alumnos Fabian Otoniel Caicedo Amariles, Wilson Armando Ramírez Ordóñez, Jayder Santiago Toro Cabrera, visitaron las instalaciones de empresa, hicieron encuestas, entrevistas y demás. También, damos constancia que los estudiantes hicieron una socialización del trabajo realizado en nuestra compañía y quedamos conforme con este.

Cordialmente;

Fulvio O. Caicedo
Representante legal



Diseño de un sistema de control de humedad en la materia prima para reducir defectuosos en una ladrillera.

Fabian Otoniel Caicedo Amariles 1^{a,c}, Wilson Armando Ramírez Ordóñez 2^{a,c},
Jayder Santiago Toro Cabrera 3^{a,c}

Luz Elena Vinasco^{b,c}

^aEstudiantes de Ingeniería Industrial

^bDocente del Departamento de Ingeniería Civil e Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Cali, Colombia

Resumen en español

El proyecto se centra en la disminución de ladrillos defectuosos en el proceso de secado de la empresa manufacturera La Samaritana S.A.S. El problema radica en la alta incidencia de fisuras en los ladrillos en el secado rápido. Es importante abordar este problema, ya que la presencia de ladrillos defectuosos no solo afectaba la imagen de la empresa, sino que también implica pérdidas económicas, reducción de la eficiencia en la producción, aumento de los desperdicios generados, disminución la satisfacción del cliente y afectando negativamente la seguridad de los operarios e infraestructuras que utilizaban estos materiales defectuosos. El enfoque del proyecto se basa en el uso de herramientas y métodos como el análisis estadístico, diseño de experimentos, análisis de causa efecto, técnica de ideación SCAMPER y el proceso analítico de jerarquía. Estas técnicas permiten identificar las causas subyacentes de las fisuras en los ladrillos y desarrollar soluciones aplicables.

Al hacer el análisis, se identificará el factor crítico a mejorar. Mediante el diseño de experimentos y el estudio de la causa raíz, se establecerán criterios a la materia prima. Si se implementan exitosamente estas medidas de control, se logrará una reducción considerable en la incidencia de ladrillos defectuosos, optimizando la eficiencia del proceso, reduciendo desperdicios y maximizando la utilización de recursos. El objetivo final es alcanzar altos estándares de calidad, mejorar la rentabilidad y garantizar la plena satisfacción de los clientes.

Palabras claves: Disminución de defectos, Control sobre materia prima, Diseño de experimento, Humedad, Fisurados.

Tabla de contenido

I. DEFINIR.....	3
A. Contexto y Justificación	3
B. Grupos de interés	5
C. Requerimientos	6
II. MEDIR	7
A. Plan de recolección de datos.....	7
B. Medición del sistema actual.....	8
III. ANALIZAR	12
A. Análisis de Causas	12
B. Revisión de literatura.....	17
C. Exploración de ideas y selección de alternativa	18
D. Objetivos.....	19
E. Plan de trabajo (PdT).....	19
IV. MEJORAR.....	20
A. Desarrollo del diseño de la solución.....	20
B. Validación del diseño propuesto.....	21
V. VERIFICAR.....	26
A. Medición de los impactos	26

B.	Estandarización de la solución – POE’S (plan de control).....	27
C.	Conclusiones.....	28
D.	Recomendaciones	29
VI.	GLOSARIO	29
IV.	REFERENCIAS.....	31
V.	ANEXOS.....	32

Índice de Tablas

TABLA I.	REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERÉS.....	7
TABLA II.	RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO	12
TABLA III.	PLAN DE TRABAJO.....	19
TABLA IV.	TABLA DE ANEXOS	32

Índice de Figuras

Fig. 1.	Producción mensual de ladrillos de arcilla en Colombia a nivel regional para el año 2015.....	3
Fig. 2.	Diagrama de Pareto por tipo de defecto agosto 2021 – enero 2022	4
Fig. 3.	Diagrama de Pareto de fisurados por tipo de ladrillo agosto 2021 – enero 2022.....	4
Fig. 4.	Diagrama de Pareto de costos por defecto agosto 2021 – enero 2022	5
Fig. 5.	Mapa de interesado por capas del grupo de interesados del proyecto	6
Fig. 6.	Diagrama de flujo del proceso de fabricación de ladrillo de arcilla en la empresa La Samaritana	9
Fig. 7.	Sistema SIPOC para el proceso de fabricación de ladrillo de arcilla en la empresa La Samaritana S.A.S.	9
Fig. 8.	Gráfico de líneas para porcentajes de ladrillo fisurado por turno de enero a marzo de 2023	10
Fig. 9.	Gráfico de líneas para costos de ladrillo fisurado por turno de enero a marzo de 2023.....	11
Fig. 10.	Diagrama de Ishikawa para unidades de farol liso en el secadero rápido	13
Fig. 11.	Análisis de los 5 por qué’s.....	14
Fig. 12.	Diagrama de Pareto de acuerdo con el factor más influyente en el proceso de fabricación ANTES de la mejora.....	15
Fig. 13.	Análisis Post-Anova de los factores influyentes.....	15
Fig. 14.	Análisis Post-Anova comparando 2 factores influyentes contra el factor respuesta	16
Fig. 15.	Técnica de ideación de SCAMPER para el criterio raíz identificado.....	18
Fig. 16.	Matriz de preferencias para selección de alternativas a la problemática identificada	19
Fig. 17.	Análisis de varianza con los factores más influyentes.....	22
Fig. 18.	Diagrama de Pareto de acuerdo con el factor más influyente en el proceso de fabricación DESPUÉS de la mejora.....	22
Fig. 19.	Gráficos de validación de los supuestos del Anova	23
Fig. 20.	Gráficos de condiciones óptimas de operación.....	24
Fig. 21.	Gráficos de líneas del % ladrillos fisurados del antes y el después de la mejora.	25
Fig. 22.	Gráficos de líneas de los costos por ladrillos fisurados antes y el después de la mejora	25
Fig. 23.	Resumen de los indicadores de desempeño	26
Fig. 24.	Comparación de los indicadores antes y después de la mejora	26

I. DEFINIR

A. Contexto y Justificación

La producción de ladrillos y bloques en Colombia se lleva a cabo principalmente por medio de la extracción y transformación de arcilla. Este proceso involucra el uso de maquinaria especializada y la aplicación de altas temperaturas en hornos industriales para la cocción de los materiales. Esta industria es una de las más importantes en el sector de la construcción en el país, la cual se dedica a la fabricación y comercialización de diferentes tipos de ladrillos que son utilizados en la construcción de edificios, viviendas, infraestructuras y otras obras civiles. La fabricación de ladrillos es una actividad económica que tiene una gran importancia en la generación de empleo y en el desarrollo regional, ya que para el 2020 según la Encuesta Anual de Manufactura realizada por el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) se encuentra que la fabricación de productos no metálicos, entre los que se incluye la fabricación de productos de arcilla, empleó a 27 815 personas, equivalente al 4,2% de los empleos generados por procesos de manufactura [1].

Según los datos proporcionados por el DANE, el producto interno bruto (PIB) de Colombia en el año 2018 ascendió a 976 billones de pesos. Este indicador económico representa el valor total de todos los bienes y servicios finales producidos en el país durante un período determinado. En 2018, la fabricación de productos no metálicos contribuyó con 11,8 billones de pesos al PIB colombiano, lo que representa aproximadamente el 1,2% del total [2]. Esta cifra refleja la importancia que tiene esta actividad económica en la generación de riqueza y empleo en el país. Por otro lado, también se puede analizar el diagnóstico de producción de ladrillos en Colombia por departamento, según la información recopilada en el Inventario Nacional del Sector Ladrillero Colombiano emitido por el CAEM (Corporación Ambiental Empresarial), se ha identificado que la mayor concentración de la industria ladrillera se encuentra en los departamentos de Boyacá, Cundinamarca y Valle del Cauca, representando en conjunto el 62% de la industria identificada. Boyacá es el departamento que lidera la representatividad del sector a nivel nacional, con una participación del 28%, seguido de Cundinamarca y Valle del Cauca, que tienen una participación del 17% cada uno. Se ha estimado la producción mensual regional y se ha caracterizado el número de ladrilleras y hornos en cada departamento para el año 2015, la cual se puede observar en la Fig. 1 [3].

Departamento	Producción (t/mes)	Número de ladrilleras caracterizadas	Número de hornos
Bogotá D.C y Cundinamarca	271 956	262	450
Norte de Santander	147 350	87	328
Antioquia	157 0 693	101	43
Valle del Cauca	107 903	257	282
Huila	76 232	102	195
Boyacá	40 222	418	441
Cesar	46 706	14	196
Atlántico	30 660	6	11
Santander	16 063	16	15
Caldas	12 407	8	11
Otras Regiones	151 465	1 508	2 435

Fig. 1. Producción mensual de ladrillos de arcilla en Colombia a nivel regional para el año 2015 [4].

La empresa *La Samaritana S.A.S.* inició operaciones en el año 2015 en la región del Valle del Cauca, con el objetivo de producir ladrillos de alta calidad a partir de arcilla; a lo largo de los años, ha logrado consolidarse en el mercado gracias a su constante innovación y tecnificación de los procesos de producción. Uno de los principales logros de la compañía ha sido la eliminación de cuellos de botella en el proceso de secado de los ladrillos, mediante la implementación de una secadora rápida italiana, lo que ha permitido una mayor eficiencia en la producción y crecimiento de la capacidad de la planta pasando de producir mil toneladas/mes a dos mil quinientas toneladas/mes lo que representa aproximadamente el 2,11% (ver Anexo 1) en la producción de la región del Valle del Cauca mensualmente.

De acuerdo con la información suministrada por la empresa, al finalizar el proceso de secado se evidencia ladrillos defectuosos, en consecuencia, existe una cantidad significativa de defectos. La empresa maneja 6 referencias de ladrillos, las cuales son: Farol liso, farol rayado, farol de 3 huecos, estructural 1, estructural 2 y bloquelón, estas pueden presentar los siguientes defectos:

fisurado, despuntado y húmedo. El fisurado son grietas las cuales aparecen en la superficie de los ladrillos, estas grietas pueden ser causadas por un secado rápido o por la mala calidad de la arcilla; el despuntado hace referencia a un defecto en el cual hay un desprendimiento o rotura de una esquina o borde de un ladrillo; por último, el húmedo es un defecto que se produce cuando el posee un porcentaje excesivo de humedad.

La empresa proporcionó una base de datos realizada en el periodo de agosto del 2021 a enero del 2022 (ver Anexo 4) con información relacionada a la producción y costos en el proceso de secado por turno (cabe mencionar que se tiene uno por día), por tipo de ladrillo, por tipo de defecto, por cantidad de defectuosos; con los datos suministrados por la compañía realizamos un Análisis por Pareto ilustrado en la Fig. 2.

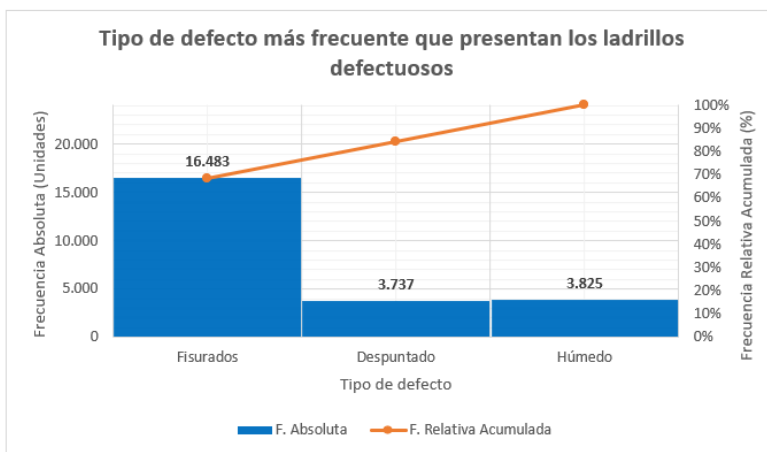


Fig. 2. Diagrama de Pareto por tipo de defecto agosto 2021 – enero 2022 [5,6].

Mediante el análisis de Pareto se logró identificar que, de un total de 24 025 ladrillos producidos, el número de unidades que presenta el tipo de defecto fisurado es de 16 483, equivalente al 68,60% del total de unidades que presentaron defectos entre los meses de agosto de 2021 a enero de 2022. Una vez identificado esto, se procedió a filtrar la base de datos por unidades fisurados para determinar en qué referencia es más frecuente encontrar este tipo de defecto (Fig. 3.).

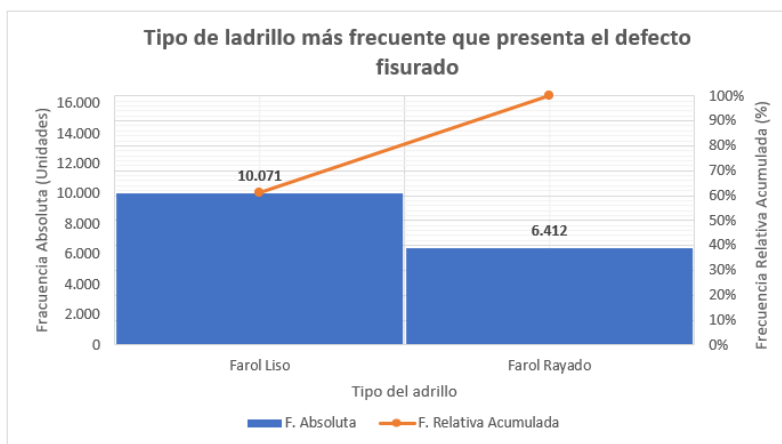


Fig. 3. Diagrama de Pareto de fisurados por tipo de ladrillo agosto 2021 – enero 2022 [5,6].

Con Diagrama de Pareto filtrado por tipo de defecto fisurado como se muestra en la Fig. 3, se identificó que el tipo de ladrillo que presenta mayor número de unidades desechadas por fisuras es el ladrillo liso con 10 071 unidades defectuosas sobre un total 16 483 ladrillos que presentaron defectos, equivalente a un 61,09%. Cabe mencionar que se analizaron 2 referencias de productos, esto debido a que, para este tiempo, la empresa La Samaritana S.A.S. producía principalmente estas, y no se contaba con las 6 referencias que actualmente se tiene, además que, 3 de ellas se producen por pedido (farol de 3 huecos, estructural 1, estructural 2). Una vez realizado estos análisis se quería determinar cuál es el tipo de defecto que más le está costando a la empresa, por lo que se procedió a la construcción de un tercer Diagrama de Pareto para este análisis, el resultado se ilustra en la Fig. 4.

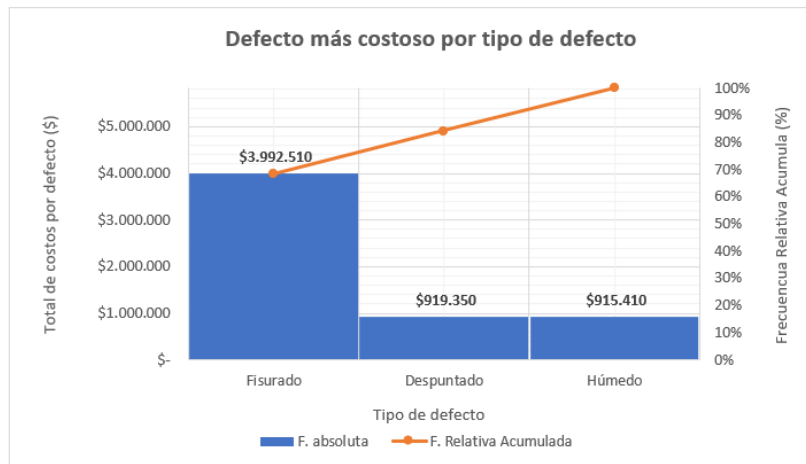


Fig. 4. Diagrama de Pareto de costos por defecto agosto 2021 – enero 2022 [5,6].

El último Diagrama de Pareto arrojó que el costo total de los ladrillos defectuosos fue de 5 827 270 COP, de los cuales por tipo de defecto fisurado representa el 68,60% de estos costos equivalente a 3 992 510 COP, lo que reafirma que se debe realizar un enfoque en el tipo de defecto fisurado, y con un énfasis en las referencias de ladrillo liso.

Reducir los ladrillos defectuosos mediante la propuesta de una mejora en una ladrillera es importante por diversas razones: calidad del producto final, ya que puede reducir su valor en el mercado y aumentar la satisfacción del cliente; costos, la producción de ladrillos defectuosos es costosa porque representa una pérdida de materiales y mano de obra; seguridad, los ladrillos defectuosos pueden ser peligrosos para los trabajadores y los consumidores, los ladrillos que se rompen fácilmente pueden causar lesiones a los trabajadores y los que se desmoronan pueden causar deterioros a los edificios y estructuras. La reducción de ladrillos defectuosos es aplicable para cualquier lugar donde se produzcan estos.

El equipo del proyecto se enfocará en la reducción de los ladrillos defectuosos, para el tipo de defecto fisurado que se presentan mayoritariamente en los ladrillos lisos después de terminar el proceso de secado rápido.

B. Grupos de interés

La identificación y gestión de los grupos de interés es esencial para el éxito de la reducción de ladrillos defectuosos en la ladrillera, ya que permite a los estudiantes tener una visión más completa del contexto en el que se desarrolla y ayuda a garantizar que el trabajo sea relevante, efectivo y sostenible. Además, la identificación temprana de los grupos de interés puede ayudar a prevenir posibles conflictos y a facilitar la colaboración y el diálogo entre los diferentes grupos involucrados. Aquellos individuos, organizaciones o comunidades que se ven afectados directa o indirectamente por el proyecto que tiene como finalidad reducir los ladrillos defectuosos y que tienen un interés en su resultado o impacto, se encuentran a continuación:

1) Clientes:

Los clientes de la ladrillera son un grupo de interés importante, ya que están interesados en la calidad de los productos que compran. Una reducción en los defectos y una mejora en la calidad de los productos pueden ayudar a mantener a los clientes satisfechos y leales a la empresa.

2) Departamento de calidad:

El departamento de calidad de la ladrillera es un grupo de interés clave en este proyecto, ya que está interesado en mejorar la calidad de los productos que se fabrican. Además, un proyecto que busque lograr una reducción en la cantidad de ladrillos defectuosos puede ayudar a identificar y prevenir problemas de calidad.

3) Departamento de producción:

El departamento de producción es otro grupo de interés clave, ya que está interesado en reducir los productos defectuosos en la ladrillera, por lo tanto, reducir los costos asociados con la operación de la ladrillera. Una mejora también puede ayudar a aumentar la capacidad de producción y mejorar la entrega de los productos a los clientes.

4) Accionista:

Los accionistas de la ladrillera también son un grupo de interés importante, ya que están interesados en maximizar el retorno de su inversión. Una mejora que disminuya los defectuosos y aumente la calidad de los productos puede tener un impacto positivo en los resultados financieros de la empresa y, por lo tanto, en el valor de las acciones.

5) Equipo del proyecto:

El equipo de trabajo del proyecto es un grupo de interés que está directamente involucrado en el proceso de fabricación de los ladrillos y reducir los defectos que resultan de este, ya que su interés principal es completar el proyecto con éxito, mejorar su experiencia y habilidades en el área de calidad y producción, y contribuir al éxito general de la empresa.

Haciendo uso del del método “Stakeholders Onion Diagram” se identifican y priorizan los grupos de interés, estos se ubican en capas en función de su nivel de influencia e interés en el proyecto. La capa más interna representa a los grupos de interesados más importantes e influyentes, mientras que la capa externa representa a los grupos de interesados menos importantes o influyentes. Siguiendo este modelo, se podría ubicar a los grupos de interesados como se muestra en la figura 1 y se describe a continuación: Capa 1: Departamento de calidad (interés alto, influencia alta) y Equipo del proyecto (interés alto, influencia alta); Capa 2: Clientes (interés alto, influencia media), Departamento de producción (interés alto, influencia media); Capa 3: Accionistas (interés medio, influencia media).

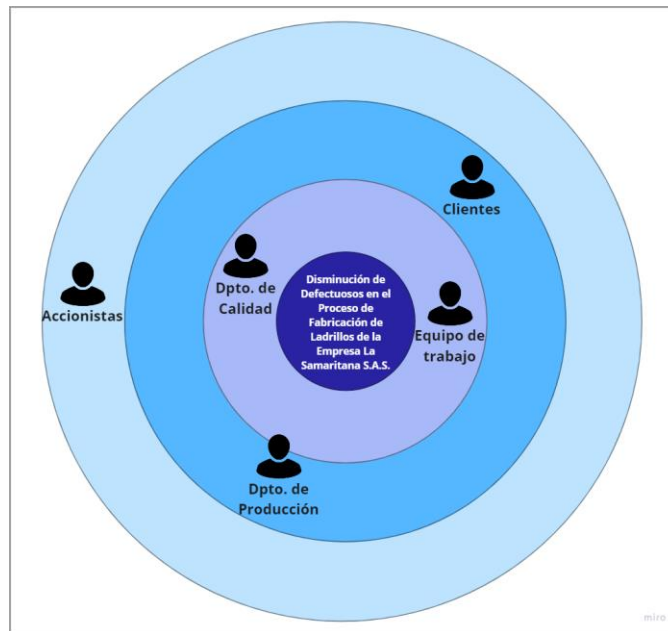


Fig. 5. Mapa de interesado por capas del grupo de interesados del proyecto.

En este caso, el departamento de calidad y producción y el equipo del proyecto son los grupos de interesados más importantes y de mayor influencia en el proyecto, por lo que se ubican en la capa interna. Los clientes también son un grupo importante e interesado en el proyecto, pero su influencia es menor, por lo que se ubican en la capa media. Finalmente, los accionistas son un grupo interesado en el proyecto, pero su influencia es menor que la de los otros grupos, por lo que se ubican en la capa externa.

C. Requerimientos

Como equipo de trabajo encargado de este proyecto, es importante considerar las necesidades de los diferentes grupos de interés involucrados en la producción de ladrillos. En primer lugar, el departamento de calidad es un grupo clave para garantizar que los ladrillos producidos cumplan con los estándares requeridos. Una reducción en los defectos presentes en los ladrillos es esencial para lograr una alta calidad en los productos. Por lo tanto, es necesario realizar pruebas y controles rigurosos en cada etapa de los procesos necesarios para fabricar ladrillos y de esta forma garantizar que se cumplan los requisitos de calidad.

Por otro lado, el departamento de producción es otro grupo de interés importante en este proyecto. Se desea mejorar la eficiencia y la productividad de la planta, por lo que una reducción en los defectuosos puede producir ladrillos de alta calidad en un tiempo más corto.

Los accionistas también son un grupo importante de interés en este proyecto. Como propietarios de la empresa, buscan maximizar la rentabilidad y mejorar el desempeño financiero. Una reducción en los ladrillos defectuosos puede aumentar la productividad y disminuir los costos operativos, lo que impactaría positivamente en los resultados financieros de la empresa.

Los clientes son otro grupo de interés fundamental en este proyecto. Los ladrillos producidos por la planta deben cumplir con los requisitos de calidad, dentro de los cuales están relacionado con las propiedades físicas, paredes y perforaciones, dimensiones modulares, tolerancia de dimensiones y la eflorescencia, pero presentan interés principalmente por los límites de defectos superficiales.

Por último, como equipo de trabajo encargado del proyecto, debemos considerar nuestras propias necesidades y requerimientos. Debemos asegurarnos de que la mejora sea práctica y eficiente, y que pueda ser implementada de manera efectiva en la planta. Además, debemos ser capaces de documentar el proceso y capacitar al personal para que puedan implementarlo adecuadamente.

TABLA I.
REQUERIMIENTOS DE LOS GRUPOS DE INTERÉS

Grupos de Interés	VoC (Requisitos Grupos de Interés)	Restricciones de Diseño	Especificaciones de Diseño	Leyes, Normas Y Estándares	
				Legislación Y Requisitos Aplicables	Importancia O Efecto
Equipo de trabajo	Cumplir los requisitos de los grupos de interés reduciendo los ladrillos defectuosos	Falta de experiencia y conocimiento técnico; Limitación en el tiempo y recursos disponibles para implementar mejoras	El diseño debe ser seguro y fácil de implementar de manera que logre tener un porcentaje de defectuosos inferior al 3% y minimizar costo de ladrillos defectuosos	Normas IEEE	Trabajar bajo los estándares de esta norma nos permite presentar un trabajo mejor organizado ya que se deben cumplir normas de citación a lo largo del documento
Departamento de calidad	Calidad del producto: mejorar el cumplimiento de requisito de los límites de defectos superficiales	Variaciones en la calidad de la materia prima, falta de personal capacitado para trabajar con los diferentes tipos de materia prima	Aumentar la calidad a un 96% o más en producto conforme y reducir los defectuosos teniendo en cuenta los límites de defectos superficiales (NTC-4205 índice 5.6)	NTC 4205	Establece los requisitos y procedimientos para el diseño y construcción de estructuras de mampostería en Colombia
Departamento de producción	Aumento de eficiencia del proceso de secado	Limitaciones de presupuesto y recursos	Aumentar la capacidad de secado en un 15% por hora	Normas y estándares de producción	Cumplimiento de los estándares y prácticas de producción establecidos
Accionistas	Aumento de la calidad del producto final para mantener una buena reputación en el mercado y aumento en la rentabilidad	Costos de producción elevados debido al desperdicio en el proceso de secado, además de, consumos elevados de carbón en el secadero	Disminuir al menos 3% de desperdicios al finalizar el proceso de fabricación	Ley 963 de 2005	Por la cual se instaura una ley de estabilidad jurídica para los inversionistas en Colombia.
Clientes	Calidad que garanticen su durabilidad a largo plazo	Cumplir con todos los criterios de calidad según la normativa	Cumplimiento de las características y especificaciones que debe tener un ladrillo	NTC 4205	Garantía de que los ladrillos cumplen con los estándares de calidad y seguridad requeridos por los clientes

En conclusión, el proyecto diseño de un sistema de control de humedad en la materia prima para reducir defectuosos en una ladrillera es importante para satisfacer las necesidades y requerimientos de los diferentes grupos de interés involucrados en la producción de ladrillos. El departamento de calidad busca asegurar la calidad del producto final, el departamento de producción busca mejorar la eficiencia y la productividad, los accionistas buscan maximizar la rentabilidad, los clientes buscan ladrillos de alta calidad y duraderos, y el equipo de trabajo busca un método de secado práctico y eficiente. Todos estos objetivos pueden ser alcanzados mediante el desarrollo de una mejora. Lo anterior se va medir mediante indicadores que se propondrán en etapas posteriores.

II. MEDIR

A. Plan de recolección de datos

Para el equipo de trabajo, es importante tener un plan de recolección de datos sólido (Anexo 5) para poder identificar y resolver el problema en la ladrillera, En el caso de la empresa La Samaritana S.A.S. se ha identificado un problema con la cantidad de ladrillos defectuosos que se evidencian al finalizar el proceso de secado rápido. Para resolver este problema, es necesario tener

una comprensión clara del mismo y contar con datos precisos para analizarlo adecuadamente. En primer lugar, se realizó una clasificación de las variables que se tomaron en cuenta en la recolección de datos, de acuerdo con los requisitos establecidos por los grupos de interés. Estos requisitos incluyen la calidad del producto, la eficiencia del proceso y la disminución de costos por ladrillos fisurados. Al clasificar las variables de esta manera, se pueden identificar las áreas específicas que se deben analizar para resolver el problema.

En este estudio se identificaron varias variables para el control de calidad del producto, las cuales incluyen la dureza, humedad, unidades defectuosas (fisuradas) y el retenido de arena. La dureza se refiere a la resistencia mecánica de los ladrillos y se mide a través de un penetrómetro ST 207 análogo, el cual mide la dureza en kg/cm^2 . Se realiza cada 30 minutos, unas 15 veces por turno, antes de iniciar el proceso de secado. El objetivo de medir la dureza es asegurar que el ladrillo tenga la resistencia necesaria para soportar las cargas y esfuerzos a los que estará expuesto en la construcción de una estructura. Por otro lado, la humedad es otra variable importante que se debe controlar. Se define como la cantidad de agua que contiene un ladrillo en relación con su peso. Para calcular la humedad se toman varias fracciones de los ladrillos en el proceso de extrusión (de la cara, el centro y la parte superior), se toman pesos iniciales, se llevan a un horno a $200\text{ }^\circ\text{C}$ durante 2 horas y se toma el peso final para el cálculo de la humedad. La medición se realiza antes de iniciar el proceso de secado rápido y al terminar este con ayuda de una balanza digital.

Las unidades defectuosas son aquellas que al finalizar el proceso de secado presentan algún tipo de fisura o defecto, por lo tanto, no son aptas para continuar a la etapa de cocción. La medición de esta variable nos permitirá conocer el porcentaje de unidades defectuosas en un turno, lo que es necesario para calcular el costo de tener unidades defectuosas en un periodo. Además, nos permite medir la proporción de ladrillos lisos que salen fisurados en relación con el total de ladrillos secos por turno. Para la toma de este dato se registran todos los ladrillos lisos que salen fisurados por turno al finalizar el proceso de secado rápido y se registra la cantidad en una base de datos electrónica.

El retenido de arena es otra variable que se debe controlar para garantizar la calidad del producto. Esta variable permite saber la cantidad de arena presente en la mezcla que se utiliza para fabricar los ladrillos. Para realizar el cálculo se toman 100 gramos de la mezcla que se encuentra en el almacén de materia prima y se llevan al laboratorio de calidad donde esta es disuelta en agua. La mezcla se somete a un tamiz 200 para separar la arena húmeda de la arcilla. La arena se deja secar y se toma su peso y este se divide entre los 100 gramos que se tomaron como muestra para obtener el porcentaje de arena en la mezcla.

Para evaluar la eficiencia del proceso, se identificaron tres variables: consumo de energía eléctrica, consumo de carbón y eficiencia del secado. El consumo de energía eléctrica se mide en kWh y representa la cantidad de energía eléctrica necesaria para que el secadero funcione de manera rápida. El objetivo de esta variable es determinar cuánta energía eléctrica se requiere para un turno y se compara con la ficha técnica del secadero, que indica que el consumo de energía eléctrica es de 7 kW por tonelada de ladrillo seco.

La variable de consumo de carbón se refiere a la cantidad de kilogramos de carbón necesarios para generar y mantener el calor dentro del secadero. Esta cantidad se registra en una base de datos electrónica y se obtiene multiplicando el peso de cada palada de carbón (5 kg) por la cantidad de paladas utilizadas durante un turno.

La eficiencia del secado se mide en términos de la cantidad de ladrillos lisos secados sin defectos durante un turno. Para obtener este valor, se registra la cantidad de ladrillos secos sin defectos y se requiere de personal sin limitaciones visuales que pueda determinar cuándo un ladrillo no presenta ningún tipo de defecto.

El último criterio por considerar es la disminución de costos, y su única variable es el costo total de las unidades defectuosas. Esta variable permite una mejor comprensión de los costos de producción y los efectos que los ladrillos fisurados tienen en el resultado final de la empresa. Para calcular esta variable, se registra la cantidad de ladrillos lisos fisurados por turno y se multiplica por el costo que tienen al finalizar el proceso de secado rápido. Es importante que este cálculo sea preciso y completo, incluyendo todos los costos asociados con la producción de los ladrillos lisos, tanto directos como indirectos, así como el costo de oportunidad de los recursos utilizados.

B. Medición del sistema actual

Para conocer cómo se encuentra la empresa y realizar un análisis macro al funcionamiento dentro La Samaritana S.A.S. es necesario realizar una medición detallada del sistema actual, identificando sus puntos críticos, cuellos de botella y puntos de mejora. Con base en esta información, se podrán establecer los indicadores de desempeño (KPI's) pertinentes y definir la meta de mejora a alcanzar. La implementación de las acciones de mejora permitirá verificar que el sistema actual ha cambiado y que se ha logrado una disminución significativa en la cantidad de unidades defectuosas, contribuyendo así a mejorar la calidad del producto final y la competitividad de la empresa en el mercado. Con base en la información suministrada de la empresa para marzo de 2023, el equipo de trabajo consideró pertinente realizar Diagrama de Flujo de Proceso y un SIPOC (Supplier, Input, Process, Output, Customer), para conocer cómo funciona el proceso de fabricación de ladrillos de arcilla en la empresa La Samaritana S.A.S. qué se necesita y qué se obtiene en cada subproceso.

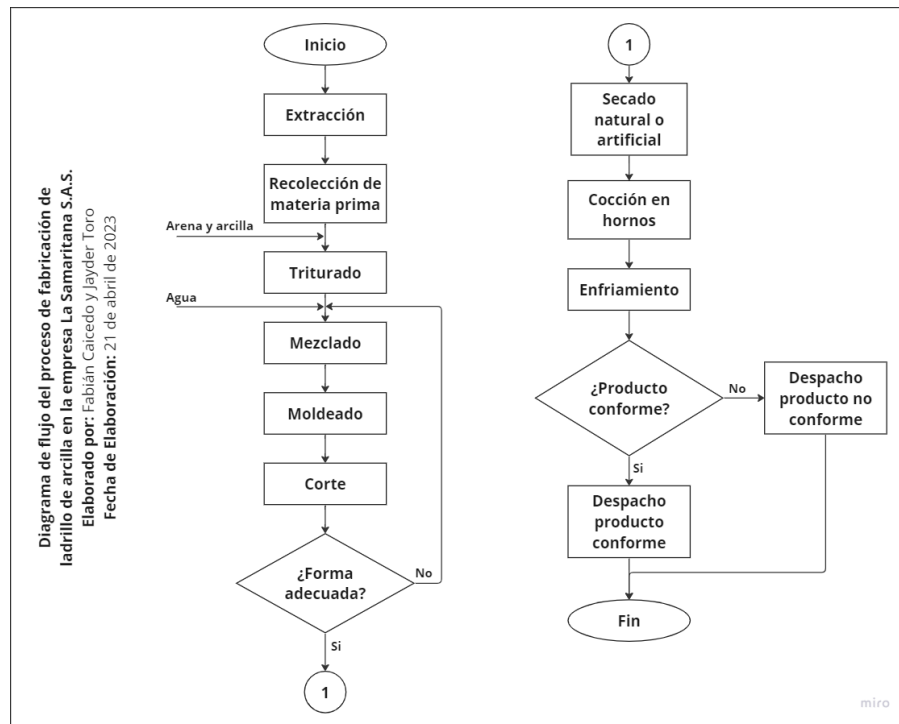


Fig. 6. Diagrama de flujo del proceso de fabricación de ladrillo de arcilla en la empresa La Samaritana S.A.S.

Del diagrama de flujo del proceso de fabricación de ladrillo de arcilla en la empresa ilustrado en la Fig. 6, se puede identificar que este requiere de 9 subprocesos los cuales son: obtención de materia prima (se unifica los procedimientos de extracción y recolección de materia prima debido a que la empresa se provee de una empresa externa), triturado, mezclado, moldeado, corte, secado (se unifica las dos opciones de secado al que se puede someter el ladrillo extruido), cocción, enfriamiento, almacenaje de producto terminado. Una vez identificado los subprocesos, se analiza los proveedores, entradas, salidas y clientes de cada subproceso mediante un sistema de SIPOC como se muestra en la Fig. 7.

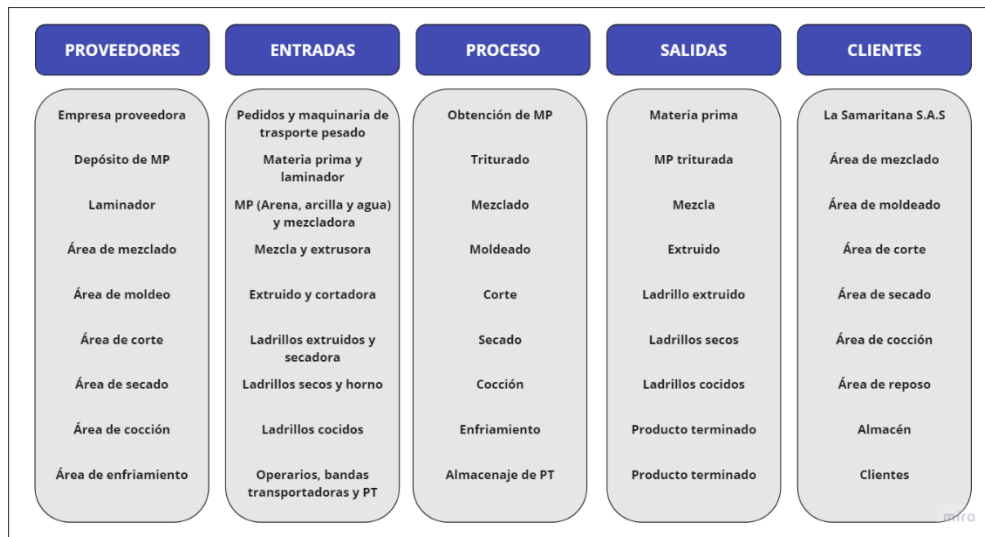


Fig. 7. Sistema SIPOC para el proceso de fabricación de ladrillo de arcilla en la empresa La Samaritana S.A.S.

Del sistema SIPOC para el proceso de fabricación de ladrillo de arcilla en la empresa se identifica lo que requiere y el resultado en cada subproceso, además de, conocer de quién o qué requiero ciertos materiales o insumos para llevar a cabo su labor, dicho esto, de los gráficos realizados se describe de cada subproceso lo siguiente:

- Obtención de materia prima: Arena y arcilla se adquieren de un proveedor, se transportan a la planta de producción y se almacenan en un depósito separado mediante maquinaria pesada.
- Triturado: La materia prima se extrae del depósito y se tritura en un laminador para reducir su tamaño y facilitar su manejo y mezclado. El producto resultante es la materia prima triturada que se destina al área de mezclado.
- Mezclado: La materia prima triturada se mezcla con agua y otros componentes para obtener una combinación adecuada para la fabricación de ladrillos. La mezcla se realiza mediante un laminador y luego se transporta a la tolva en el área de moldeado mediante una banda transportadora.
- Moldeado: La mezcla de arcilla se coloca en moldes con la forma deseada utilizando una extrusora. La mezcla comprimida se mueve hacia adelante a través de un tornillo sin fin y se fuerza a través de la abertura de la matriz, formando así el "ladrillo extruido". Los ladrillos resultantes son transportados por una banda transportadora al área de corte.
- Corte: Los ladrillos se cortan para separarlos y darles su tamaño y forma final. Este proceso se realiza automáticamente utilizando una cortadora de alambre. Los ladrillos se mueven en una banda transportadora en lotes y luego ingresan al área de secado.
- Secado: El objetivo de este subproceso es reducir la humedad de los ladrillos y mejorar su resistencia. Puede realizarse de manera natural al aire libre o en un horno especial de secado rápido. En La Samaritana S.A.S, generalmente se utiliza el secado rápido. Los ladrillos secos se transportan al área de cocción.
- Cocción: Los ladrillos secos se someten a altas temperaturas en hornos especiales para endurecerlos y mejorar sus propiedades mecánicas. Luego, se dejan enfriar en el horno antes de ser retirados y se trasladan al almacén de producto terminado.
- Enfriamiento: Después de la cocción, los ladrillos se enfrían en el horno para evitar deformaciones o roturas debido a cambios bruscos de temperatura. Una vez enfriados, se destinan al almacén de producto terminado utilizando operarios y una banda transportadora.
- Almacenaje de producto terminado: Los ladrillos se almacenan en bodegas o patios de almacenamiento para su protección contra la humedad y el deterioro. Están listos para su distribución y venta.

El análisis y control del porcentaje de ladrillos fisurados durante el proceso de secado es crucial para garantizar la calidad de los productos en la empresa de manufactura de ladrillos de arcilla. En este proyecto, se llevó a cabo un estudio para comprender el comportamiento de este indicador clave por turno y su impacto en la calidad final de los productos.

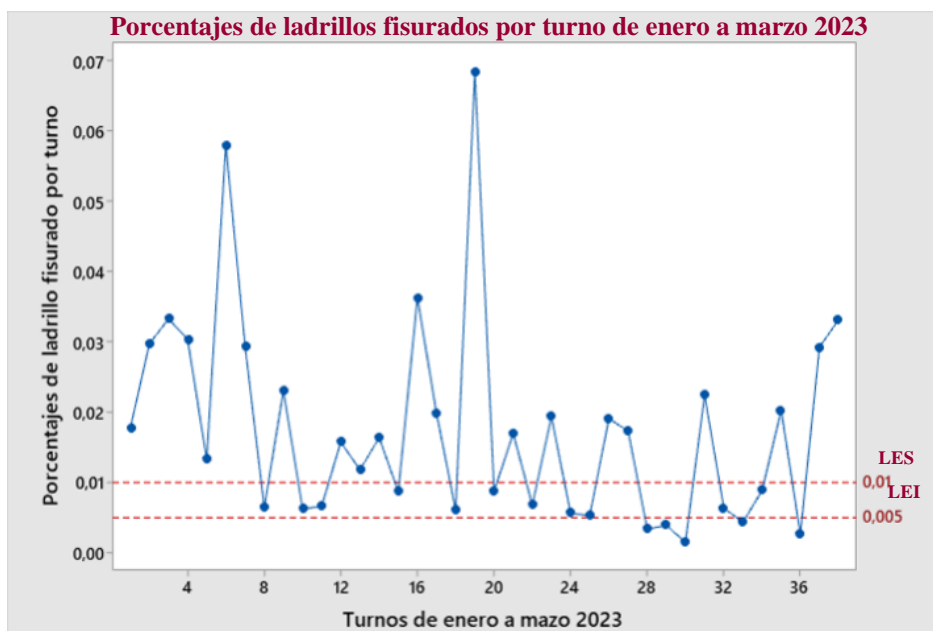


Fig. 8. Gráfico de líneas para porcentajes de ladrillo fisurado por turno de enero a marzo de 2023.

En la Fig. 8 se presenta un Gráfico de Líneas que se centra específicamente en el porcentaje de ladrillos fisurados por turno durante el proceso de secado. El objetivo principal de este gráfico es identificar patrones, tendencias y posibles variaciones en los datos recopilados a lo largo del tiempo. Es importante destacar que el límite de especificación establecido para este indicador es del 1%. Sin embargo, al analizar se observa una variación significativa en los datos, y en algunos casos, superaron este límite de especificación. Esta variabilidad alertó sobre la necesidad de investigar las posibles causas y abordar cualquier problema

subyacente en el proceso de secado. Este análisis de los datos proporciona una visión clara de la situación actual y guía para la implementación de medidas correctivas y preventivas. Actualmente, se encuentra un gran número de datos por fuera de los límites de especificación establecidos para el porcentaje de ladrillos fisurados durante el proceso de secado, con un 57,89%. Además, se determinó un nivel sigma de 0,0398, indicando que se encuentra en el nivel 1, por ende, un rendimiento inferior al 30% y muy por debajo de nuestro objetivo el cual es un nivel sigma de 4 con un rendimiento del 99,37% (ver Anexo 7). Se llevó a cabo un análisis de los costos asociados a la mala calidad durante el proceso de secado. El segundo gráfico de línea que se construyó se enfoca en el comportamiento de los costos de mala calidad por turno en el proceso de secado.

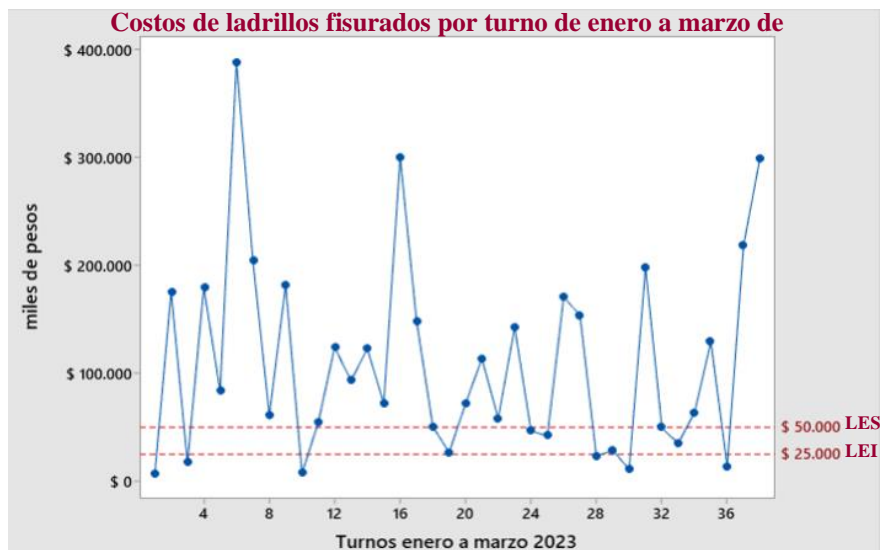


Fig. 9. Gráfico de líneas para costos de ladrillo fisurado por turno de enero a marzo de 2023.

En la Fig. 9 se presenta gráfico de línea para identificar patrones y tendencias en los costos de mala calidad, específicamente aquellos que superan el límite de especificación establecido en 50 000 COP por turno. Este gráfico de línea, junto con el análisis detallado de los costos de mala calidad, proporciona una visión clara de la situación actual y guía en la implementación de acciones correctivas y preventivas. A través de este proyecto, se pueden llegar a optimizar los costos y asegurar que la empresa opere con eficiencia y competitividad en el sector de la manufactura de ladrillos de arcilla. Actualmente, se encuentra un gran número de puntos por fuera de los límites de especificación establecidos para los costos de mala calidad durante el proceso de secado, con un 68,42%. Además, se determinó un nivel sigma de 0,2744, indicando que se encuentra en el nivel 1, por ende, un rendimiento inferior al 30% y muy por debajo de nuestro objetivo el cual es un nivel sigma de 4 con un rendimiento del 99,37% (ver Anexo 7).

Teniendo en cuenta la información anterior como equipo de trabajo se logró identificar algunos puntos en que el proceso presenta errores, al analizar los datos suministrados de la trazabilidad de producción se pudo observar que el proceso no es estable ya que presenta variaciones en múltiples variables tales como la dureza del ladrillo, la humedad y las variaciones de materia prima, estas variables son en el proceso de extrusión que es la etapa previa al secado.

Desde el análisis, se identificaron varias oportunidades de mejora en el proceso de producción de ladrillos. En primer lugar, se ha observado que las variables de humedad y dureza en la etapa de extrusión tienen un impacto significativo en la calidad del ladrillo y su posterior secado. Por lo tanto, posiblemente si se aumenta el ciclo de secado disminuyendo la velocidad de este en casos donde se registra una humedad muy alta y una dureza muy baja. Si bien esto podría disminuir la cantidad de ladrillos defectuosos, también afectaría el rendimiento y la cantidad de ladrillos secos producidos por hora. Es importante comparar los costos de producción y los beneficios potenciales de esta mejora, teniendo en cuenta la disminución de los ladrillos defectuosos y el aumento del costo energético y de carbón debido a la disminución del rendimiento. En resumen, es necesario evaluar cuidadosamente la viabilidad y rentabilidad de esta mejora antes de implementarla en la producción de ladrillos.

Una solución adicional para mejorar la calidad de los ladrillos sería implementar un control riguroso de calidad en las materias primas, desde su almacenamiento hasta su utilización en el proceso de producción. Una posible mejora sería llevar un registro de la humedad de las materias primas antes de almacenarlas y, de acuerdo con los resultados, clasificarlas por zonas, desde la más húmeda hasta la más seca. De esta manera, al momento de ser utilizadas, se tendría un mapeo de las materias primas y se sabría cuáles son las zonas que deben ser utilizadas primero. Con este enfoque, se podría minimizar la variación en la calidad de los ladrillos producidos debido a las variaciones en la humedad de las materias primas utilizadas.

TABLA I.
RESULTADOS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

Variable	Objetivo	Descripción	Indicador	Actualidad	Meta
Dureza	Asegurar que el ladrillo tenga la resistencia para soportar cargas y esfuerzos	Resistencia de los ladrillos a la penetración, la abrasión y el rayado	Unidad de medida (kg/cm ²)	1,2 kg/cm ² a 1,7 kg/cm ²	> 1,5 kg/ cm ²
Humedad	Determinar la cantidad de agua en un ladrillo	Cantidad de agua que contiene un ladrillo	$\% \text{ humedad} = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$ Ph: Peso húmedo Ps: Peso seco	24%	18% a 20%
Unidades defectuosas (Fisuradas)	Saber la cantidad de ladrillos que salen defectuosos	Unidades de ladrillo liso que al finalizar el secado están fisuradas	$\% \text{ ladrillos fisurados} = \frac{Cf}{Cs} * 100$ Cf: Cantidad de ladrillos fisurados Cs: Cantidad de ladrillos secos por turno	2%	<1%
Retenido de Arena	Determinar la cantidad de arena que se usa para producir ladrillos	Cantidad de arena que queda atrapada o retenida en un tamiz o malla de tamaño específico	$\% \text{ retenido de arena} = \frac{Ga}{Gm} * 100$ Ga: Gramos de arena Gm: Gramos de mezcla	31,16%	28% a 32%
Consumo de energía eléctrica del secado	Determinar la cantidad de energía usada en el proceso de secado rápido	Consumo en Kw/h de energía eléctrica que se requiere para el secadero rápido funcione	Consumo en de energía (Kw) = 7Kw * Tonelada de ladrillo seco	514 Kw	514 kw
Consumo de carbón	Determinar la cantidad de carbón que se consume en el proceso de secado rápido	Cantidad en kilogramos de carbón requeridos en el proceso de secado	Consumo de carbón (Kg) = Cantidad de paladas por turno * 5kg	30 kg de Carbón/Ton seca	30 kg de Carbón/Ton seca
Costo total por unidades defectuosas	Tener una comprensión de los costos de producción relacionados con el defecto fisurado en el ladrillo liso	Lo que le cuesta a la empresa el tener x cantidad de productos defectuosos	Costo total por unidades defectuosas = Cantidad de ladrillos fisurados * Costo unitario en el proceso de secado	110 039 COP/turno	<50 000 COP/turno

III. ANALIZAR

A. Análisis de Causas

En esta etapa de análisis se utilizarán diversas herramientas como el diagrama de Ishikawa, los "5 por qué's y el análisis de variabilidad, entre otras, con el objetivo de descubrir las causas raíz que subyacen a la alta incidencia de ladrillos defectuosos. Estas herramientas permitirán explorar tanto factores internos como externos que podrían estar afectando la calidad del proceso de secado.

Al comprender en detalle las principales causas que contribuyen a la aparición de ladrillos defectuosos, el equipo de trabajo estará en una posición sólida para diseñar soluciones efectivas y orientadas a eliminar o reducir dichas causas. El enfoque adoptado se basará en un análisis exhaustivo de los datos y una evaluación rigurosa de la relación entre las variables involucradas en el proceso de secado. De esta manera, se buscará implementar mejoras y optimizaciones que conduzcan a una reducción significativa en la cantidad de ladrillos defectuosos, mejorando así la calidad del producto final.

A medida que el análisis avanza, el equipo de trabajo se encuentra comprometido en obtener un entendimiento de las causas y su impacto en la calidad del producto en la empresa manufacturera de ladrillos. El objetivo principal es implementar soluciones efectivas que generen un impacto positivo en la eficiencia, rentabilidad y satisfacción del cliente. A través de un análisis, se busca identificar las causas raíz de los problemas y desarrollar estrategias para abordarlos de manera efectiva. El equipo está dedicado a mejorar continuamente el proceso de producción de ladrillos, asegurando altos estándares de calidad y satisfaciendo las expectativas de los clientes.

Para determinar las posibles causas que ocasionan las fisuras en el proceso de secado de los ladrillos, se llevó a cabo una sesión de tormenta de ideas. Durante esta etapa, se generaron diversas ideas clave que podrían estar relacionadas con el problema en cuestión. Algunas de estas ideas iniciales incluyen: variación en la materia prima, mal diseño de la mezcla, falta de inspección en la calibración del molde de la extrusora, presencia de alta humedad en la materia prima debido a lluvias, falta de atención por

parte de los operarios, ausencia de control en las temperaturas del secadero, exceso de velocidad en el proceso de secado y falta de mantenimiento en el secadero.

Una vez recopiladas estas ideas, se procedió a elaborar un diagrama causa-efecto, también conocido como diagrama de Ishikawa o diagrama de espina de pescado. Este diagrama permite visualizar de manera clara las posibles causas que podrían contribuir a la aparición de las fisuras en los ladrillos durante el proceso de secado.

A continuación, se presenta el diagrama causa-efecto, en el cual se representan las ideas iniciales y se establecen las relaciones de causa y efecto entre ellas. El diagrama brinda una visión general de las diferentes áreas que podrían estar influyendo en la formación de fisuras en los ladrillos, y servirá como punto de partida para profundizar en el análisis y determinar las causas raíz del problema.



Fig. 10. Diagrama de Ishikawa para unidades de farol liso en el secadero rápido.

El diagrama causa-efecto que se muestra en la Fig. 10. es una herramienta valiosa que ayuda a identificar las causas subyacentes que contribuyen al problema de las fisuras en el proceso de secado de los ladrillos. En este diagrama se establece 4 espinas, las cuales son: (Materia prima, Metodo, Maquinaria y Operarios) se consideran importantes ya que si cada una de estas esta controlada se puede llevar acabo un secado exitoso. A partir de este análisis, se logra priorizar y enfocar los esfuerzos en las áreas críticas que requieren atención, a fin de establecer acciones correctivas, efectivas para mejorar la calidad del proceso de secado.

El siguiente paso del proyecto es el análisis de cada una de las posibles causas identificadas en el diagrama causa-efecto. Mediante herramientas adicionales, buscaremos establecer relaciones de causa y efecto más precisas, y determinar las causas raíz que están generando las fisuras en los ladrillos durante el proceso de secado.

El objetivo final de este análisis es comprender a fondo las causas subyacentes del problema y desarrollar soluciones adecuadas y efectivas que permitan reducir significativamente la incidencia de ladrillos fisurados. Posterior a este diagrama se aplica el método de los 5 porqué's ver Fig. 11. Este enfoque nos permitirá profundizar en cada una de las posibles causas, formulando preguntas lógicas y coherentes para descubrir las causas subyacentes y llegar a la raíz del problema.

Análisis de los 5 por qué's	
1	¿Por qué se fisura el ladrillo liso en el secadero rápido?
	Porque hay un problema en la materia prima
2	¿Por qué hay un problema en la materia prima?
	Porque hay una mala composición
3	¿Por qué hay una mala composición?
	Porque hay variaciones de humedad en la materia prima
4	¿Por qué hay variaciones de humedad en la materia prima?
	Porque no hay separación de materia primas por humedad
5	¿Por qué no hay separación de materia primas por humedad?
	Porque no hay un control de humedad previo al ingreso de materia prima

Fig. 11. Análisis de los 5 por qué's.

El primer porqué plantea la pregunta de por qué se produce la fisuración en los ladrillos lisos en el secadero rápido. La respuesta se encuentra en un problema relacionado con la materia prima utilizada en el proceso de fabricación. El segundo porqué se enfoca en indagar las causas del problema en la materia prima. En este caso, se ha identificado una mala composición de esta como una de las principales razones. El tercer porqué busca profundizar en las causas de la mala composición de la materia prima. Se ha descubierto que las variaciones de humedad en la materia prima desempeñan un papel importante en este aspecto. El cuarto porqué se centra en comprender las razones detrás de las variaciones de humedad en la materia prima. Aquí, se ha encontrado que la falta de separación de las materias primas en función de su humedad es un factor contribuyente. Finalmente, el quinto porqué busca identificar la causa raíz de la falta de separación de las materias primas por humedad. Se ha determinado que la ausencia de un control adecuado de la humedad antes de la entrada de la materia prima al proceso de fabricación es el motivo principal. Al utilizar el método de los 5 porqués, se ha logrado profundizar en el análisis de las causas raíz que contribuyen a las fisuras en los ladrillos durante el proceso de secado. Este enfoque nos ha ayudado a comprender mejor los factores fundamentales que generan el problema, centrándonos en la falta de control de humedad y almacenamiento de la materia prima.

Después de realizar un análisis de las causas del problema, se utilizan diversas herramientas de análisis para obtener una comprensión más precisa y detallada. Entre las herramientas utilizadas se encuentran el análisis de correlación y regresión, el diseño de experimentos, el análisis de datos categóricos y las pruebas no paramétricas, para iniciar se realiza un diseño de experimento con una base de datos proporcionada por la empresa (Anexo 8) donde se tiene como objetivo modelar el comportamiento de una variable de respuesta Y (Porcentajes de ladrillo fisurado (%)) en función tres factores seleccionados con dos diferentes niveles: Temperatura inyección (°C) (140°, 160°), Humedad arcilla (%) (19%, 23%) y Velocidad cadena (Hz) (31 Hz, 34 Hz). Estos factores se seleccionaron de acuerdo al análisis ya que se evidencio que al mover alguna de estas variables obtenemos cambios en el proceso entonces debido a este análisis se escogieron los factores más relevantes del proceso

Para clasificar el factor más importante se realiza un diseño factorial que tiene como objetivo investigar el efecto de la Temperatura inyección (°C) (A), la Humedad arcilla (%) (B) y la Velocidad cadena (Hz) (C.) en el Porcentajes de ladrillo fisurado (%). Para ello se decide correr un experimento factorial 2x2x2 con tres réplicas y se registran las siguientes observaciones obtenidas en las 24 observaciones experimentales en campo. Donde se obtiene un Pareto y se establece el factor más influyente según los datos.

De acuerdo con el grafico de Pareto de la Fig. 12. se puede evidenciar que los factores más influyentes para el Porcentajes de ladrillo fisurado (%) es Temperatura inyección (°C) *Humedad arcilla (%), Posteriormente se encuentran las interacciones de Temperatura inyección (°C) *Velocidad cadena (Hz) y Humedad arcilla (%). Finalmente, la menos influyente es la Velocidad cadena (Hz). Posteriormente se hace un resumen del modelo donde se calcula el R² el cual es coeficiente de determinación indica en términos de porcentaje, en cuanto el modelo me explica la variación de Y (porcentaje de ladrillos fisurados). En este caso el R² ajustado es igual a 92,81%, Indica que el 92,81% de la variación de la distancia recorrida está siendo explicada por el modelo. El otro 7,19%, es debido a otros factores no incluidos en este experimento como se puede evidenciar en el anexo 9

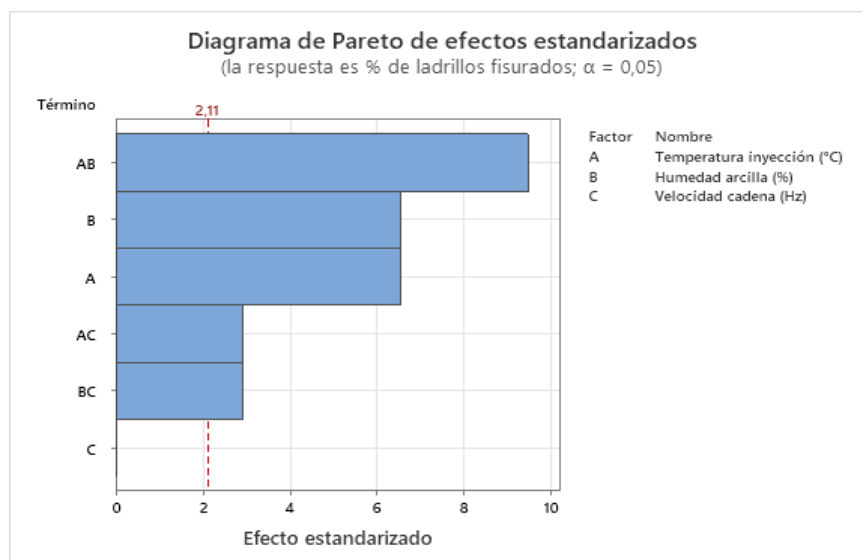


Fig. 12. Diagrama de Pareto de acuerdo con el factor más influyente en el proceso de fabricación ANTES de la mejora.

Luego de identificar los factores más relevantes a través del análisis de Pareto, se procede a evaluar tres de estos factores en sus dos niveles mediante el análisis Post-Anova. Esta técnica permite analizar la influencia de cada nivel de los factores en el proceso de secado de los ladrillos. El análisis Post-Anova se basa en un diseño experimental planificado, donde se establecen diferentes condiciones para cada nivel de los factores seleccionados. Se recopilaron datos precisos y representativos para cada combinación de niveles y se analizaron estadísticamente.

En la siguiente figura, presentamos el gráfico resultante del análisis Post-Anova. Este gráfico visualiza la relación entre los niveles de los factores y la variable de interés, en este caso, el porcentaje de ladrillos fisurados durante el proceso de secado. (Anexo 8)

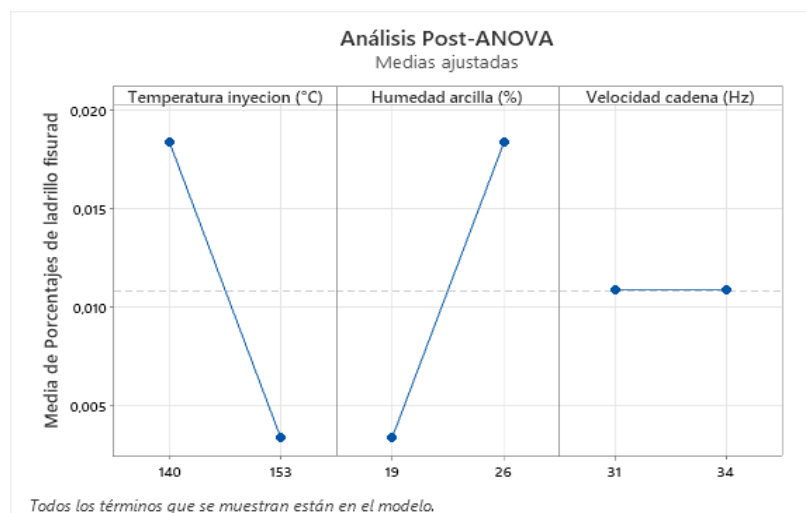


Fig. 13. Análisis Post-Anova de los factores influyentes.

El gráfico de la Fig. 13. brinda una representación clara y visual de cómo los niveles de los factores impactan en el porcentaje de ladrillos fisurados. Se puede observar las diferencias significativas entre los diferentes niveles de cada factor y su influencia en la calidad del producto final. En este caso el factor con efecto más significativo corresponde a la Temperatura inyección (°C) y la Humedad arcilla (%). Cuando la Temperatura inyección se encuentra en 140 °C, la media del Porcentaje de ladrillo fisurado (%) será de 1,83% y en 153 °C será de 0,33%. En lo anterior, se nota la diferencia significativa que ejerce la Temperatura inyección sobre la variable de respuesta.

Cuando la Humedad arcilla se encuentra en 19%, la media del Porcentaje de ladrillo fisurado (%) será de 0,33% y en 26% será de 1,83%. En lo anterior, se nota la diferencia significativa que ejerce la Humedad arcilla sobre la variable de respuesta. La Velocidad cadena (Hz) no presentan un efecto significativo en la variable respuesta de forma individual. Por lo cual, independientemente de su nivel (31 Hz o 34Hz) la media del Porcentaje de ladrillo fisurado será de 1,08% (Anexo 8)

Para establecer los rangos de trabajo óptimos, se realiza un análisis Post-Anova en mayor detalle, centrándose en las tres variables principales. Este análisis permitirá examinar a fondo la relación entre estas variables y determinar los rangos en los que se obtiene el mejor rendimiento y resultados deseados. Se buscará identificar los puntos críticos en los que se maximice la calidad del producto y se minimicen los ladrillos defectuosos en el proceso de secado.

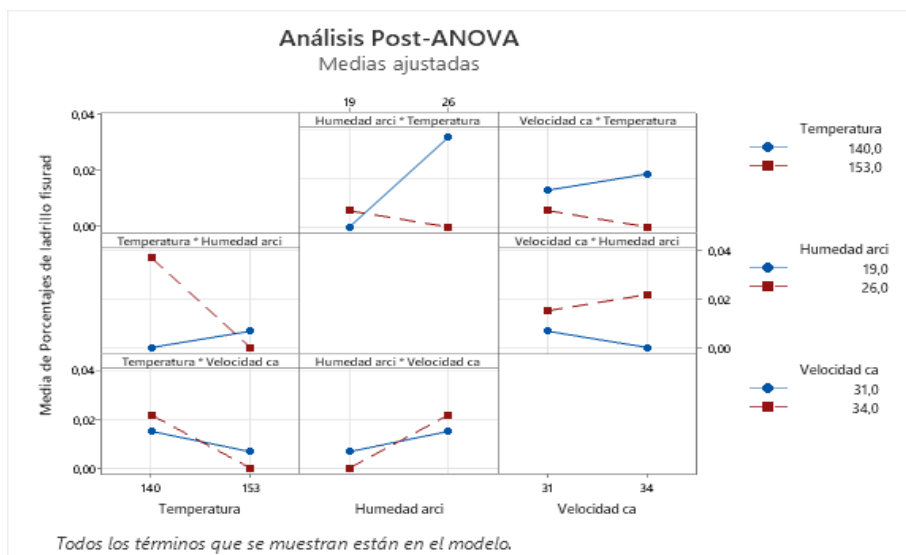


Fig. 14. Análisis Post-Anova comparando 2 factores influyentes contra el factor respuesta.

La Fig. 14. representa una comparación entre dos factores y el factor respuesta, que en este caso es el porcentaje de ladrillos fisurados. Con el objetivo de minimizar este porcentaje defectuoso, se han identificado los siguientes parámetros de trabajo óptimos: una temperatura de inyección de 153°C, una humedad de arcilla del 19% y una velocidad de cadena de 34Hz. Al trabajar dentro de estos rangos, se espera alcanzar un promedio de porcentaje de ladrillos fisurados cercano al 0%. Estos resultados indican la importancia de mantener un control preciso de los factores mencionados para lograr una mejora significativa en la calidad del producto y reducir los ladrillos defectuosos en el proceso de secado (Anexo 8).

Después de llevar a cabo la lluvia de ideas, el diagrama causa-efecto, el método de los 5 porqués y el análisis del diseño de experimento, se ha obtenido una visión mucho más clara para encontrar la solución al desafío planteado. Mediante el diagrama causa-efecto y al desglosar las causas en detalle a través de los 5 porqués, se ha identificado que la causa raíz del problema radica en el control de humedad en la materia prima.

Además, en el análisis del diseño de experimento, se evaluaron tres factores: el porcentaje de humedad en la materia prima, la velocidad de la cadena (GZ) y la temperatura de inyección de aire en el secadero (C). La variable respuesta utilizada fue el porcentaje de ladrillos fisurados por turno. Según los resultados estadísticos, se determinó que los factores con mayor influencia en esta variable son el porcentaje de humedad en la materia prima y la temperatura de inyección de aire en el secadero. Estos hallazgos coinciden con la causa raíz identificada previamente mediante las herramientas mencionadas.

Estos resultados indican que se está avanzando en la dirección correcta, ya que tanto el análisis estadístico como las herramientas de análisis de causas arrojan resultados consistentes. Este enfoque integral brinda confianza en la validez de las conclusiones y proporciona una base sólida para buscar soluciones efectivas que aborden el control de humedad en la materia prima y mejoren la calidad del proceso de secado en la empresa manufacturera de ladrillos.

B. Revisión de literatura

Al aplicar el método de los 5 porqués, se determinó que la causa fundamental del problema de los ladrillos lisos fisurados es la falta de control de la humedad de la materia prima antes del proceso de fabricación. Por lo cual se buscó en la literatura como se resolvió, cuáles son las posibles alternativas para resolver el problema.

Esta es la primera alternativa encontrada está relacionada con la homogeneización de la materia prima. Dado que la falta de uniformidad en la composición de la materia prima es la razón más común de los problemas que ocurren durante la fabricación de baldosas, tejas y ladrillos, así como la inconsistencia en la calidad del producto final, es necesario realizar una homogeneización desde la propia fuente de extracción. Ajustar los sistemas de dosificación dentro de la instalación no será de mucha utilidad si los componentes de la mezcla experimentan cambios constantes. [12]

En el pasado, solían emplearse excavadoras de cangilones que permitían extraer materiales de diferentes capas y mezclarlos entre sí, logrando así un suministro más uniforme. Sin embargo, en la actualidad se utilizan bulldozers o palas excavadoras que son más ágiles en su desplazamiento, pero su diseño se basa más en las demandas de la técnica de extracción y movimiento de tierras que en las necesidades de homogeneización de una cantera de arcillas.

Antes de iniciar un nuevo proceso de homogeneización, se recomienda realizar pruebas de extrusión para determinar varios parámetros, como el contenido de humedad para el moldeo, la contracción durante el secado, la resistencia mecánica en seco, la contracción durante la cocción a la temperatura adecuada, la resistencia y absorción del producto cocido, entre otros. Estos resultados ayudarán a determinar si las variaciones se encuentran dentro de los límites aceptables para el tipo de producto que se desea fabricar, y se podrán realizar modificaciones necesarias en consecuencia.

El grado de homogeneización logrado en los lechos depende principalmente del número de capas utilizadas. Cuantas más capas haya, mayor será la uniformidad alcanzada. Por lo tanto, si la materia prima extraída de la cantera es irregular, se requerirá un mayor número de capas, ya que las variaciones que pueda presentar una capa en un momento dado se diluirán entre las demás. Esto produce un efecto similar a mezclar varias arcillas juntas. Cuanto mayor sea el número de arcillas utilizadas en la mezcla, menores serán las variaciones experimentadas, ya que cualquier modificación en uno de los componentes solo afectará en proporción al porcentaje relativo de ese componente en la mezcla.

La implementación de lechos de homogeneización ha permitido a las fábricas obtener un suministro constante de arcilla, evitando una serie de problemas de fabricación y reclamaciones, al tiempo que mejora la calidad y uniformidad del producto final.

La segunda alternativa es el envejecimiento de la arcilla. El envejecimiento es una técnica antigua utilizada por los alfareros desde el siglo II a.C. Consiste en almacenar la arcilla mezclada con agua y, a veces, sustancias orgánicas durante meses e incluso años. Este proceso aumenta la plasticidad de las pastas cerámicas y reduce la tendencia a agrietarse durante el secado. [13]

Anteriormente, cuando las fábricas de ladrillos no tenían secaderos artificiales, no podían trabajar durante todo el año debido a la capacidad limitada de los secaderos naturales para producir lo suficiente para el horno durante los meses más fríos y húmedos, de noviembre a mayo. Durante los meses de inactividad, se aprovechaba para extraer la arcilla, pero esta no se utilizaba hasta varios meses después. Durante ese tiempo, la arcilla experimentaba cambios debido a las condiciones climáticas, ya sea invernal (cuando el agua se congelaba y expandía, desintegrando los terrones de arcilla) o estival (cuando se secaba, se contraía y agrietaba gradualmente, agravado por los cambios de humedad, temperatura y lluvias ocasionales).

Con el avance de los secaderos artificiales y la disponibilidad de maquinaria más avanzada para la preparación y moldeo de la arcilla, se pensó que se podía pasar directamente de la extracción en la cantera a las máquinas de trituración, mezcla y moldeo. Sin embargo, el proceso de desintegración y humectación de las partículas arcillosas es lento y complejo, y no se puede reemplazar simplemente con la desintegración mecánica de la arcilla recién extraída.

Otra de las alternativas que se encontró en la literatura fue el uso de penetrómetros avanzados que permiten saber la humedad para posteriormente hacer control de esta ya sea adicionando agua o poniendo a secar la materia prima. En los últimos avances en los penetrómetros de cono de campo, se ha logrado un nuevo nivel de capacidad al poder medir la presión del agua que se encuentra entre los espacios intersticiales. Además, estos dispositivos se pueden equipar de manera sencilla con sensores que permiten determinar el contenido de humedad, la salinidad y otros parámetros relevantes. [13]

C. Exploración de ideas y selección de alternativa

En un proyecto de grado enfocado en la reducción de ladrillos defectuosos, la exploración de ideas y la selección de alternativas desempeñan un papel fundamental. La exploración de ideas permite generar opciones innovadoras para abordar el problema de las fisuras en los ladrillos, mientras que la selección de alternativas facilita la identificación de la mejor opción que permita lograr una reducción efectiva de los ladrillos defectuosos a la vez que se cumplen con los requerimientos establecidos por los grupos de interés. Una adecuada exploración de ideas y selección de alternativas también ayudan a minimizar los riesgos, optimizar los recursos y garantizar la calidad de las soluciones propuestas.

El punto de partida para la generación de ideas se encuentra en las causas raíz que se identificó previamente mediante el Diagrama de Ishikawa y los 5 por qué arrojando que “No hay un control de humedad previa al ingreso de materia prima” y para abordar esta problemática y encontrar soluciones efectivas, es necesario emplear métodos de generación de ideas que estimulen la creatividad y el pensamiento innovador. Una técnica ampliamente utilizada en este contexto es el método SCAMPER, el cual consiste en que cada letra en el acrónimo representa una pregunta clave que se hace para modificar conceptos existentes y generar nuevas ideas: Sustituir, Combinar, Adaptar, Modificar, Poner en otros usos, Eliminar y Reordenar. Al emplear estas preguntas, se exploran diferentes enfoques y se generan soluciones creativas para resolver problemas o desafío. En la Fig. 14. se observa la técnica una vez empleada para la causa raíz identificada.

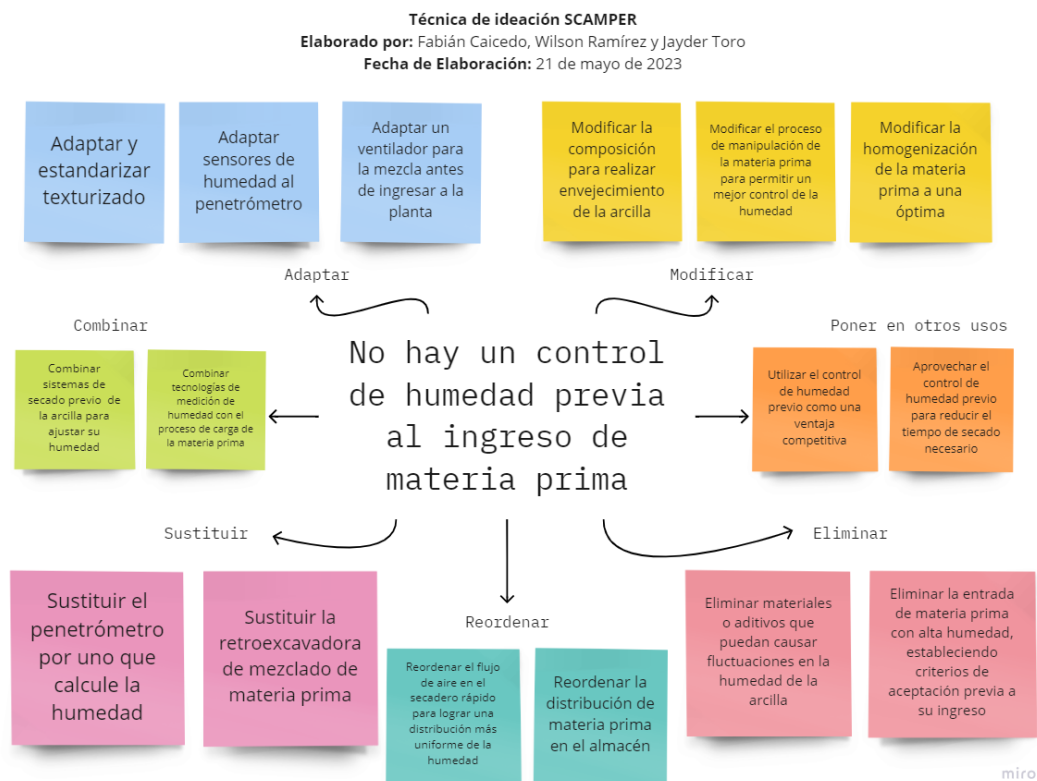


Fig. 15. Técnica de ideación de SCAMPER para el criterio raíz identificado.

Una vez determinado las posibles soluciones se procede a la selección de alternativas, y para esto el equipo de trabajo realizó un Proceso Analítico de Jerarquía (ver Anexo 10) ya que es un método de toma de decisiones que permite comparar y evaluar alternativas en base a múltiples criterios. Los criterios por considerar son: Costos, pensando en que la alternativa debe ser económica; Calidad, basado en la disminución de ladrillos fisurados, Aplicabilidad, que me ayuda a identificar la facilidad con la que se puede implementar la alternativa; Seguridad, garantizando la salud de los trabajadores de la empresa La Samaritana S.A.S.; Tiempo, debido a que la solución debe implementarse en el corto plazo por la limitación de tiempo del proyecto (un promedio de 4 a 6 meses para las etapas posteriores). Una vez se determinó el peso ponderado de cada uno de los criterios, se procedió a realizar una matriz de preferencias, la cual se muestra en la Fig. 15.

Matriz de preferencias para selección de alternativas													
Criterios de selección	Peso ponderado del criterio	No hay un control de humedad previa al ingreso de materia prima											
		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5		Alternativa 6	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
Costo	9%	4	36	6	54	4	36	8	72	3	27	6	54
Calidad	53%	10	534	7	374	9	481	9	481	8	427	6	320
Aplicabilidad	4%	3	11	8	28	5	18	10	35	4	14	7	25
Seguridad	21%	6	123	10	205	8	164	9	185	5	103	9	185
Tiempo	14%	1	14	5	68	7	95	9	122	4	54	6	81
Totales	100%	717		729		793		894		625		665	

Alternativa seleccionada **Alternativa 5** Eliminar la entrada de materia prima con alta humedad, estableciendo criterios de aceptación previo a su ingreso.

Fig. 16. Matriz de preferencias para selección de alternativas a la problemática identificada.

La matriz de preferencias para selección de alternativas nos arrojó que la solución más votada es la 4 con un puntaje de 894 puntos. Esto indica que se debe eliminar la entrada de materia prima con alta humedad, estableciendo criterios de aceptación previa a su ingreso.

D. Objetivos

Objetivo General:

Diseñar un sistema de control de humedad en la materia prima, con el fin de reducir la cantidad de ladrillos fisurados, estableciendo criterios de aceptación a la materia prima previo al ingreso del proceso de manufactura.

Objetivos específicos:

- I. Identificar las variables de control más influyentes en el tipo de defecto fisurado durante el proceso de fabricación de ladrillos.
- II. Establecer criterios de aceptación para la materia prima en función de los niveles de humedad que se consideren adecuados para disminuir las fisuras durante el secado rápido.
- III. Implementar con una prueba piloto el diseño de ingeniería propuesto garantizando los criterios de aceptación para la materia prima que permita verificar la efectividad de las mejoras implementadas en la reducción de ladrillos defectuosos.
- IV. Validar el diseño de ingeniería propuesto por medio de herramientas financieras y estadísticas.

E. Plan de trabajo (PdT)

TABLA II.
PLAN DE TRABAJO

Objetivo Específico	Actividades	Área IISE	Herramienta	#	Entregable	Fecha
Identificar las variables de control más influyentes en el tipo de defecto fisurado durante el proceso de fabricación de ladrillos	Crear una base de datos con información histórica y actualizada de ladrillos defectuosos considerando la mayor cantidad de variables posibles	11. Information Engineering	Data Base Concepts	11.6	Base de datos con información histórica y actualizada	20/04/2023
	Realizar un diseño de experimento con la base de datos creada	5. Quality & Realibility Engineering	Design of Experiments	5.3.1	Informe con el diseño de experimentos	9/06/2023
Establecer criterios de aceptación para la materia prima en función de los niveles de humedad que se consideren adecuados para disminuir las fisuras durante el secado rápido	Investigar y recopilar información sobre métodos y tecnologías disponibles para el control de la humedad en la materia prima	7. Operations Research and Analysis	Maintenance models	7.9.1	Listado de métodos y tecnologías aplicables	18/08/2023
	Desarrollar pruebas y evaluaciones de los métodos y/o tecnologías para determinar su efectividad sobre el control de humedad en la materia prima	5. Quality & Realibility Engineering	Basic Statistics	5.1.2.4	Informe de análisis sobre las pruebas y evaluaciones de los métodos propuesto para elegir el mejor desarrollo	01/09/2023

	Determinar rangos de aceptación de humedad que debería tener la materia prima previo al ingreso del proceso de fabricación	14. Systems Design & Engineering	Verifying and Validating Requirements	14.6	Informe con los criterios de aceptación considerados adecuados	08/09/2023
Implementar con una prueba piloto el diseño de ingeniería propuesto garantizando los criterios de aceptación para la materia prima que permita verificar la efectividad de las mejoras implementadas en la reducción de ladrillos defectuosos	Diseñar un piloto o ensayo que reproduzca las condiciones del proceso de fabricación de ladrillos bajo parametrización determinada	14. Systems Design & Engineering	Design, Development, Manufacturing, Operations and supportability	14.10.2.2	Informe del sobre el paso a paso que se va a seguir para la implementación del piloto	15/09/2023
	Implementar el piloto o prototipo y recolectar datos para evaluar el desempeño y la efectividad de las mejoras propuestas	14. Systems Design & Engineering	Design, Development, Manufacturing, Operations and supportability	14.10.2.2	Base de datos con los resultados de efectividad y desempeño de la implementación del diseño	06/10/2023
Validar el diseño de ingeniería propuesto por medio de herramientas financieras y estadísticas	Establecer procedimientos claros y detallados para el manejo de la materia prima, incluyendo su recepción, almacenamiento y descarte	5. Quality & Realibility Engineering	Building Support	5.4.2.1	Procedimientos Operativos Estándar (POE) para el manejo y descarte de la materia prima	27/10/2023
	Validar económicamente el diseño de ingeniería entre el antes y después de la implementación del diseño de ingeniería	3. Engineering Economic Analysis	Break-Even and Minimum Cost Analysis	3.7	Informe con la validación económica	03/11/2023

Para el plan de trabajo se tuvieron en cuenta 9 actividades con la finalidad de cumplir con los objetivos específicos que por defecto permitirán cumplir con el objetivo general del proyecto, que se centra en la reducción de ladrillos fisurados, las fechas de inicio y de fin de cada actividad del proyecto están registradas en el Project (ver anexo 11). A partir de la segunda actividad todas tienen como predecesora la actividad inmediatamente anterior, esto quiere decir que al finalizar una actividad se inicia la siguiente, las fechas que se ven en el plan de trabajo son las fechas en las que deben estar culminadas las actividades.

La actividad que toma más tiempo en el plan de trabajo es la tercera (76 días), la cual es investigar y recopilar información sobre métodos y tecnologías disponibles para el control de la humedad en la materia prima, esto debido a que esta actividad nos ayudara en la siguiente etapa del proyecto, la cual es la etapa de mejora y de forma más específica el desarrollo del diseño de la solución, esta actividad tiene un nivel de complejidad y requiere de hacer uso del conocimiento adquirido para poder llevar a cabo una prueba piloto exitosa.

IV.MEJORAR

A. Desarrollo del diseño de la solución

Las alternativas identificadas para resolver el problema de los ladrillos defectuosos fueron: (1) Modificar la composición para realizar envejecimiento de la arcilla; (2) Adaptar sensores de humedad al penetrómetro; (3) Modificar la homogenización de la materia prima a una óptima; (4) Eliminar la entrada de materia prima con alta humedad (Control de humedad a la materia prima), estableciendo criterios de aceptación previa a su ingreso; (5) Combinar sistemas de secado previo de la arcilla para ajustar su humedad; (6) Reordenar la distribución de materia prima en el almacén. La primera alternativa no fue seleccionada debido a que el envejecimiento de la arcilla es un proceso que toma mínimo 6 meses y supera el tiempo de aplicación estimado para el proyecto; la homogenización se refiere a la falta de uniformidad en la composición de la materia prima, que es la razón más común de los problemas que ocurren durante la fabricación de baldosas, tejas y ladrillos, pero se debe tener en cuenta que también factores climatológicos; el combinar sistemas de secado previo al ingreso de la arcilla no es adecuada debido a que la materia prima puede estar con un nivel por debajo del necesario y adicionalmente es una solución costosa al igual que la adaptación de penetrómetros con sensores de humedad; por último el reordenar la distribución de la materia prima no garantiza que luego del proceso de secado rápido se obtenga un promedio de porcentaje de ladrillos fisurados cercano a cero debido a que hay materia prima expuesta a distintas condiciones que cambian los porcentajes de humedad.

La alternativa seleccionada para el desarrollo del diseño de la solución fue un modelo de control de humedad en la materia prima, esta alternativa se seleccionó por encima de las otras luego de realizar un Proceso Analítico de Jerarquía (ver Anexo 10), esta alternativa se eligió debido a que es la que se puede llevar a cabo en el menor tiempo posible, genera menos costos y es la segunda en generar mayor calidad, realizar un modelo de control de humedad en la materia prima es esencial para garantizar un producto terminado de alta calidad y consistencia de los productos manufacturados, como ladrillos en este caso, al mantener la

humedad de la materia prima en niveles adecuados durante todo el proceso de producción. Esto ayuda a reducir los defectos y a mejorar la eficiencia del proceso.

La primera fase del diseño de la solución fue la identificación de las variables de control, para cumplir con el objetivo de identificar las variables más influyentes en la formación de fisuras en los ladrillos, estas fueron identificadas en la etapa de analizar, en donde encontramos que la variable más influyente es la humedad de la materia prima. Con el conocimiento que se adquirió en etapas anteriores, se identificaron criterios de aceptación para la materia prima en función de los niveles de humedad que se consideran adecuados para disminuir las fisuras durante el secado rápido. Estos criterios están alineados con las especificaciones de diseño y las normativas pertinentes, como la NTC-4205.

Se establecieron rangos de humedad que se consideraron adecuados para la materia prima, basados en el análisis previo en el primer DOE, y a partir de estos se establecieron procedimientos para cuando la humedad de la materia prima se encuentre fuera de los rangos deseados. Estas acciones pueden incluir ajustes en el proceso de mezcla, adición de agua controlada, o notificación al proveedor de materia prima, y se documentó en el Manual de Control de Humedad en la Mezcla (ver anexo 15). En donde se definió el método para la de toma de humedad en la mezcla y se establecieron acciones que los operarios deben llevar para controlar (aumentando o disminuyendo) la humedad, considerando los factores de dureza y velocidad de la máquina de secado rápido, también se consideró la contingencia en casos en que sea complejo el controlar la humedad de materia prima, para ello se expone las diferentes velocidades en el proceso de secado para una reducción de fisuras en los ladrillos.

Por último, se llevó a cabo una prueba piloto con la finalidad de implementar el diseño de ingeniería propuesto y garantizar la efectividad de las mejoras en la reducción de ladrillos defectuosos. Primero se hizo la selección de materia prima representativa. Se realizaron las pruebas de humedad con el método de peso húmedo y peso seco, durante la prueba piloto, se realizó un monitoreo continuo de la humedad de la materia prima, y se compararon los resultados con los criterios de aceptación establecidos. En los casos en que la humedad se desviaba de los rangos aceptables, se realizaron ajustes en tiempo real siguiendo los protocolos definidos en las fases posteriores del proceso productivo (aumentar la velocidad de la cadena). Se recopilaban datos detallados durante la prueba piloto, incluyendo registros de humedad, cantidad de ladrillos defectuosos y eficiencia del proceso de secado. Esto con la finalidad de realizar la validación con un segundo diseño de experimentos.

Para validar el diseño se eligió el DOE, el diseño de experimentos es una herramienta poderosa para la investigación y desarrollo, ya que este permite la obtención de información valiosa para optimizar procesos y tomar decisiones fundamentadas de manera eficiente. Aunque existen otras formas de evaluar el diseño realizado, el DOE se destaca por su capacidad para identificar los factores críticos y dar los parámetros necesarios reducir la variabilidad y permitir la reducción de ladrillos defectuosos, lo que conduce a mejoras significativas en la calidad y eficiencia.

B. Validación del diseño propuesto

La validación del diseño permite garantizar que las soluciones propuestas sean efectivas y cumplan con las expectativas establecidas. En este proyecto, tras identificar las causas raíz y proponer un diseño de control de humedad para el proceso de fabricación de ladrillos, se recurrió a varias herramientas de ingeniería para su validación y se implementó el diseño propuesto en la línea de producción de ladrillera La Samaritana S.A.S. Con la finalidad de observar de manera práctica, validar el funcionamiento y los resultados. Esta etapa antecede a una posible implementación a gran escala.

De acuerdo con el primera Análisis de Experimento donde se identificaron los factores más influyentes en el proceso (% humedad en las materias primas, velocidad del secadero y dureza) antes de implementar el piloto, se procede a un segundo DOE teniendo en cuenta los datos recolectados con el diseño puesto en marcha., en este se controla de manera precisa dichos factores y se observa su relación con la variable respuesta: % de ladrillos fisurados. El objetivo era determinar los rangos óptimos de operación para estos factores, minimizando así la aparición de ladrillos defectuosos.

Los datos analizados y obtenidos del segundo DOE evidenciaron una notable mejoría. Al controlar y operar dentro de los rangos establecidos para las variables clave, se logró reducir el porcentaje de ladrillos fisurados, de un aproximado del 2% a un 0,74%. Esto confirmó que, al controlar la humedad en las materias primas, la velocidad del secadero y mantener unos índices dureza, mejora la calidad del proceso y del producto final.

En esta sección, se explora a fondo el Análisis de Varianza aplicado al Diseño de Experimentos, desentrañando la influencia de cada factor y su relevancia en el contexto de nuestra investigación. A través de este análisis, se busca establecer, bajo la evidencia real como se muestra en la Fig. 17., conclusiones sólidas y recomendaciones como se exponen en los siguientes párrafos.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0,000264	0,000038	28,65	0,000
Lineal	3	0,000072	0,000024	18,20	0,001
Humedad	1	0,000005	0,000005	3,65	0,092
Dureza	1	0,000033	0,000033	25,19	0,001
Velocidad	1	0,000034	0,000034	25,76	0,001
Interacciones de 2 términos	3	0,000176	0,000059	44,68	0,000
Humedad*Dureza	1	0,000136	0,000136	103,67	0,000
Humedad*Velocidad	1	0,000024	0,000024	17,86	0,003
Dureza*Velocidad	1	0,000016	0,000016	12,52	0,008
Interacciones de 3 términos	1	0,000016	0,000016	11,91	0,009
Humedad*Dureza*Velocidad	1	0,000016	0,000016	11,91	0,009
Error	8	0,000011	0,000001		
Total	15	0,000275			

Fig. 17. Análisis de varianza con los factores más influyentes.

A partir del Análisis de Varianza (ANOVA) aplicado al Diseño de Experimentos, se observa que el modelo completo considera tanto los efectos principales —dureza, velocidad del secado, y porcentaje de humedad— como las interacciones dobles entre estos factores y las interacciones triples. Desde una perspectiva estadística, cualquier valor p menor a 0.05 generalmente indica la significancia estadística de un factor o interacción, y en el modelo, todos los factores y sus interacciones exhiben valores p por debajo de este umbral crítico. Esto refuerza la premisa de que cada uno de estos componentes tiene un impacto en el proceso bajo estudio.

El alto valor F asociado con la interacción "humedad x dureza" resalta su relevancia, indicando que el cambio conjunto de estos dos factores tiene un efecto multiplicativo en la variable respuesta. En el contexto del control estadístico de procesos, un valor F elevado para una interacción sugiere que la combinación de cambios en esos factores específicos produce un efecto en la respuesta que es distinto al mero efecto aditivo de cambiar cada factor individualmente.

Adicionalmente, la reducida suma de cuadrados del error (SSE) es un indicador importante en la interpretación del ANOVA. Una SSE baja sugiere que la variabilidad no explicada por el modelo es mínima, es decir, la mayor parte de la variación en la respuesta puede ser atribuida a los factores y sus interacciones, y no a variaciones aleatorias o a errores en la experimentación. Desde la perspectiva del Control Estadístico de Procesos (CEP), esto implica una capacidad de control adecuada del proceso experimental, asegurando que las inferencias y conclusiones derivadas del análisis sean sólidas y confiables.

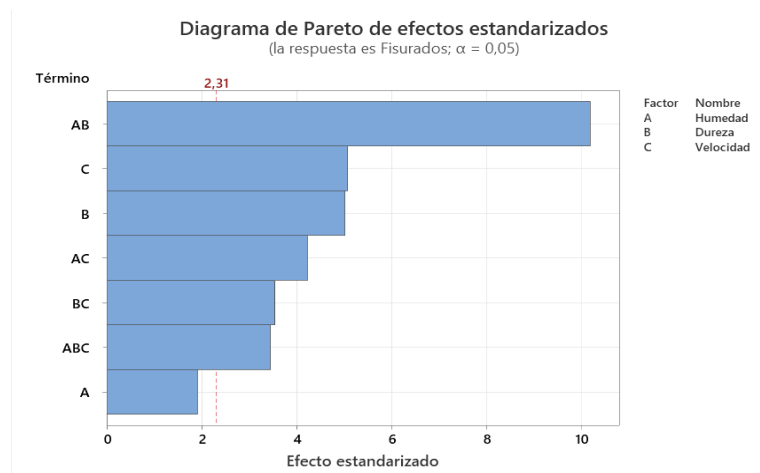


Fig. 18. Diagrama de Pareto de acuerdo con el factor más influyente en el proceso de fabricación DESPUES de la mejora.

Al analizar el segundo Diagrama de Pareto (fig. 18) después de implementar la mejora, es evidente que las variables que superan el valor crítico de 2.31 tienen un efecto significativo en nuestra variable respuesta. Este valor crítico, establecido desde criterios estadísticos, actúa como un umbral que permite discernir entre los efectos que tienen una influencia real y sustancial en el proceso, de aquellos que podrían considerarse ruido o variabilidad inherente al sistema.

Destaca de manera prominente la interacción AB, que representa la combinación de los factores de humedad y dureza. Su barra, al ser la más elevada, sugiere que esta interacción tiene el mayor efecto estandarizado sobre la cantidad de ladrillos

fisurados. Es decir, el comportamiento conjunto de la humedad y la dureza tiene un impacto significativo y más dominante que cualquier otro factor individual o interacción analizada.

Lo anterior corrobora la necesidad de un monitoreo riguroso y un control preciso de los niveles de humedad y dureza. Si estos dos factores se desvían de los rangos de trabajo propuestos, es altamente probable que observemos un incremento en el porcentaje de ladrillos fisurados, lo que puede comprometer la calidad del producto y, en consecuencia, la satisfacción del cliente.

La validación de los supuestos subyacentes en cualquier análisis de varianza (ANOVA) es necesario para garantizar la integridad y confiabilidad del modelo. Los supuestos fundamentales incluyen la normalidad, la homogeneidad de varianzas y la independencia de las observaciones como se puede ver la figura 19.

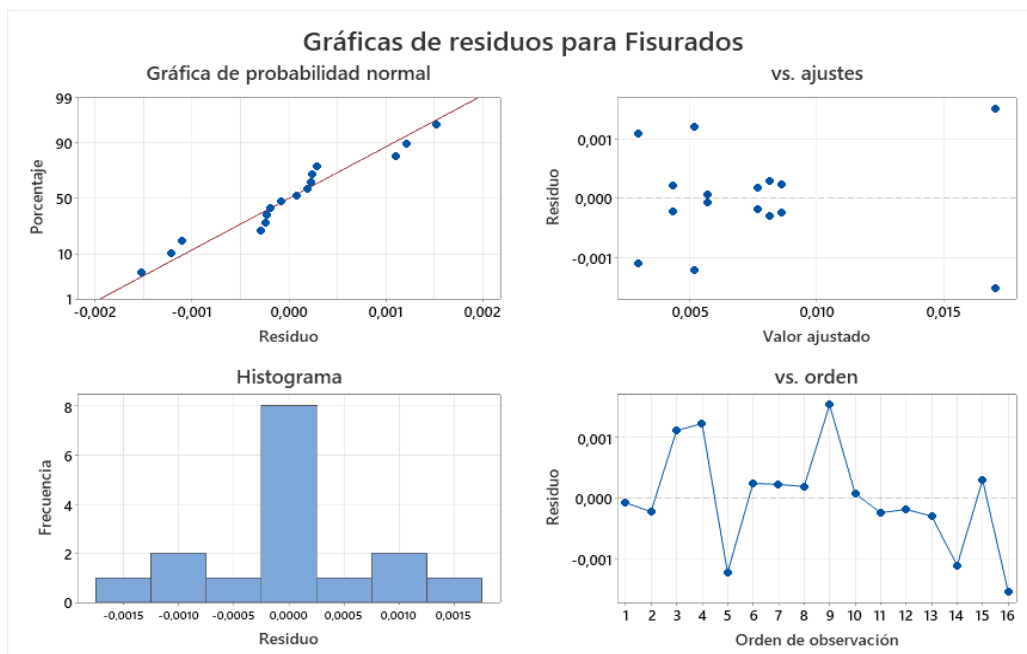


Fig. 19. Gráficos de validación de los supuestos del Anova.

1. **Normalidad de los Residuos:** El cumplimiento del supuesto de normalidad indica que los residuos (errores) del modelo siguen una distribución normal. Esta premisa garantiza que las inferencias basadas en el modelo sean válidas. En este caso, el valor p de 0.228, es mayor que el nivel de significancia de 0.05, confirma la normalidad de los residuos. Esto indica que no hubo influencias externas o factores de ruido que distorsionaran el comportamiento esperado de los residuos durante la experimentación.
2. **Homogeneidad de Varianzas:** El análisis sugiere que las varianzas entre los grupos son homogéneas, lo que implica que los niveles de los factores evaluados, específicamente dureza, velocidad y porcentaje de humedad, fueron seleccionados y controlados adecuadamente. Esta homogeneidad asegura que las conclusiones derivadas del análisis sean robustas y confiables en diferentes niveles del factor.
3. **Independencia de las Observaciones:** La aleatoriedad y dependencia son relevantes para validar que las observaciones no están correlacionadas entre sí y que el orden de experimentación no introduce sesgo. La dispersión aleatoria de los puntos alrededor de cero valida que no existe autocorrelación y que el diseño experimental fue bien estructurado en términos de secuencia y recopilación de datos.

Con base en el análisis detallado del Diseño de Experimento se determinó el Cubo Factorial con las condiciones ideales de trabajo para garantizar el mínimo porcentaje de ladrillos fisurados por turno, el cual se puede observar en la Fig. 20. Esta representación permite visualizar simultáneamente la interacción entre tres factores críticos y su efecto conjunto sobre la variable respuesta, en este caso, el porcentaje de ladrillos fisurados.

1. **Eje X (Humedad):** El eje x representa los niveles de humedad, abarcando dos niveles específicos: 0.19 y 0.20. Estos valores delimitan las condiciones controladas bajo las cuales se llevó a cabo la experimentación para este factor específico.

2. **Eje Y (Dureza):** En el eje y, tenemos la dureza que oscila entre 1.5 y 1.6 kg/cm². Es fundamental entender que la dureza puede tener un papel significativo en la integridad estructural de los ladrillos, influyendo directamente en su susceptibilidad a fisurarse.
3. **Eje Z (Velocidad):** Finalmente, el eje z refleja la velocidad, con dos niveles medidos en Hertz: 31.5 Hz y 32 Hz. Este factor puede estar relacionado con la velocidad de secado o procesamiento, que a su vez puede afectar el desempeño del ladrillo.

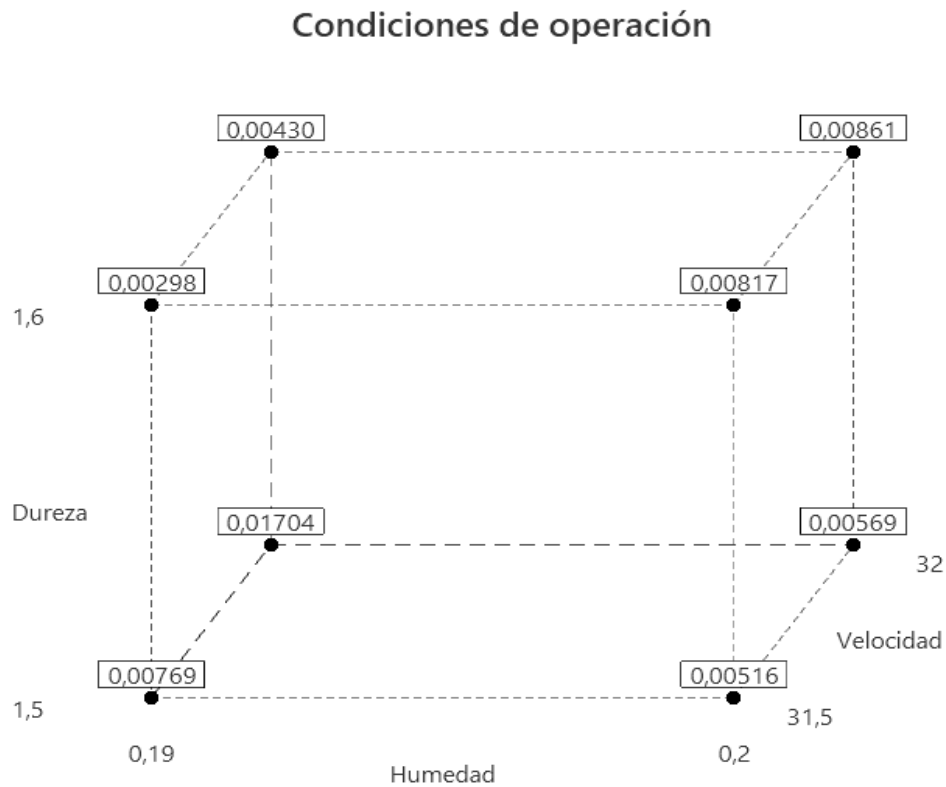


Fig. 20. Gráficos de condiciones óptimas de operación.

Mediante este diseño factorial 3D, se deduce que las condiciones óptimas para minimizar la cantidad de ladrillos fisurados son: una humedad del 0.19%, una dureza de 1.6 kg/cm², y una velocidad de 31.5 Hz. Estas condiciones específicas, cuando se implementan simultáneamente, maximizan la calidad del ladrillo, minimizando la aparición de fisuras. Es esencial destacar que la identificación precisa de estas condiciones ideales no solo subraya la relevancia de cada factor individual, sino también la interacción entre ellos. La perspectiva holística permite optimizar de manera eficiente el proceso de producción de ladrillos, garantizando un producto de alta calidad que cumpla con los requisitos y estándares deseados.

Al examinar el gráfico de líneas representado en la Fig. 21., se observa una clara distinción entre los resultados obtenidos antes y después de la implementación de los dos diseños experimentales. Esta visualización nos brinda un panorama detallado de la evolución y eficacia de las mejoras implementadas en el proceso.

En el segmento correspondiente al diseño experimental inicial, es posible percibir cierta variabilidad y fluctuaciones en los datos, lo que sugiere que el proceso no estaba optimizado, y por tanto, más susceptible a variaciones que pueden haber afectado la calidad del producto. Sin embargo, después de la implementación del segundo diseño experimental, se observa una notable mejora en la consistencia y control del proceso. La mayoría de los datos post-intervención se ubican por debajo del límite central de especificación, indicando que el proceso ahora opera de manera más estable y dentro de los parámetros deseados. Esto se alinea con el objetivo principal de cualquier diseño de experimentos: identificar y controlar las variables más influyentes para lograr un resultado óptimo.

El hecho de que el porcentaje de ladrillos fisurados esté predominantemente por debajo del 1% es altamente significativo. Este indicador, cumple con la meta establecida en los KPI del proceso, resalta la efectividad de las intervenciones realizadas. La

reducción en la fisuración no solo garantiza un producto de mayor calidad, sino que también implica una reducción en los costos asociados con defectos y desperdicios.

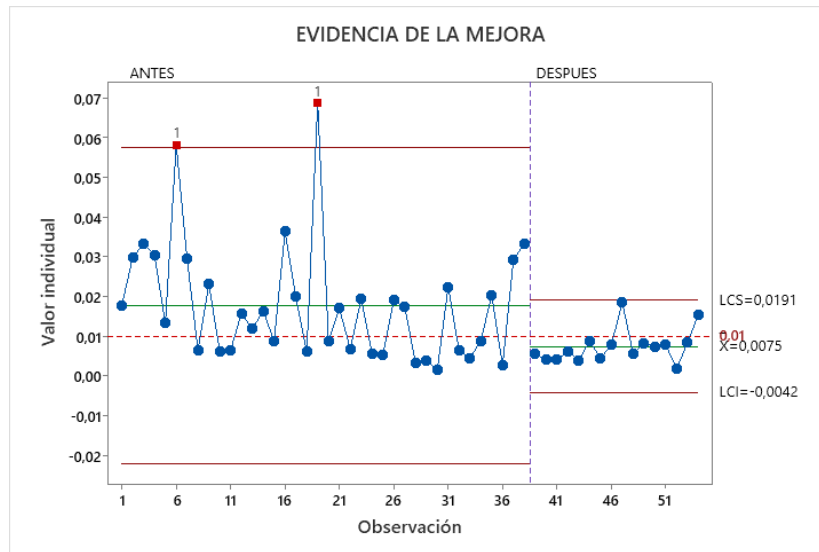


Fig. 21. Gráficos de líneas del % ladrillos fisurados del antes y el después de la mejora.

Al inspeccionar la Figura 22, la cual muestra el análisis de costos por ladrillos fisurados antes y después de la intervención, se distinguen patrones claros relacionados con la efectividad de la mejora implementada en el proceso. Antes de la intervención, se evidencia que los costos vinculados a los ladrillos fisurados superaban consistentemente el límite central de especificación establecido en 50,000 COP por turno. Este comportamiento, en el ámbito del control estadístico de procesos, es una clara indicación de que el proceso no estaba bajo control estadístico. Las fluctuaciones por encima del límite denotan inestabilidad y falta de predictibilidad, llevando a costos incrementales y a una eficiencia comprometida.

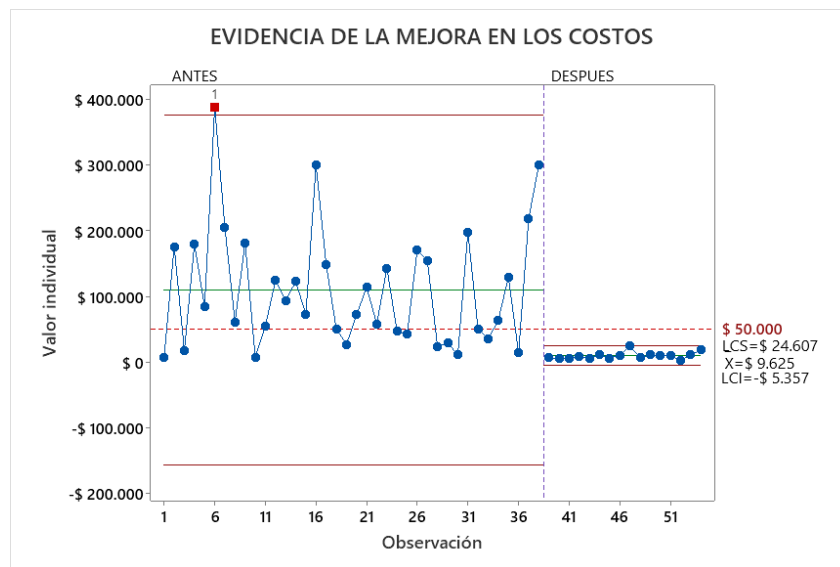


Fig. 22. Gráficos de líneas de los costos por ladrillos fisurados antes y el después de la mejora.

Finalmente, tras la implementación de las mejoras propuestas, se evidencia una evolución positiva en la mayoría de los indicadores clave, por eso se expone una comparativa en la Fig. 23 entre la evaluación de los criterios antes y después de la implementación (mediante un piloto) de la mejora. Se logra optimizar factores críticos como la dureza, humedad y reducción de unidades defectuosas aunque el consumo de carbón presentó un incremento, y que posiblemente esté relacionado con ajustes en la velocidad del secadero, pero es notable la reducción en el costo por unidades defectuosas que subraya el éxito general de las intervenciones. Es esencial continuar con el monitoreo y ajuste de los procesos para maximizar la eficiencia y calidad en la producción.

Variable	Antes	Después	Meta	Cumplimiento
	Muestra antes de la mejora	Prueba Piloto		
Dureza	1,2 kg/cm ² a 1,7 kg/cm ²	1,54 Kg/cm ²	> 1,5 kg/cm ²	Si se cumplió con la meta
Humedad	24%	20%	18% a 20%	Si se cumplió con la meta
Unidades defectuosas (Fisuradas)	2%	0,74%	<1%	Si se cumplió con la meta
Retenido de Arena	31,16%	31%	28% a 32%	Se mantuvo
Consumo de energía eléctrica del secado	514 Kw	514 Kw	500 kw	Si se cumplió con la meta
Consumo de carbón	30 kg de Carbón/Ton seca	26 Kg de carbon /Ton seca	30 kg de Carbón/Ton seca	Si se cumplió con la meta
Costo total por unidades defectuosas	110 039 COP/turno	10 000 COP/turno	<50 000 COP/turno	Si se cumplió con la meta

Fig. 23. Resumen de los indicadores de desempeño

V. VERIFICAR

A. Medición de los impactos

La evaluación de un proyecto de ingeniería industrial exige un enfoque tridimensional que abarque el análisis de la viabilidad financiera, el impacto social y la sostenibilidad ambiental. Desde una perspectiva financiera, se hace imprescindible una ponderación detallada entre los costos implicados y los ahorros logrados, buscando asegurar una rentabilidad sostenida. En el plano social, el proyecto debe ser examinado por su influencia en la comunidad y el bienestar de los trabajadores, considerando aspectos como la generación de empleo y el avance de habilidades laborales. En cuanto a lo ambiental, se requiere una cuantificación precisa de la eficiencia en el uso de recursos y la reducción de impactos negativos sobre el medio ambiente.

Para medir los impactos del proyecto se recolectaron una serie de datos y se documentaron en un archivo Excel (ver anexo 16) donde se hace un análisis de los impactos antes y después de la mejora del proyecto, existe una reducción en el promedio de unidades defectuosas, costo promedio de defectos por turno, porcentaje de fisurados, consumos y el costo de la mano de obra por ladrillo fisurado; como se puede evidenciar en la figura 24.

Comparación	Antes de la mejora	Después de la mejora	Ahorro x turno	Ahorro promedio mensual	Ahorro promedio mensual (COP)
Promedio de unidades defctuosas por turno	220	91	129	1.940	\$ -
Costos promedio de ladrillos defectuosos por turno	\$ 110.039	\$ 45.333	\$ 64.706	\$ 970.592	\$ 970.592
Porcentaje promedio de ladrillos fisurados por turno	1,78%	0,74%	1,03%	15,50%	\$ -
Consumo promedio de carbon en (kg) por turno	1.731	1.350	381	5.714	\$ 3.999.671
Consumo energetico en (Kw) por turno	514	500	14	209	\$ 116.841
Costo MO por ladrillo fisurado	\$ 33.000	\$ 13.600	\$ 19.400	\$ 291.000	\$ 291.000

Fig. 24. Comparación de los indicadores antes y después de la mejora.

En la Figura 24 se compara varios parámetros clave antes y después de una mejora implementada en el proceso de fabricación de ladrillos. Aquí hay un análisis del impacto del diseño en términos financieros, sociales y ambientales:

Impacto Financiero:

- Reducción de Costos: Se muestra una disminución significativa en el costo promedio de los ladrillos defectuosos por turno, pasando de \$110.039 a \$45.333, lo que representa un ahorro de \$64.706 por turno y un ahorro promedio mensual de \$970.592. Esto implica una mejora financiera sustancial para la empresa.
- Eficiencia en el Consumo: El consumo promedio de carbón y energía por turno también se reduce, lo que resulta en ahorros adicionales. Por ejemplo, el ahorro en el consumo de carbón es de \$3.999.671,05 al mes y en consumo energético es de \$116.841,19 mensuales.
- Costo de Mano de Obra: El costo de mano de obra por ladrillo fisurado ha disminuido de \$33.000 a \$13.600, lo que sugiere que el proceso después de la mejora es más eficiente en términos de la mano de obra requerida.

Impacto Social:

- **Calidad del Producto:** La mejora en la calidad del producto, evidenciada por la reducción del porcentaje de ladrillos fisurados de 2% a 0.7%, lo que resultará en una mayor satisfacción del cliente.
- **Condiciones de Trabajo:** La disminución en el consumo de carbón y la eficiencia energética pueden reflejar un ambiente de trabajo más limpio y seguro, lo cual tiene implicaciones positivas para la salud y bienestar de los trabajadores.

Impacto Ambiental:

- **Reducción en el Consumo de Carbón:** Hubo una disminución en el consumo de carbón de 1.731 kg por turno a 1.350 kg por turno. Esto sugiere una reducción significativa en el uso de combustibles fósiles, lo que implica una menor emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero asociados con la quema de carbón. A nivel mensual, esto representa un ahorro de 5.714 kg de carbón, lo que equivale a una reducción amplia en la huella de carbono de la empresa.
- **Eficiencia Energética:** El consumo energético se redujo de 514 Kw por turno a 500 Kw por turno. Aunque la disminución parece pequeña, a lo largo del tiempo, esta mejora en la eficiencia energética puede sumar una cantidad significativa de energía ahorrada, disminuyendo así la demanda sobre los recursos energéticos y potencialmente reduciendo la dependencia de fuentes de energía no renovables.
- **Impacto en los Residuos:** Al disminuir el porcentaje promedio de ladrillos fisurados de 2% a 0,7%, se reduce la cantidad de desechos generados. Los ladrillos defectuosos, si no se reciclan o reutilizan, contribuyen a los residuos sólidos que necesitan ser gestionados, ocupando espacio en vertederos y potencialmente creando problemas ambientales

Resultados Financieros Clave:

- **Inversión Total:** El monto desembolsado para la materialización del proyecto alcanzó la cifra de \$37.208.494 COP. Este valor se compone de los costos laborales incurridos por tres estudiantes y un director de proyecto, a quienes se les asignó un sueldo base con las correspondientes prestaciones sociales. Adicionalmente, se incluyeron los costos asociados al uso de maquinaria pesada y el salario del operario encargado, elementos esenciales para la ejecución efectiva del proyecto. Detalles adicionales y desglose específico de estos costos se presentan en el anexo 16.
- **Ahorro Promedio Mensual:** Como resultado de la mejora, se ha logrado un ahorro promedio mensual de \$5.378.104 COP.
- **Retorno sobre la Inversión (ROI):** El proyecto ha generado un ROI del 73,45%, lo cual indica una rentabilidad significativa por encima del capital inicial invertido. Este alto porcentaje de ROI sugiere que por cada unidad monetaria invertida, el proyecto está generando 0,7345 unidades monetarias de beneficio adicional.
- **Tiempo de Recuperación de la Inversión (Payback Period):** El análisis ha determinado que el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial en 7 meses. Esta rápida recuperación de capital destaca la eficiencia del proyecto y su capacidad para generar flujos de caja positivos en un corto periodo.
- **Valor Presente Neto (VPN):** Con un VPN de \$21.671.407 y utilizando un costo promedio ponderado de capital (WACC) del 1,44% mensual, el proyecto demuestra una sólida perspectiva de generación de valor. El VPN positivo refleja que los beneficios futuros descontados superan la inversión inicial, confirmando que el proyecto es financieramente sólido.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR):** La TIR obtenida es del 9,690%, lo que excede el WACC del proyecto. Esto indica que el proyecto está generando un retorno superior al costo de capital, reafirmando su potencial para crear valor adicional para la empresa.

B. Estandarización de la solución – POE'S (plan de control)

Para garantizar que al ingresar la mezcla al proceso de secado rápido se encuentre a cierta temperatura se estableció un manual de control de humedad (ver anexo 15) dónde inicialmente se enseña cómo tomar la medida de porcentaje de humedad con el objetivo de estandarizar dicho proceso y evitar datos impresos, continuamente se muestra de forma detallada y considerando los activos actuales de la empresa, los diferentes métodos o metodologías que se pueden y deben llevar a cabo para conseguir un control deseado de humedad que se encuentre dentro de los rangos de aceptación, en este orden de ideas, se consideraron los casos para cuando la mezcla se encuentre por encima del límite superior de deseado como para cuando se encuentre por debajo del límite inferior de deseado (18% a 20%). Para el primer caso, debido a que se quieren bajar el nivel de humedad, las metodologías consideradas principalmente son el secado al aire libre, en interiores o un mezclado controlado; mientras que para el segundo caso las propuestas son de emplear agregados con mayor humedad a la mezcla o agregar agua a la misma, esto con el objetivo de aumentar su humedad. Adicionalmente, se considera el caso en el que por condiciones no se pueda llevar un control

adecuado en la humedad se propuso una contingencia relacionada con la velocidad de la cadena, dónde se exponen las diferentes velocidades considerando varios puntos en los porcentajes de humedad. Para preservar la mejor propuesta, se concientiza a todos los operarios y superiores, sobre la importancia de llevar a cabo los procedimientos establecidos en el manual además de mostrar afiches con fines educativos sobre lo expuesto en el manual.

C. Conclusiones

Dadas las complicaciones existentes por los ladrillos lisos fisurados que se evidenciaban al finalizar el proceso de secado rápido en la empresa la Samaritana S.A.S. Existen riesgos legales y posibles dificultades con los clientes que son uno de los grupos de interés del proyecto, además del funcionamiento interno de la empresa. El equipo del proyecto se encargó de buscar una solución que redujera el porcentaje de ladrillos fisurados y cumpliera con los requerimientos de los distintos grupos de interés. Por lo anterior al terminar el trabajo investigativo, recolección de datos, análisis de las distintas variables, la profundización en el problema por parte del equipo de trabajo, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Se caracterizó el proceso de secado de ladrillos para la referencia liso debido a que mediante el análisis de Pareto se logró identificar que, de un total de 24 025 ladrillos producidos, el número de unidades que presenta el tipo de defecto fisurado es de 16 483, equivalente al 68,60%, se identificó que el tipo de ladrillo que presenta mayor número de unidades desechadas por fisuras es el ladrillo liso con 10 071 unidades defectuosas sobre un total 16 483 ladrillos que presentaron defectos, equivalente a un 61,09%. Esta caracterización se llevó a cabo mediante herramientas ingenieriles tales como el mapa de procesos, SIPOC, etc.
- Para cumplir con el objetivo de identificar las variables más influyentes en la formación de fisuras en los ladrillos, estas fueron identificadas en la etapa de analizar, en donde encontramos que la variable más influyente es la humedad de la materia prima. Con el conocimiento que se adquirió en etapas anteriores, se identificaron criterios de aceptación para la materia prima en función de los niveles de humedad que se consideran adecuados para disminuir las fisuras durante el secado rápido, estos criterios de aceptación se obtuvieron a través de un diseño de experimentos, el cual dio como resultado que la humedad de la materia prima debe estar entre el 18% y 20%.
- Gracias al análisis de decisión multicriterio, se logró realizar una evaluación de las diferentes alternativas propuestas para solucionar la problemática. Como resultado se seleccionó la de mayor puntaje (894), que fue eliminar la entrada de materia prima con niveles de humedad no apropiados, estableciendo criterios de aceptación previa a su ingreso. Así mismo esta alternativa es la que más obedece a las restricciones y requerimientos de los distintos grupos de interés, los cuales eran clave para tener un entendimiento de la empresa y distintos factores que inciden en que se obtengan ladrillos fisurados de tipo liso al finalizar el proceso de secado rápido.
- Se lograron identificar las mejores condiciones de operación gracias al estudio realizado por el equipo del proyecto, haciendo uso del diseño de experimentos como base fundamental, además de los gráficos de contorno y cubos. Se obtuvo que cuando la humedad esta entre 0.19 y 0.20, la dureza oscila entre 1.5 y 1.6 kg/cm² y la velocidad de la cadena en Hertz esta entre 31.5 Hz y 32 Hz el porcentaje de defectuosos tendrá un valor promedio de 0.7%.
- La adecuación del modelo de control de humedad en la materia prima logró que se diera una disminución del porcentaje de ladrillos de tipo liso fisurados de 2% a 0,7% debido a que se puede tener un mejor control de la humedad de la materia prima.
- Se estandarizó el modelo de control de humedad en la materia prima por medio del POE (Procedimiento Operacional Estándar) con el fin de conservar las mejoras implementadas. Este manual permitirá tener un mejor control de la humedad en la materia prima y de esta forma reducir el número de defectuosos por fisuras.
- El proyecto fue validado económicamente hablando, dando como resultado una disminución significativa en el costo promedio de los ladrillos defectuosos por turno, una reducción de los costos de mano de obra por turno y un aumento de la eficiencia.
- El análisis financiero del proyecto revela un desempeño económico robusto y prometedor. Con un ROI sustancial, un Payback Period breve, un VPN positivo y una TIR que supera el costo de capital, el proyecto no solo es viable, sino que también es altamente recomendable desde una perspectiva financiera. Se aconseja la continuación y posiblemente la expansión de las iniciativas de mejora de la calidad, ya que estas medidas han demostrado ser capaces de aumentar la eficiencia operativa y la rentabilidad.

D. Recomendaciones

Después de realizar un análisis exhaustivo de la solución propuestas durante el proyecto de diseño, es esencial comprender que el proceso de mejora debe ser constante. Aunque se hayan evaluado todos los efectos de la solución planteada, es importante mantenerse en la búsqueda de mejoras continuas. Además, es fundamental seguir la propuesta y comprender el comportamiento en cada ciclo de producción, ya que pueden surgir variaciones que requieren estudio. Por este motivo, se han formulado algunas recomendaciones con el objetivo de prevenir la reincidencia en problemas y continuar mejorando la calidad del producto, especialmente en términos de ausencia de defectos superficiales (fisuras)

- Se recomienda monitorear constantemente la humedad de la materia prima de acuerdo a las condiciones de proceso establecidas en el presente proyecto, con el fin de cumplir con los lineamientos establecidos en la NTC 4205.
- Con el propósito de lograr eficiencia y efectividad en un proceso de producción, es esencial llevar a cabo un monitoreo y control continuo. Este enfoque busca identificar los problemas de manera rápida para optimizar los recursos y mejorar la capacidad de respuesta. En vista de esto, se sugiere asignar a una persona responsable de esta tarea, encargada de estudiar de manera constante tanto el proceso como los datos proporcionados según la propuesta del equipo de trabajo. El objetivo principal de este seguimiento es mejorar el proceso y prevenir la reincidencia en problemas previos.
- Se sugiere llevar a cabo un análisis para presentar los productos de La Samaritana S.A.S. que no fueron evaluados en este proyecto. El objetivo es identificar las condiciones óptimas de funcionamiento que garanticen el cumplimiento de la no existencia de defectos superficiales (No solamente fisuras), con el fin de impulsar la mejora continua de la calidad de los productos que actualmente ofrece la empresa.
- Es crucial mantener una vigilancia continua sobre los flujos de caja y realizar ajustes en la estrategia si surgen variaciones en los costos o en los ahorros proyectados. Además, se recomienda evaluar periódicamente el WACC para asegurar que se reflejen los cambios en el entorno económico y financiero.

VI. GLOSARIO

Arcilla: Material compuesto principalmente por silicatos hidratados de aluminio y ocasionalmente otros minerales, utilizado en la producción de ladrillos y bloques.

Hornos industriales: Maquinaria especializada que se utiliza en la fabricación de ladrillos y bloques para la cocción de los materiales a altas temperaturas.

PIB: Producto Interno Bruto, indicador económico que representa el valor total de todos los bienes y servicios finales producidos en un país durante un período determinado [2].

Manufactura: Proceso de transformación de materiales en productos útiles, generalmente utilizando maquinaria especializada.

CAEM: Corporación Ambiental Empresarial, entidad encargada de la promoción del desarrollo sostenible en Colombia [3].

Maduración: Proceso de preparación de la arcilla antes de su uso en la fabricación de ladrillos y bloques.

Elaboración: Proceso de mezcla y moldeo de la arcilla para dar forma a los ladrillos o bloques.

Depósito de materia prima procesada: Almacenamiento de la arcilla procesada antes de su uso en la fabricación de ladrillos o bloques.

Humidificación: Proceso de adición de agua a la arcilla para mejorar su maleabilidad y facilitar el moldeo.

Moldeado: Proceso de dar forma a la arcilla para crear los ladrillos o bloques.

Secado: Proceso de eliminación del exceso de humedad en los ladrillos o bloques.

Cocción: Proceso de cocción de los ladrillos o bloques en hornos industriales para darles mayor resistencia y durabilidad.

Almacenaje: Proceso de almacenamiento de los ladrillos o bloques una vez que han sido fabricados.

Cuellos de botella: Proceso o etapa del proceso de producción que limita la productividad y rentabilidad de una instalación.

Rentabilidad: Beneficio económico que se obtiene de una actividad empresarial después de haber restado los costos.

Instalación: Lugar o espacio donde se lleva a cabo la fabricación de ladrillos o bloques.

Materia prima: Sustancia básica que se utiliza en la producción de ladrillos o bloques, en este caso, la arcilla.

Plan de recolección de datos: Un plan estructurado que establece los procedimientos y métodos para recopilar información relevante con el fin de resolver un problema o tomar decisiones informadas.

Eficiencia del proceso: La medida en que un proceso productivo utiliza los recursos de manera óptima para obtener resultados deseados.

Unidades defectuosas: Ladrillos que presentan fisuras o defectos y no cumplen con los estándares de calidad establecidos.

Retenido de arena: La cantidad de arena presente en la mezcla utilizada para fabricar los ladrillos.

Penetrómetro: Un dispositivo utilizado para medir la dureza de un material al determinar la resistencia a la penetración.

Proceso de secado: El paso en la fabricación de ladrillos en el que se reduce la humedad para obtener un producto final adecuado.

Balanza digital: Un instrumento utilizado para medir el peso de manera precisa y electrónica.

Análisis macro: Un análisis amplio y detallado de un sistema o proceso en su conjunto, considerando diversos aspectos y variables.

Puntos críticos: Áreas o aspectos del sistema que representan desafíos o dificultades significativas y que requieren atención especial.

Indicadores de desempeño (KPI's): Son medidas cuantitativas utilizadas para evaluar el rendimiento de un proceso o sistema. Ayudan a medir el progreso hacia los objetivos establecidos.

Meta de mejora: El resultado deseado que se busca alcanzar mediante la implementación de acciones de mejora. Representa el nivel o estándar al que se aspira llegar.

Diagrama de Flujo de Proceso: Representación visual de los pasos o actividades de un proceso en secuencia, mostrando la relación entre ellos.

SIPOC: Acrónimo de Supplier, Input, Process, Output, Customer (Proveedor, Entrada, Proceso, Salida, Cliente), es una herramienta utilizada para describir y mapear un proceso identificando los elementos clave en cada etapa.

Subproceso: Una parte o etapa específica de un proceso más grande que se divide para un mejor análisis y comprensión.

Obtención de materia prima: Proceso de adquirir los materiales necesarios para la producción, en este caso, la arena y arcilla utilizadas para fabricar ladrillos de arcilla.

Triturado: Reducción del tamaño de la materia prima mediante un laminador para facilitar su manejo y mezclado.

Mezclado: Combinación de la materia prima triturada con agua y otros componentes para obtener una mezcla adecuada para la fabricación de ladrillos.

Moldeado: Proceso de dar forma a la mezcla de arcilla en moldes utilizando una extrusora para obtener los ladrillos.

Corte: Acción de separar los ladrillos moldeados para darles su tamaño y forma final utilizando una cortadora de alambre.

Dureza: La dureza se refiere a la resistencia de un material a ser rayado, deformado o penetrado. En el contexto de la fabricación de ladrillos, la dureza se puede medir para evaluar la resistencia del ladrillo una vez que ha sido cocido y endurecido. Una mayor dureza generalmente indica un ladrillo más resistente.

Humedad: La humedad es la cantidad de agua presente en un material. En el proceso de fabricación de ladrillos, es importante controlar y medir la humedad de la mezcla de arcilla utilizada para moldear los ladrillos.

Retenido de arena: El término "retenido de arena" se refiere a la cantidad de arena que queda atrapada o permanece en el ladrillo después del proceso de fabricación. Durante la etapa de mezclado de la arcilla con otros componentes, como el agua,

puede haber presencia de arena. Es importante controlar y minimizar la cantidad de arena retenida, ya que un exceso de arena puede afectar negativamente la calidad y resistencia del ladrillo final.

Diagrama de Ishikawa: También conocido como diagrama de causa-efecto o diagrama de espina de pescado, es una herramienta visual utilizada para identificar y analizar las posibles causas que contribuyen a un problema o efecto específico. El diagrama muestra las relaciones entre las causas potenciales y el efecto principal, ayudando a comprender las causas raíz que subyacen a un determinado fenómeno.

5 por qué's: Es una técnica de análisis de causa raíz que se basa en hacer preguntas repetitivas del tipo "¿Por qué?" con el fin de llegar a la causa fundamental de un problema. Al hacer una sucesión de "por qué's", se profundiza en las capas subyacentes de las causas hasta llegar a la causa raíz del problema.

Análisis de variabilidad: Es un proceso que busca identificar las fuentes de variabilidad en un sistema o proceso. En el contexto de la fabricación de ladrillos, el análisis de variabilidad se utiliza para comprender y controlar las fuentes de variación que pueden afectar la calidad del proceso de secado, permitiendo así la implementación de mejoras y optimizaciones.

Causas raíz: Son las causas fundamentales o subyacentes que generan un determinado problema o efecto no deseado. Identificar las causas raíz es esencial para abordar y solucionar los problemas de manera efectiva, ya que al eliminar o mitigar las causas raíz se evita que el problema vuelva a ocurrir.

Acciones correctivas: Son las medidas y acciones implementadas para solucionar un problema o defecto identificado. Estas acciones están dirigidas a eliminar o mitigar las causas raíz que generan las fisuras en los ladrillos durante el proceso de secado.

Factor respuesta: Es el resultado o variable que se está estudiando o evaluando en un experimento o análisis.

Trabajo óptimo: Condiciones ideales o recomendadas para obtener los mejores resultados en una tarea o proceso.

Temperatura de inyección: La temperatura a la que se introduce o inyecta un material en un proceso específico.

Velocidad de cadena: La velocidad a la que se mueve una cadena o un sistema de cadena.

SCAMPER: Método de generación de ideas que estimula la creatividad y el pensamiento innovador. Cada letra del acrónimo representa una pregunta clave que se hace para modificar conceptos existentes y generar nuevas ideas.

Matriz de preferencias: Herramienta utilizada en la toma de decisiones que permite comparar y evaluar alternativas en base a múltiples criterios.

Proceso Analítico de Jerarquía: Método de toma de decisiones que utiliza una jerarquía de criterios y subcriterios para comparar y evaluar alternativas.

Piloto o prototipo: Versión inicial o modelo de prueba de un producto o solución que se utiliza para evaluar su efectividad antes de su implementación a gran escala.

Procedimientos Operativos Estándar (POE): Instrucciones documentadas y establecidas para realizar una tarea o actividad de manera consistente y siguiendo estándares predefinidos.

IV. REFERENCIAS

- [1] DANE, "Boletín técnico: Estadísticas Ambientales 2020" [En línea]. Available: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/eam/boletin_eam_2020.pdf. [Último acceso: Mar. 09, 2023].
- [2] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). "Boletín Técnico del Producto Interno Bruto (PIB) - III Trimestre de 2018: Producción y Gasto" [En línea]. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib/bol_PIB_IIItrim18_produccion_y_gasto.pdf. [Último acceso: Mar 09, 2023].
- [3] CAEM. "Inventario Nacional del Sector Ladrillero" [En línea]. Disponible en: https://www.caem.org.co/wp-content/uploads/2021/01/13_inventario_Nacional_Ladrillero.pdf?x42968. [Último acceso: Mar 09, 2023].
- [4] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. "Portafolio de buenas prácticas para el sector de ladrillo en Colombia". Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/PORTAFOLIO-BUENAS-PRACTICAS-SECTOR-LADRILLO.pdf> [Último acceso: Marzo 11, 2023].

- [5] La Samaritana S.A.S.. Bitácora de producción 2021. 2022.
- [6] La Samaritana S.A.S.. Bitácora de producción 2022. 2023.
- [7] La Samaritana S.A.S.. Indicadores de consumo NOVIEMBRE 2022. 2022.
- [8] La Samaritana S.A.S.. Indicadores de consumo DICIEMBRE 2022. 2022.
- [9] La Samaritana S.A.S.. Indicadores de consumo ENERO 2023. 2023.
- [10] La Samaritana S.A.S.. Indicadores de consumo FEBRERO 2023. 2023.
- [11] La Samaritana S.A.S.. Bitácora de producción 2023. 2023.
- [12] M. Fernández Abajo, "Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos," Laboratorio Técnico Cerámico S.L., Barcelona, 2000.
- [13] Daskumars. (s.f.). WP4 - WaterPotential Meter (Dew Point Potentiometer). Daskumars. Disponible en: [http://daskumars.com/ProductDetail.aspx?productName=WP4%20Water%20Potential%20Meter%20\(Dew%20Point%20Potentiometer\)](http://daskumars.com/ProductDetail.aspx?productName=WP4%20Water%20Potential%20Meter%20(Dew%20Point%20Potentiometer)) [Último acceso: 22 de mayo de 2023].

V. ANEXOS

TABLA IV.
TABLA DE ANEXOS

No. Anexo	Nombre	Desarrollo (propio o terceros)	Tipo de Archivo (PDF, HTML, Excel, Word...)
1	2023102 - Anexo 1. Análisis del proceso de secado	Propio	Excel
2	2023102 - Anexo 2. Entrevistas a grupos de interés	Propio	Word
3	2023102 - Anexo 3. Lista de Chequeo para Revisión Documental PD1 20231	Propio	Word
4	2023102 - Anexo 4. Datos del proceso de secado, referencias de ladrillos y tipos de defectos	Propio	Excel
5	2023102 - Anexo 5. Plan para Recolección de Datos (PRD)	Propio	Excel
6	2023102 - Anexo 6. Hoja de Trabajo Situación Actual (DMAIC PD1)	Propio	Word
7	2023102 - Anexo 7. Datos recolectados enero a marzo 2023	Propio	Excel
8	2023102 - Anexo 8. Resultados de indicadores de desempeño	Propio	Excel
9	2023102 - Anexo 9. Diseño de experimento	Propio	Excel
10	2023102 - Anexo 10. Matriz AHP - 2023 Proyecto de Diseño	Docente Álvaro Figueroa	Excel
11	2023102 - Anexo 11 Project Edificadores	Propio	Project
12	2023102 - Anexo 12. Project Charter	Propio	Excel
13	2023102 - Anexo 13. Datos recolectados agosto 2023	Propio	Excel
14	2023102 - Anexo 14. Diseño de experimento después de implementar la mejora	Propio	Excel
15	2023102 - Anexo 15. Manual de Control de Humedad en la Mezcla	Propio, LA EMPRESA	Word
16	2023102 - Anexo 16. Análisis financiero del proyecto	Propio	Excel

