



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN LA
LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PELLETS EN LA EMPRESA
GAMBOA PELLETS UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS
PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES:

JUAN FERNANDO HARO VELASTEGUI

ESTEBAN PAUL JORDÁN RODRÍGUEZ

Riobamba - Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN LA
LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PELLETS EN LA EMPRESA
GAMBOA PELLETS UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS
PROVINCIA DE TUNGURAHUA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTORES: JUAN FERNANDO HARO VELASTEGUI

ESTEBAN PAUL JORDÁN RODRÍGUEZ

DIRECTOR: Ing. ÁNGEL GEOVANNY GUAMÁN LOZANO Mgs.

Riobamba - Ecuador

2023


©2023, Esteban Paul Jordán Rodríguez; & Juan Fernando Haro Velastegui

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Juan Fernando Haro Velastegui y Esteban Paul Jordán Rodríguez declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de abril del 2023



Esteban Paul Jordan Rodriguez
C.C: 180548789-7



Juan Fernando Haro Velastegui
C.C: 060604913-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal de Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA EN LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PELLETS EN LA EMPRESA GAMBOA PELLETS UBICADA EN EL CANTÓN BAÑOS PROVINCIA DE TUNGURAHUA**, realizado por los señores: **JUAN FERNANDO HARO VELASTEGUI** y **ESTEBAN PAUL JORDÁN RODRÍGUEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud que el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. José Francisco Pérez Fiallos PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-04-14
Ing. Ángel Geovanny Guamán Lozano, Mgs. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-14
Ing. Julio César Moyano Alulema. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-04-14

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Integración Curricular se lo dedico a mi familia quienes son el pilar fundamental en mi vida tanto académica como personal, en especial a mis padres y hermanos que siempre creyeron en mis capacidades y me brindaron su apoyo en todo momento.

Juan

El presente Trabajo de Integración Curricular se lo dedico a mi familia que siempre estuvo presente a lo largo de mis estudios superiores, a mis profesores que confiaron en mí y supieron transmitir su conocimiento de la mejor manera.

Esteban

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento más sincero a todas aquellas personas que fueron parte de este camino de una forma u otra manera, haciendo énfasis a aquellos que creyeron en mí en los momentos más difíciles, especialmente a mi familia y amigos quienes supieron darme la fuerza y el aliento necesario para seguir adelante, de igual manera a mis docentes los cuales me brindarme todo su conocimiento y apoyo a lo largo de este capítulo de mi vida y en último lugar pero no menos importante a mi queridísima Carrera de Ingeniería Industrial.

Juan

El más sincero agradecimiento a toda mi familia quienes fueron un pilar fundamental en este logro, sin dejar de lado a mis amigos y amigas que he ido conociendo a lo largo de la carrera los cuales aportaron positivamente en mi vida universitaria, por último, pero no menos importante quiero agradecer a la Carrera de Ingeniería Industrial por brindar todo su conocimiento y predisposición.

Esteban

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Bases teóricas	6
2.2.1. <i>Six Sigma</i>	6
2.2.1.1. <i>Principios de Six Sigma</i>	6
2.2.2. <i>Actores de Six Sigma</i>	7
2.2.3. <i>Etapas del método Six Sigma</i>	7
2.2.3.1. <i>Definir</i>	9
2.2.3.2. <i>Medir</i>	9
2.2.3.3. <i>Analizar</i>	9
2.2.3.4. <i>Mejorar</i>	10
2.2.3.5. <i>Controlar</i>	10
2.2.4. <i>Herramientas de Six Sigma</i>	10
2.2.5. <i>Implementación del Six Sigma</i>	15

2.2.6.	<i>Beneficios de la implementación de Six Sigma</i>	16
2.2.7.	<i>Pellets</i>	16
2.2.7.1.	<i>Fabricación de pellets</i>	17
2.2.7.2.	<i>Requerimientos energéticos para la fabricación de pellets</i>	19
2.2.7.3.	<i>Características de los pellets</i>	19
2.2.8.	<i>Normativa de calidad de pellets</i>	21
2.2.9.	<i>Usos del pellet</i>	22
2.2.10.	<i>Mercado global de pellets</i>	22
2.2.11.	<i>Producción de pellets en el Ecuador</i>	22
2.2.12.	<i>Diseño factorial 2k</i>	23
2.2.13.	<i>Regresión lineal simple</i>	23
2.2.14.	<i>Gestión de inventarios FIFO</i>	23
2.3.	Términos y Definiciones	25
2.4.	Referencias Normativas Ecuatorianas	26
2.4.1.	<i>NTE INEN-ISO 13053</i>	26
2.4.2.	<i>NTE INEN ISO 13053-1</i>	26
2.4.3.	<i>NTE INEN 13053-2</i>	26

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	27
3.1.	Localización de la empresa	27
3.2.	Descripción del producto	27
3.3.	Tipo de estudio	29
3.4.	Tipo de investigación	29
3.4.1.	<i>Investigación documental</i>	29
3.4.2.	<i>Investigación de campo</i>	29
3.5.	Metodología	30
3.5.1.	<i>Metodología deductiva</i>	30
3.6.	Etapas de Definir	30
3.6.1.	<i>Definición del problema</i>	30
3.6.2.	<i>Identificación de los clientes</i>	30
3.6.3.	<i>Voz de los clientes (VOC)</i>	31
3.6.4.	<i>Identificación de los CTQ's</i>	32
3.6.5.	<i>Declaración de variables</i>	33
3.6.6.	<i>Carta del proyecto</i>	34
3.7.	Etapas de Medir	36

3.7.1.	<i>Mapa de procesos</i>	36
3.7.2.	<i>Diagrama de flujo del proceso</i>	37
3.7.3.	<i>Diagrama de procesos</i>	38
3.7.4.	<i>Diagrama de recorrido</i>	40
3.7.5.	<i>Definición de la variable de medición</i>	41
3.7.6.	<i>Descripción del proceso de medición</i>	41
3.7.7.	<i>Elaboración del plan de muestreo</i>	41
3.7.7.1.	<i>Selección del tipo de muestreo</i>	41
3.7.7.2.	<i>Diseño de la hoja de recolección de datos</i>	42
3.7.7.3.	<i>Plan de muestreo piloto</i>	42
3.7.7.4.	<i>Cálculo de la desviación estándar de los datos</i>	44
3.7.7.5.	<i>Cálculo del tamaño de la muestra</i>	44
3.7.7.6.	<i>Registro del plan de muestreo</i>	46
3.7.8.	<i>Toma de datos</i>	46
3.7.9.	<i>Análisis de datos</i>	54
3.7.9.1.	<i>Prueba de normalidad</i>	55
3.7.9.2.	<i>Prueba de bondad de ajuste</i>	56
3.7.9.3.	<i>Cartas de control</i>	56
3.8.	Etapa de Analizar	57
3.8.1.	<i>Lluvia de ideas</i>	57
3.8.2.	<i>Diagrama de Ishikawa</i>	59
3.8.3.	<i>Diagrama de Pareto</i>	60
3.8.4.	<i>Regresión lineal</i>	63
3.8.4.1.	<i>Humedad de la materia prima vs % de humedad del pellet</i>	64
3.8.4.2.	<i>Velocidad de la banda transportadora vs % de humedad del pellet</i>	66
3.8.4.3.	<i>Velocidad de tambor de secado vs % de humedad del pellet</i>	67
3.8.4.4.	<i>Temperatura de tambor de secado vs % de humedad del pellet</i>	69
3.8.4.5.	<i>Velocidad de ingreso de materia prima a la peletizadora vs % de humedad del pellet</i>	70
3.8.5.	<i>Replanteamiento de variables de calidad</i>	71
3.9.	Etapa de Mejora	71
3.9.1.	<i>Estandarización de los parámetros de producción utilizando un diseño factorial 2⁴</i>	72
3.9.1.1.	<i>Declaración de los parámetros estudiados en el diseño</i>	72
3.9.1.2.	<i>Planteamiento de las hipótesis</i>	73
3.9.1.3.	<i>Aleatorización de las corridas del experimento</i>	74
3.9.1.4.	<i>Toma de datos</i>	76

3.9.1.5.	<i>Análisis de varianza Anova</i>	77
3.9.1.6.	<i>Desarrollo del modelo matemático del experimento</i>	78
3.9.1.7.	<i>Declaración de nuevos parámetros de producción</i>	79
3.9.2.	<i>Elaboración de un plan de muestreo de humedad de la materia prima y creación de un check list para la recepción de la misma</i>	81
3.9.2.1.	<i>Identificación de los parámetros claves de la materia prima</i>	81
3.9.2.2.	<i>Descripción del plan de muestreo</i>	81
3.9.2.3.	<i>Codificación de lotes de la materia prima</i>	83
3.9.2.4.	<i>Diseño de la Check List</i>	83
3.9.2.5.	<i>Hoja de decisión en función a la Check List</i>	85
3.9.3.	<i>Diseño de un sistema de gestión de inventarios basado en el método FIFO</i>	86
3.9.3.1.	<i>Codificación de lotes de producto terminado</i>	87
3.9.3.2.	<i>Asignación de espacios de almacenamiento en bodega de producto terminado</i>	87
3.9.3.3.	<i>Codificación de los espacios físicos de la bodega de producto terminado</i>	87
3.9.3.4.	<i>Asignación de los espacios físicos de bodega del producto terminado</i>	88
3.9.3.5.	<i>Diseño de hoja de control y registro del inventario de bodega de producto terminado</i>	88
3.9.4.	<i>Implementación de las mejoras planteadas</i>	89

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	92
4.1.	Etapas de Control	92
4.1.1.	<i>Plan de muestreo</i>	92
4.1.2.	<i>Toma de datos</i>	93
4.1.3.	<i>Análisis de resultados de las mejoras implementadas</i>	99
4.1.3.1.	<i>Prueba de normalidad</i>	99
4.1.3.2.	<i>Análisis de Capacidad del proceso</i>	100
4.1.4.	<i>Interpretación de resultados</i>	101
4.1.5.	<i>Resumen de resultados</i>	103
	CONCLUSIONES	105
	RECOMENDACIONES	107
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Etapas del método Six sigma.....	8
Tabla 1-3:	Clientes internos.....	30
Tabla 2-3:	Clientes internos.....	31
Tabla 3-3:	Requerimientos de cada clientes.....	31
Tabla 4-3:	CTQ's (Critical to Quality)	32
Tabla 5-3:	Diagrama de análisis del proceso	38
Tabla 6-3:	Resumen del análisis del proceso	39
Tabla 7-3:	Formato de hoja de recolección de datos	42
Tabla 8-3:	Resultados del plan de muestro piloto	43
Tabla 9-3:	Información del plan de monitoreo.....	46
Tabla 10-3:	Medición de calidad lote 06	46
Tabla 11-3:	Medición de calidad lote 07	48
Tabla 12-3:	Medición de calidad lote 08	49
Tabla 13-3:	Medición de calidad lote 09	50
Tabla 14-3:	Medición de calidad lote 10	52
Tabla 15-3:	Importancia de la causa	60
Tabla 16-3:	Resumen de las causas	61
Tabla 17-3:	Causas que generan el 80% del exceso de humedad.....	63
Tabla 18-3:	Promedio de humedad del pellet en cada lote.....	63
Tabla 19-3:	Parámetros claves de evaluación en cada lote	64
Tabla 20-3:	Resultado de la humedad de la materia prima vs % de humedad del pellet	65
Tabla 21-3:	Resultado velocidad de la banda transportadora vs % de humedad del pellet	66
Tabla 22-3:	Resultado velocidad de tambor de secado vs % de humedad del pellet	68
Tabla 23-3:	Velocidad de ingreso de materia prima a la peletizadora vs % de humedad del pellet	70
Tabla 24-3:	Propuesta de solución a las causas identificadas	72
Tabla 25-3:	Parámetros estudiados en el diseño	72
Tabla 26-3:	Aleatorización de las corridas del experimento	75
Tabla 27-3:	Codificación de los niveles de cada factor.....	76
Tabla 28-3:	Datos obtenidos para el diseño experimental.....	77
Tabla 29-3:	ANOVA	77
Tabla 30-3:	Términos incluidos en la ecuación final	79
Tabla 31-3:	Nuevos parámetros de producción.....	80
Tabla 32-3:	Principales parámetros a evaluar	81

Tabla 33-3:	Codificación de lotes de la materia prima.....	83
Tabla 34-3:	Diseño de la lista de chequeo	84
Tabla 35-3:	Hoja de decisión en función a la check list.....	85
Tabla 36-3:	Codificación de los espacios físicos de la bodega de producto terminado	87
Tabla 37-3:	Hoja de control y registro de inventario de bodega de producto terminado	89
Tabla 1-4:	Número de muestras	92
Tabla 2-4:	Resultado de muestreo lote 23/02/06-PE-CH	93
Tabla 3-4:	Resultado de muestreo lote 23/02/07-PE-CH	94
Tabla 4-4:	Resultado de muestreo lote 23/02/08-PE-CH	95
Tabla 5-4:	Resultado de muestreo lote 23/02/09-PE-CH	96
Tabla 6-4:	Resultado de muestreo lote 23/02/10-PE-CH	97
Tabla 7-4:	Principales cambios después de la implementación de la propuesta	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Figuras de diagrama de procesos.....	11
Ilustración 2-2:	Ejemplo de diagrama de Pareto	12
Ilustración 3-2:	Histograma	12
Ilustración 4-2:	Ejemplo de carta de control.....	13
Ilustración 5-2:	Diagrama de Ishikawa	15
Ilustración 6-2:	Pellets de madera	17
Ilustración 7-2:	Esquema de producción de pellets de madera	17
Ilustración 8-2:	Tabla comparativa de requerimientos de algunas normas de calidad de pellets	21
Ilustración 1-3:	Localización de empresa	27
Ilustración 2-3:	Producto de Gamboa Pellets.....	28
Ilustración 3-3:	Carta de definición del proyecto.....	35
Ilustración 4-3:	Mapa de procesos de Gamboa Pellets	36
Ilustración 5-3:	Diagrama de flujo del proceso de Gamboa Pellets	37
Ilustración 6-3:	Diagrama de recorrido de Gamboa Pellets	40
Ilustración 7-3:	Toma de datos en Gamboa Pellets.....	53
Ilustración 8-3:	Medición de humedad	54
Ilustración 9-3:	Resultados de normalidad mediante la prueba Anderson Darling	55
Ilustración 10-3:	Resultados de normalidad mediante la prueba Kolmogorov Smirnov	55
Ilustración 11-3:	Prueba de bondad del ajuste	56
Ilustración 12-3:	Cartas de control	57
Ilustración 13-3:	Lluvia de ideas	58
Ilustración 14-3:	Diagrama de Ishikawa	59
Ilustración 15-3:	Diagrama de Pareto	62
Ilustración 16-3:	Humedad del pellet con relación al % de humedad	65
Ilustración 17-3:	Porcentaje de humedad del pellet con relación a la banda transportadora de materia prima	66
Ilustración 18-3:	Porcentaje de humedad del pellet con relación a la velocidad de tambor de secado	68
Ilustración 19-3:	Porcentaje de humedad del pellet con relación a la temperatura del tambor secador	69
Ilustración 20-3:	Porcentaje de humedad del pellet con relación velocidad de ingresos de material a la peletizadora.....	70
Ilustración 21-3:	Croquis de la propuesta de designación de espacios físicos	88

Ilustración 22-3:	Muestreo de humedad de la materia prima	90
Ilustración 23-3:	Aplicación del Check List para la recepción de materia prima.....	90
Ilustración 24-3:	Aplicación del sistema de gestión de inventarios	91
Ilustración 25-3:	Asignación de espacios físicos en la bodega de almacenamiento de producto terminado	91
Ilustración 1-4:	Muestreo de humedad en la etapa de control.....	98
Ilustración 2-4:	Obtención de datos de humedad en la etapa de control	99
Ilustración 3-4:	Gráfica de probabilidad de datos	100
Ilustración 4-4:	Análisis de la capacidad del proceso	101
Ilustración 5-4:	Gráfica Xbarra-S de porcentaje de humedad antes de las mejoras	102
Ilustración 6-4:	Gráfica Xbarra-S de porcentaje de humedad después de las mejoras	102

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-3:	44
Ecuación 2-3:	45
Ecuación 3-3:	45
Ecuación 4-3:	45
Ecuación 5-3:	65
Ecuación 6-3:	78
Ecuación 7-3:	78
Ecuación 8-3:	82

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** APLICACIÓN DE CHECK LIST
- ANEXO B:** MÉTODO DE CONTROL DE INVENTARIOS FIFO
- ANEXO C:** INFORME PRELIMINAR DE PROPIEDADES DEL PELLETS DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL
- ANEXO D:** FICHA TÉCNICA DE LOS PELLETS
- ANEXO E:** EQUIPO DE LA EMPRESA TAMBOR SECAR Y BANDA DE ALIMENTACIÓN
- ANEXO F:** TAMBOR SECADOR
- ANEXO G:** VARIADORES DE VELOCIDAD

RESUMEN

La empresa de producción de pellets GAMBOA PELLETS inicialmente presentó una alta variabilidad en el porcentaje de humedad del producto final, dicho inconveniente genera que el pellet desmejore sus propiedades físicas y químicas, lo que provoca que el producto se encuentre fuera de la especificación dictaminada por el PFI USA (Pellet fuel Institute), por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue realizar la implementación de la metodología Six Sigma en la línea de producción de pellets de la empresa Gamboa Pellets de tal forma que ayude a mejorar los niveles de calidad, específicamente en torno al porcentaje de humedad del producto final así como también la reducción de la variabilidad del mismo. Se llevo a cabo un análisis específico del proceso que realiza la empresa con la finalidad de identificar las áreas que requieran mejoras, para efectuar este análisis se tomó como referencia la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), con la cual se desarrolló soluciones efectivas para los problemas identificados. Mediante la aplicación de distintas técnicas estadísticas y matemáticas se pudo evidenciar un cambio en el antes y después de haber aplicado las soluciones planteadas, aparte de esto se llevó a cabo un seguimiento mediante la implementación de un plan de muestreo con el objetivo de asegurar la eficacia de las propuestas y además se realizó un análisis de capacidad final que pudo determinar el impacto positivo de la metodología Six Sigma implementada en la empresa Gamboa Pellets. Los resultados denotaron una mejora significativa en la calidad del producto final, así como también una notable reducción de la variabilidad de la humedad, con ello se puede enfatizar que la implementación de la metodología Six Sigma puede ser efectiva si se la realiza a adecuadamente y siguiendo un enfoque sistemático planificado.

Palabras claves: <METODOLOGIA SIX SIGMA> <PRODUCCIÓN> <METODOLOGÍA DMAIC> <CALIDAD> <PELLET>.

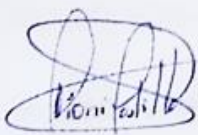
0701-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

GAMBOA PELLETS Company initially presented a high variability in the percentage of moisture in the final product, this disadvantage causes the pellet to improve its physical and chemical properties, which causes the product to be out of specification determined by the PFI USA (Pellet fuel Institute), for this reason, the objective of this research was to implement Six Sigma methodology in the pellet production line of GAMBOA PELLETS Company in order to improve the quality levels, specifically regarding the percentage of humidity of the final product as well as the reduction of its variability. A specific analysis of the processes performed by the company was made in order to determine the areas in need of improvement, using DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) methodology as a reference to develop efficient solutions to the problems detected. The application of different statistical and mathematical techniques allowed to demonstrate a change in the before and after having applied the proposed solutions, in addition to this, a follow-up was carried out through the implementation of a sampling plan in order to ensure the effectiveness of the proposals and a final capacity analysis was also performed to determine the positive impact of Six Sigma methodology being implemented in GAMBOA PELLETS Company. The results revealed a considerable improvement in the quality of the final product, as well as a remarkable reduction in the variability of moisture, thus emphasizing that the implementation of Six Sigma methodology can be effective if it is carried out adequately and following a systematic and planned approach.

Key words: <SIX SIGMA METHODOLOGY> <PRODUCTION> <DMAIC METHODOLOGY> <QUALITY> <PELLET>.



Mgs. Mónica Paulina Castillo Niamá.
C.I. 060311780-5

INTRODUCCIÓN

El impacto de los combustibles alternativos cada vez es más significativo en la sociedad, esto ha llevado a la búsqueda de nuevas fuentes de energía como es el caso del pellet, el cual aprovecha los residuos madereros generando una fuente económica y sustentable, actualmente en la industria ecuatoriana no existe un sector dedicado a la biomasa densa, por lo tanto, la empresa GAMBOA PELLETS es una de las primeras en incursionar en este campo.

En la actualidad la empresa busca que su proceso productivo cumpla con las más altas exigencias tanto del mercado nacional como mundial, para lo cual la mejora del sistema actual de producción dentro de la empresa es un factor muy fundamental ya que el mismo presenta algunos inconvenientes, mismos que disminuyen el nivel de calidad del producto terminado (pellet a base de residuos madereros).

Para poder cumplir con el objetivo de la organización existen varias metodologías, sin embargo, Six Sigma se acopla de una manera óptima al cumplimiento de los mismo ya que ayuda a localizar los puntos críticos dentro de la línea de producción de pellet, transformándolos en oportunidades de mejora.

La utilización de la metodología antes mencionada brindara una visión más clara y precisa de los problemas existentes, con la aplicación del ciclo DMAIC y las herramientas propias de la metodología se puede obtener resultados veraces y con gran nivel de certeza que mejoraran la calidad final del pellet.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

A lo largo de la historia las alternativas ecológicas se han ido convirtiendo en una prioridad para el cuidado de medio ambiente, por lo cual el desarrollo de nuevas tecnologías que sustituyan al petróleo son cada vez más relevantes, es el caso de la fabricación de pellets elaborados a partir de residuos madereros los cuales tiene como objetivo suplir la utilización de combustibles fósiles, así como también reducir las emisiones de CO₂; al ser Ecuador un país petrolero por excelencia la inserción de estas nuevas alternativas se torna compleja, tal que aún no existe una normativa nacional que regule este tipo de combustibles, sin embargo la empresa GAMBOA PELLETS al ser pionero en el país, busca alcanzar los más altos estándares de calidad.

La empresa GAMBOA PELLETS surge a partir de la necesidad de encontrar una alternativa económica y sustentable a los combustibles convencionales, mismos que generan costos elevados, gracias a la experiencia adquirida por uno de sus fundadores en Europa, se toma como mejor opción la utilización de pellets elaborados a partir de residuos madereros, al ser una tecnología no existente en el país toman la decisión de crear la empresa y producir sus propios pellets, inicialmente su producción era a pequeña escala; con el transcurrir de los años se evidencio la eficiencia y rentabilidad de este combustible impulsando el crecimiento de la fábrica lo cual incentivó a la búsqueda de la calidad y excelencia en sus procesos.

Una de las herramientas utilizadas en los últimos años para la reducción o eliminación de defectos y fallas en los productos es la metodología Six Sigma, misma que en líneas generales se apoya principalmente en la herramienta metodológica denominada DMAIC la cual consta de 5 pasos principales los cuales buscan encontrar defectos que podrían afectar directamente a los factores más críticos de calidad, a lo largo de los años esta metodología ha demostrado su gran valía y efectividad en líneas de producción por lo cual se adapta perfectamente al caso estudiado.

1.2. Planteamiento del problema

La empresa Gamboa Pellets ubicada en cantón Baños de Agua Santa cuenta con una línea de producción de pellets misma que no posee un control adecuado de calidad por tanto presenta constantes fallos y defectos en el producto terminado, causando inconformidad tanto para los clientes como para la empresa según la experiencia del gerente de esta fábrica, uno de los factores más determinantes para la calidad del pellet es la humedad; dentro de la línea de producción este factor no cuenta con un control óptimo.

Internamente en la empresa no existe recopilación de datos históricos de las especificaciones del producto lo cual dificulta la determinación de los factores que influyen en el particular de la mala calidad, por lo tanto, es necesario realizar un análisis inicial que ayude a determinar la situación actual de la línea de producción.

Con el paso del tiempo la empresa ha ido creando vínculos comerciales con distintas instituciones públicas y privadas, actualmente su cliente prioritario es el GADM Baños de agua santa, que exige el cumplimiento de normativas de calidad específicamente la norma PFI (USA,2011), primordialmente en el porcentaje de humedad ya que este factor determina parámetros importantes como el poder calorífico, emisión de CO₂, dureza y tiempo de almacenaje.

1.3. Justificación

La mejora del sistema actual de producción dentro de la empresa Gamboa Pellets es un factor muy importante ya que el mismo es deficiente, por lo cual la utilización de la metodología Six Sigma ayudará a identificar los puntos críticos dentro de la línea de producción de pellet, transformándolos en oportunidades de mejora, para satisfacer los estándares más altos posibles, cumpliendo con la exigencias del cliente, las cuales están basada en la norma PFI(USA,2011), la utilización de la metodología antes mencionada, brindará una visión más clara y precisa de los problemas existentes.

Uno de los parámetros más críticos en calidad de pellets es la humedad, ya que de esta dependen varios factores como son la eficiencia energética, la emisión de CO₂, dureza y el tiempo de almacenaje, sin embargo, al no contar con datos históricos es importante localizar los factores que afectan la calidad final, por lo cual la metodología Six Sigma se acopla de una manera adecuada al problema de la línea de producción ya que la misma cuenta con un proceso que ayuda a detectar las falencias existentes, tratarlas, mejorarlas y controlarlas, intentando llevar el producto terminado a estándares altos de satisfacción.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Implementar la metodología Six Sigma en la línea de producción de pellets en la empresa Gamboa Pellets ubicada en el cantón Baños provincia de Tungurahua.

1.4.2. Objetivos específicos

- Definir la situación actual dentro de la línea de producción de pellet y establecer su factor crítico de calidad, con la finalidad de localizar las diferentes falencias dentro del proceso; utilizando herramientas como: VOC, CTQ's y diagrama de árbol.
- Estimar el rendimiento inicial del proceso en relación con la variable crítica de calidad establecida previamente (% de humedad), con la utilización de herramientas como: mapa de procesos, diagrama de flujo, diagrama de procesos, diagrama de recorrido y cartas de control.
- Analizar si existe correlación entre los problemas detectados en la línea de producción y la variable crítica de calidad, con la ayuda de herramientas propias como: lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, diagrama de Pareto, regresión lineal, que ayudaran a determinar qué tan influyentes son las falencias encontradas, en relación a la calidad del producto final.
- Mejorar el proceso actual de producción, con un enfoque directo a aquellos parámetros claves del proceso que influyen directamente en el factor crítico de calidad, con la utilización de diseño experimental, check list.
- Controlar los resultados del proceso posterior a la implementación de las mejoras planteadas, comprobando así que las mismas se mantengan en un tiempo definido y determinando si cumple con los estándares deseados, para lo cual se utilizará herramientas como: nivel sigma, CPK, PPK, PPM, cartas de control, que ayudarán a comparar en qué medida se ha mejorado la calidad del proceso.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Six Sigma se originó en la década de 1980 como una filosofía creada por el ingeniero Mikel Harry. Se trató de analizar y evaluar las variaciones de los procesos en Motorola, la primera empresa en utilizar esta metodología como estrategia de mercado para la mejora de la calidad. De acuerdo con Zamorano (2005, pp. 4-5) el éxito de este enfoque en Motorola quedó demostrado en 1987, cuando las ventas se quintuplicaron, el valor de las acciones aumentó un 21,3% anual y el número de empleados aumentó de 70.000 a 130.000. Mallqui (2018, pp. 9-10) señala que a partir de ese momento Six Sigma fue adoptado y enriquecido por otras organizaciones líderes.

General Electric Company (2022), por ejemplo, aplicó el método Six Sigma a principios de la década de 1990 y su impacto se vio reflejado en 1995, cuando lanzó 200 grandes proyectos de mejora de la capacitación, implementó 3.000 proyectos de mejora en 1996 (promedio de 7 meses cada uno), capacitó a 30.000 personas (inversión de \$200 millones) y retornó \$170 millones. En 1998, el margen de beneficio operativo fue un récord del 16,7 % (10 % históricamente) y una inversión en formación de 400 millones de dólares resultó en un rendimiento de más de 1500 millones de dólares (Santamaría, 2015, p.5).

Actualmente se han realizado diversas investigaciones sobre la mejora de procesos y servicios basados en el método Six Sigma, ya que es de suma importancia para las pequeñas y medianas empresas generar una ventaja competitiva para mantenerse en el mercado (Villacis, 2018, p.14).

Por ejemplo, el estudio realizado por Martínez et al. (2012, pp. 13-151), se llevó a cabo con el fin de disminuir el porcentaje de no conformidades en piezas, ocasionadas en el área de montaje de la Fábrica de Muebles H&M Ltda. La forma de llevar a cabo el estudio fue la filosofía Six Sigma, que se basó en el método DMAIC. Como resultado, durante el desarrollo del proyecto, se observó un incremento en el desempeño del proceso, lo que se tradujo en una reducción de las cantidades de unidades rechazadas debido a que no cumplían con los estándares o porque se habían dañado durante el proceso.

Así mismo en la investigación de Aizaga y Arreaga (2021, pp. 13-76) el desglose de las razones de las no conformidades por parte del cliente final permitió conocer el estado actual del proceso, de las cuales el 68% de las no conformidades estaban relacionadas con problemas de secado deficiente, es decir, producto que excedía los parámetros de humedad previamente establecidos. La adopción de la metodología DMAIC permitió la reducción de los altos costos de no calidad, que se experimentaron en 2020. Las devoluciones en m³ de producto se redujeron en aproximadamente 72 punto 84 por ciento durante todo el año, y se observó una tendencia a la baja

en comparación con 2020. En conclusión, los autores enfatizaron que esta metodología beneficia la mejora de cada proceso y permite no solo alcanzar altos estándares de calidad, sino también lograr y mantener una alta satisfacción del cliente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Six Sigma

Es un método de resolución de problemas que se originó como una alternativa para abordar problemas complejos. Su creador es el Dr. Mikel Harry, quien lo creó como una herramienta para disminuir y regular la variación del procedimiento. Desde entonces, la idea ha sufrido numerosos cambios a raíz de las aportaciones, y ahora se utiliza en los procesos de mayor rendimiento (Salazar, 2019, p.1).

2.2.1.1. Principios de Six Sigma

Uno de los aspectos más importantes de Six Sigma y uno de los que más se destaca en la práctica, es probablemente garantizar la calidad en el proceso en lugar de la inspección. En este orden se genera y controla la calidad en el proceso, además de esto existen otros principios de Six Sigma, tales como (Pérez, 2019, p.34):

- **Mejora enfocada al cliente:** Esta es la base del método y se debe prestar especial atención a los requerimientos del cliente.
- **Gestión fundamentada en datos y en hechos:** Durante la aplicación de la metodología, se identifican las métricas clave, luego se toman medidas claras y se utilizan para demostrar que las soluciones propuestas funcionan.
- **Gestión proactiva:** Es necesario que la dirección de la empresa sea dinámica y receptiva, fijando y persiguiendo los objetivos marcados y centrándose en evitar problemas.
- **Colaboración:** Deben eliminarse los obstáculos que impiden la cooperación de los miembros de la organización, y las necesidades del cliente deben ser lo primero.
- **Enfoque en la perfección y tolerancia a fallas:** Las propuestas conllevan un riesgo, superar el miedo al fracaso es necesario para alcanzar las metas (Pérez, 2019, p.34).

2.2.2. Actores de Six Sigma

Six Sigma entiende la preparación que deben tener las personas involucradas en el proyecto, por lo que cuenta con una infraestructura para entender el rol de cada persona en base a la capacitación que ha recibido o está recibiendo (Jiménez, 2021, pp. 70-74). Los siguientes componentes componen la estructura:

- **Champion:** Es el responsable de seleccionar los proyectos y de proporcionar los medios y recursos necesarios para ayudar al Black Belt a realizar sus funciones (Jiménez, 2021, pp. 70-74).
- **Master Black Belt:** Son expertos en desarrollo que dan soporte a Black Belts y Green Belts, son los encargados de capacitar a las personas de la empresa debido a su amplia experiencia en la implementación de Six Sigma (Agudelo y Viana, 2019, pp. 36-37).
- **Black Belt:** Son los responsables del desarrollo de la metodología Six Sigma, brindan un enfoque claro y preciso del problema, además son patrocinadores del Green Belt (Agudelo y Viana, 2019, pp. 36-37).
- **Green Belt:** Ayudan con temas de mejora y pueden guiar proyectos Six Sigma a través de patrocinadores que los asesoran. Son fundamentales cuando las organizaciones quieren aplicar este enfoque (Agudelo y Viana, 2019, pp. 36-37).
- **Equipo de Trabajo:** Los champions y cinturones negros son los encargados de seleccionar los grupos de trabajo, y se recomienda que las personas que integran los grupos de trabajo sean voluntarios para que se comprometan a cumplir con las responsabilidades asignadas. (Jiménez, 2021, pp. 70-74).

2.2.3. Etapas del método Six Sigma

Un proyecto Six Sigma sigue la metodología DMAIC, la Tabla 1-2 describe cada una de las fases de esta metodología. Es importante tener en cuenta que, si bien cada fase tiene diferentes pasos y herramientas, no es necesario aplicarlos siempre todos a un proyecto (Lucidchart, 2019, p.1).

Tabla 1-2: Etapas del método Six sigma

N°	Carácter	Definición
Etapa 1.	<i>Definir el problema.</i>	Elabora un planteamiento del problema, sus objetivos, carta del proyecto, requerimiento del cliente y mapa del proceso de negocio.
Etapa 2.	<i>Medir el proceso de negocio actual.</i>	Recopila datos sobre el rendimiento y los problemas actuales. Verifica que los datos sean confiables y actualiza la carta del proyecto según sea necesario.
Etapa 3.	<i>Analizar la causa de los problemas.</i>	Examina el proceso y los datos recopilados, muestra los datos, investiga y confirma qué está ocasionando los problemas y sigue actualizando la carta del proyecto según sea necesario.
Etapa 4.	<i>Mejorar el proceso de negocio.</i>	Busca soluciones a los problemas y crea mapas de procesos de negocio para esas nuevas soluciones. Adopta medidas para implementar las nuevas soluciones y continúa midiendo la mejora.
Etapa 5.	<i>Controlar.</i>	Perfecciona el nuevo proceso, sigue supervisando y utiliza los resultados de otras partes del negocio, de ser posible.

Fuente: Lucidchart, 2019.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2022.

2.2.3.1. Definir

De acuerdo con Pereira (2019, pp. 38 -42) en esta etapa de Six Sigma se definen oportunidades de mejora, las cuales se pueden desarrollar a través de:

- **Diagnóstico preliminar:** Permite identificar áreas que necesitan mejora y determinar los objetivos, tareas y alcance del proyecto, teniendo en cuenta aquellas que se pueden identificar.
- **Caracterización de los procesos:** Comprende cada etapa o las distintas actividades que la componen, de las que depende el grado de fiabilidad del análisis de decisión.
- **Seleccionar al líder y el equipo:** Los líderes deben ser empleados de la organización con conocimiento y experiencia en las áreas que abarca el proyecto. El resto de los miembros del equipo son seleccionados en base a su experiencia y conocimiento en el campo involucrado (Pereira, 2019, pp. 38 -42).

2.2.3.2. Medir

Encontrar la fuente de las variaciones del proceso es lo que implica la fase de medición. En otras palabras, implica identificar y eliminar las causas de raíz de los problemas (Bohiges, 2018, pp. 15 -19).

En esta etapa se invierten la mayor cantidad de recursos, ya que de ella depende el éxito de las etapas subsiguientes. El diagrama de proceso creado en la fase anterior debe usarse nuevamente, pero esta vez se amplió para incluir los procesos que decidimos analizar (Bohiges, 2018, pp. 15 -19). Es crucial especificar cómo se medirán los valores y, en particular, cómo se tomarán en cuenta para investigaciones futuras. Se elaboran varios tipos de gráficos para examinar los datos obtenidos. Estos diagramas deben mostrar la dispersión de los valores obtenidos, siempre en relación con un valor medio o un intervalo (Pereira, 2019, pp. 38 -42).

2.2.3.3. Analizar

En esta etapa, el proceso se estudia cuidadosamente, examinando paso a paso, a menudo descubriendo problemas que se consideraban "normales" (Bohiges, 2018, pp. 15 -19). Al analizar un proceso, se busca

- Cambios significativos.
- Pasos que agregan valor, es decir, actividades que le dan al producto o servicio la función o forma deseada.
- Acciones que no agregan valor, es decir, aquellas que no agregan valor al cliente en la forma o función de un producto o servicio, por lo que deben eliminarse (Bohiges, 2018, pp. 15 -19).

2.2.3.4. *Mejorar*

En esta etapa se implementan las sugerencias o mejoras analizadas en la primera. El conjunto debe ser consciente de qué modificaciones son viables y cómo llevarlas a cabo, tomando decisiones apropiadas. De entre todos los posibles cambios en el proceso, se seleccionan aquellos que pueden tener un mayor impacto en las mejoras, así como evaluar los riesgos inherentes a los cambios realizados para su análisis en su posterior implementación. Las pruebas piloto deben incluirse en la fase de mejora, que consiste en ejecutar algunos experimentos antes de la implementación completa, lo que tendrá implicaciones para poder verificar, a pequeña escala, que los caminos elegidos son correctos (Martínez et al., 2021, pp. 1-199).

2.2.3.5. *Controlar*

Permite evaluar la efectividad y eficiencia de cada alteración que sufre el procedimiento. La ciencia estadística permite el uso de muchas aplicaciones para comprender el estado de los procesos bajo los eventos proporcionados por la información recopilada en una organización. (Martínez et al., 2021, pp. 1-199).

Durante la fase de control se debe garantizar el desempeño de la mejora del proceso, por lo que se deben implementar los siguientes pasos (Martínez et al., 2021, pp. 1-199):

- Implementar la solución.
- Hay que aseverar que la mejora se mantenga en el tiempo.
- Asegurarse de que los problemas nuevos sean identificados rápidamente mientras se encuentran con ellos.
- Estandarizar.

2.2.4. ***Herramientas de Six Sigma***

Los planes, objetivos y problemas se pueden resolver con la ayuda de diversas herramientas gráficas, como:

- Diagrama de proceso

Una línea de tiempo proporcionada por la herramienta refleja una progresión completa de eventos desde el principio hasta el final. De esta forma, la herramienta revela qué factores son críticos, controlables y disruptivos para el proceso. Según Aizaga y Arreaga (2021, pp. 1-89), un parámetro controlable es aquel que puede modificarse y afecta directamente al proceso. Por otro lado, un

parámetro disruptivo es aquel que no se puede controlar directamente. Los parámetros críticos del proceso son identificados por expertos del proceso.







SIMBOLOGÍA OTIDA	
Origen inicio del proceso	
Operación	
Transporte o desplazamiento	
Inspección o revisión	
Demora o espera	
Almacenamiento o archivo	

Ilustración 1-2: Figuras de diagrama de procesos

Fuente: Diagrama web, 2020, p.1.

- Diagrama de Pareto

Se trata de un gráfico de barras que identifica la prioridad y la causa; los diferentes tipos de problemas encontrados en el proceso están ordenados por importancia. El propósito del gráfico es basado en el concepto de Pareto, también conocido como "la ley 80-20", que sostiene que solo el 20% de los elementos son responsables de la mayor parte del problema, mientras que el 80% restante solo aporta poco al problema general (Durán, 2022, pp. 7-9).

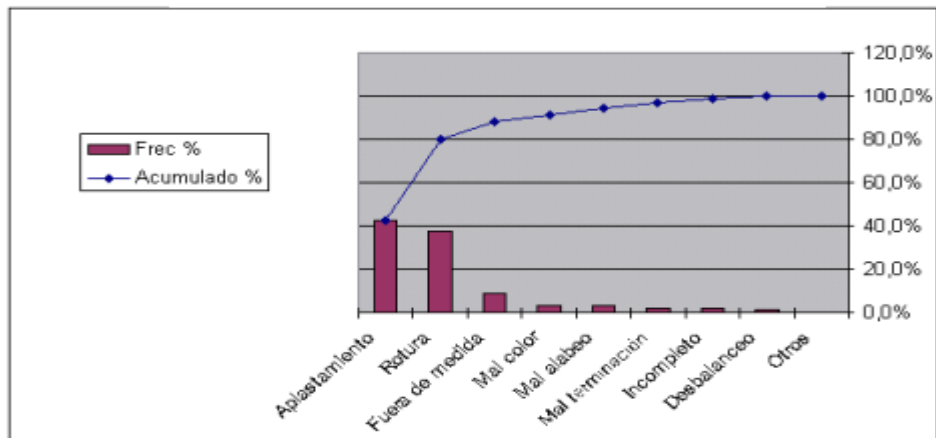


Ilustración 2-2: Ejemplo de diagrama de Pareto

Fuente: Aiteo, 2020, p.1.

- Histograma

Representación gráfica de la distribución de una variable o conjunto de datos que divide los datos en varias clases y categorías de tamaño predefinidas. Es una de las siete herramientas básicas de calidad, es muy útil a la hora de organizar una gran cantidad de datos, ayuda a analizarlos en detalle o también a tomar decisiones en base a ellos (Aizaga y Arreaga, 2021, pp. 1-89).

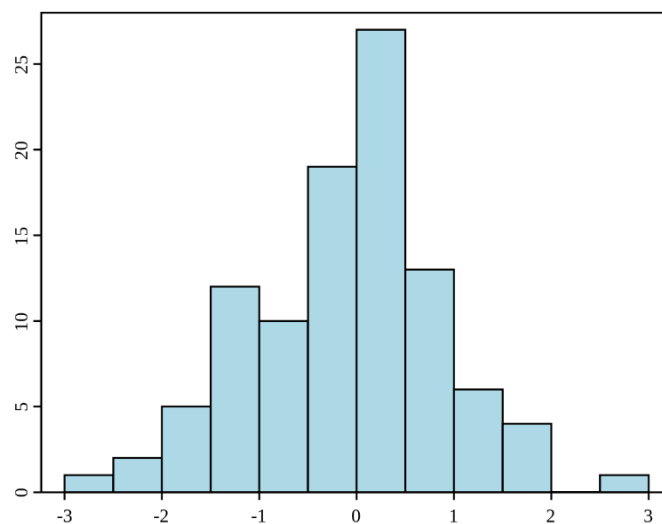


Ilustración 3-2: Histograma

Fuente: Pardo, 2019, p.1.

- Hoja de verificación

Es un método de recolección de datos que tiene como objetivo simplificar, sistematizar y analizar los datos de manera sencilla. Una hoja de verificación eficaz debe exhibir la capacidad de observar

de manera visual las características más importantes de la información requerida (Durán, 2022, pp. 9-10). Hay algunas situaciones en las que es útil obtener información a través de esta herramienta, como las siguientes:

- Indicar la salida o los resultados de un proceso.
- Clasificar los diferentes tipos de errores, quejas o defectos detectados para identificar su alcance, tipos de error, motivos, área de origen, etc.
- Determinar las razones de los problemas de calidad.
- Analizar o verificar operaciones y evaluar los resultados de los planes de mejora (Durán, 2022, pp. 9-10).

- Cartas de control

Este gráfico se utiliza cuando los datos medidos o controlados pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo (variables del tipo continuo). Los gráficos de control están ordenados por tiempo, que mide las características de calidad de cada muestra para determinar si las observaciones son anómalas (González, 2018, p.64). Durán (2022, pp. 9-10) plantea que en general, hay dos tipos de gráficos de control:

- **Cartas de control para variables:** Son gráficos aplicados a variables o características de calidad de carácter continuo (longitud, peso, volumen, etc.).
- **Cartas de control para atributos** Son representaciones gráficas que se emplean para monitorear la calidad de características como "pasó o falló" o que cuentan la cantidad de no conformidades de los productos analizados.

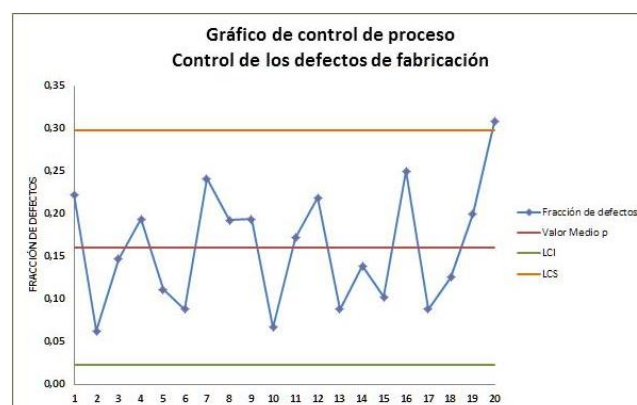


Ilustración 4-2: Ejemplo de carta de control

Fuente: Pardo, 2019, p.1.

- Diagrama de Ishikawa

Asimismo, el diagrama de Ishikawa es llamado causa-efecto, que se encarga de ilustrar las posibles causas que originen un contratiempo. El diagrama de Ishikawa se utiliza para (González, 2018, p.64):

- Identificar las características y parámetros más importantes.
- Establecer los factores que influyen en un problema.
- Entendimiento de un problema por parte del equipo de trabajo.

De acuerdo con (Aizaga y Arreaga, 2021, pp. 1-89), existen dos tipos de diagrama:

Diagrama con método de las 6M

Métodos: Procedimientos que se ejecutan en el proceso de producción.

Mano de obra: Personal que participa en actividades dentro de la organización.

Materia prima: Material requerido para la producción.

Medición: Herramientas que permiten evaluar el desempeño de los procedimientos.

Medio: Circunstancias en el lugar de trabajo.

Maquinaria y equipo: Herramientas que facilitan el proceso (Aizaga y Arreaga, 2021, pp. 1-89).

Diagrama de pescado simple

Al diseñar el patrón de espiga, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Definir el problema, situación o evento que se apetece evaluar.
- Ejecutar una lluvia de ideas sobre las posibles cogniciones del problema.
- Evaluar el problema desde cada una de las espigas más grandes.
- Estudiar el problema desde el segundo nivel de causas.
- Indagar en las causas conforme sea requerido.
- Analizar las causas obtenidas y determinación en cuales se va a actuar (Aizaga y Arreaga, 2021, pp. 1-89).

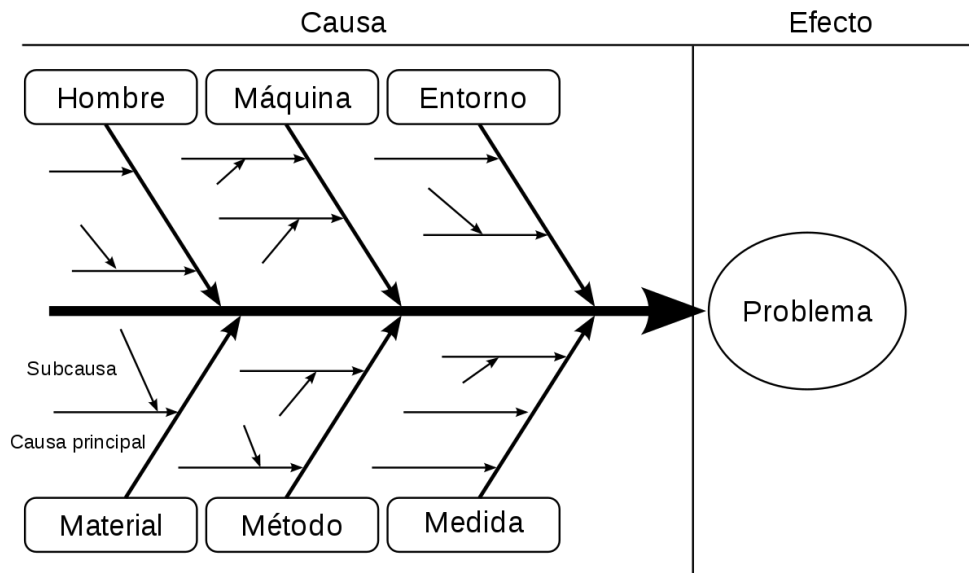


Ilustración 5-2: Diagrama de Ishikawa

Fuente: Progres, 2019, p.1.

- Lluvia de ideas

Son una clase de pensamiento creativo que tiene como objetivo que todos los integrantes de un grupo puedan participar libremente y contribuir con ideas sobre un tema o asunto específico. Es muy provechoso para llevar a cabo trabajos en grupo, ya que fomenta la reflexión y el diálogo acerca del asunto debatido y acerca de la equidad (Durán, 2022, pp. 9-10).

2.2.5. Implementación del Six Sigma

El propósito principal de Six Sigma es complacer a los clientes, por ende, se centra en entender sus necesidades, recolectar información y encontrar oportunidades de mejora y mejoras continuas a través de la estadística (Aizaga y Moreira, 2021, p.24). Una vez que Six Sigma se implementa y logra, el control de calidad se vuelve innecesario ya que estamos hablando de procesos de alto rendimiento, ya que Six Sigma permite (Aizaga y Moreira, 2021, p.24):

- Asegurar la calidad de cada trabajo (controles innecesarios).
- Desarrollo de recursos humanos que pueden mejorar la calidad.
- Certificar la sustentabilidad del negocio.
- Implementar procesos, productos y servicios competentes.

2.2.6. Beneficios de la implementación de Six Sigma

Ochoa (2022, p.1) plantea que La compañía que decida implementar Six Sigma debe participar en proyectos de mejora continua que usen las herramientas del sistema para analizar y mejorar los procesos, de esta manera se reducirá al máximo el desperdicio y se obtendrán beneficios, los cuales son:

- **Genera éxito sostenido:** Permite a la empresa generar las competencias necesarias para lograr un crecimiento sostenible y no desaparecer del mercado a través del desarrollo de una cultura de mejora continua (InideMéxico, 2022, p.1).
- **Aumentar el valor para el cliente:** Busca brindar productos excelentes que cumplan con los requisitos de valor del cliente y logren rentabilidad mediante la optimización de las operaciones (InideMéxico, 2022, p.1).
- **Acelera la tasa de mejora:** Para mantener su posición en el mercado, las organizaciones deben intentar incrementar la velocidad de sus procesos de forma continua para así superar la demanda de los clientes y "ganar la carrera" con la competencia (Ochoa, 2022, p.1).
- **Proporciona aprendizaje a todos los niveles:** La metodología Six Sigma se centra en capacitar a todos los involucrados en el proceso, desde los gerentes hasta los empleados (Ochoa, 2022, p.1).
- **Arrastra un cambio estratégico:** Las empresas tienen la capacidad de realizar cambios significativos, innovar productos, realizar cambios significativos en sus cadenas de valor, ingresar a nuevos mercados, formar alianzas estratégicas y asumir más riesgos que ayudarán a que su mercado crezca (InideMéxico, 2022, p.1).
- **Mayores beneficios económicos:** Permite a las empresas generar beneficios económicos muy significativos mediante la reducción de estructuras de costos, la eliminación de desperdicios y la generación de nuevas fuentes de ingresos (MES, 2019, p.1).

2.2.7. Pellets

Los pellets (ilustración 6-2.) son uno de los combustibles más utilizados producidos a partir de biomasa en la actualidad. Por su alto poder calorífico y bajo coste, son ideales para calentar nuestros hogares de forma económica. Uno de los pasos más importantes en el proceso de fabricación de pellets es el prensado. Todo el mundo sabe cómo son los gránulos. Su reducido y compacto tamaño les permite operar con mayor eficiencia energética (Sánchez, 2018, p.15).



Ilustración 6-2: Pellets de madera

Fuente: Arnabat, 2020, p.1.

2.2.7.1. Fabricación de pellets

El proceso relacionado con la fabricación de los pellets contempla varias fases, las principales operaciones que se llevan a cabo son las siguientes:

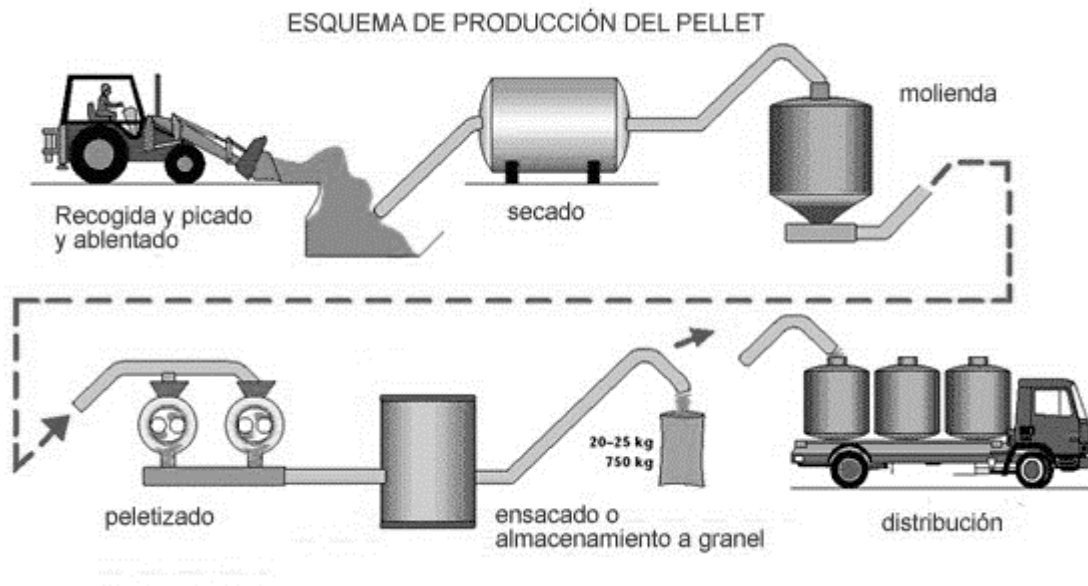


Ilustración 7-2: Esquema de producción de pellets de madera

Fuente: Adegua, 2019, p.1.

- Recepción de las materias primas

Los pellets se crean a partir de materia prima orgánica, en su mayoría son residuos y subproductos de la industria forestal, en especial de la industria de la madera. Este último origina grandes cantidades de astillas limpias y pequeñas piezas de madera durante la fabricación. Estas son

fuentes ideales para la producción de pellets. Sin embargo, debido a la creciente demanda de pellets en el mercado, algunas fábricas producen pellets directamente de la madera (Binas, 2019, p.5).

- Secado

El secado es un paso opcional u obligatorio y puede oscilar entre el 35 % y el 70 % según el contenido de humedad de la materia prima. Un alto contenido de humedad puede afectar negativamente al producto final, afectando el poder calorífico, la fragilidad y el rendimiento de las partículas en la caldera. El proceso de secado que se realiza sobre las materias primas puede ser natural o forzado. En la actualidad, el más utilizado es el sistema de secado forzado, que puede utilizar secado de banda o secado directo con tamiz de tambor (Gallardo, 2021, pp. 6-13).

- Control de humedad

El monitoreo del nivel de humedad es crucial para garantizar la calidad de los pellets que se producen. En el caso de la madera, la humedad de la materia prima debe encontrarse entre el 15% y el 20%. Otros tipos de biomasa requieren procedimientos adicionales. La humedad se puede reducir secando o soplando aire caliente en el material. Pero no se exceda: si la humedad es demasiado baja, se puede inyectar vapor o agua en el lote de materias primas (Binas, 2019, p.5).

- Molido

Puede ser necesario utilizar un molino de martillos para moler en dos etapas, dependiendo de la materia prima utilizada. Dependiendo de la presión de granulación, el tamaño de la biomasa seca se tritura en una segunda etapa hasta un tamaño máximo de 3 mm, y el tamaño de la materia prima húmeda con un 50 % de humedad se tritura en una primera etapa hasta un tamaño de unos 6 mm (Fernández, 2020, p.4).

La razón de ser de la molienda en el procedimiento de obtención de pellets es que la molienda es lo suficientemente intensa para compactar el material de manera significativa a la vez que reduce la formación de partículas finas, lo que permite que los gránulos tengan una estructura física óptima. La desventaja de esta etapa es que utiliza mucha energía, lo que está directamente relacionado con el tamaño de partícula final y el tipo de material que se procesa (Gallardo, 2021, pp. 6-13).

- Paletización

Las astillas de madera de las etapas anteriores entran en la prensa y son empujadas por los rodillos a través de los orificios dispuestos en los troqueles angulares giratorios, reduciendo el volumen de aserrín de 3 a 5 veces, obteniendo así el producto deseado. No se requiere ningún aditivo para la compactación, ya que los propios componentes que contienen lignocelulosa actúan como aglutinantes (Fernández, 2020, p.5).

- Enfriamiento

Los pellets que salen de la extrusora están muy calientes, hasta 150°C. También son muy suaves. Por ello, cuando llegan a la bandeja receptora, son enfriadas por el flujo de aire y al mismo tiempo se secan. El contenido final de partículas no debe exceder el 8% (Binas, 2019, p.8).

- Empacado

Los pellets con bajo contenido de humedad después del enfriamiento se envasan en bolsas de diferentes capacidades o se almacenan a granel para su venta. Siempre que las condiciones de almacenamiento sean buenas y la humedad se mantenga dentro de un cierto rango, se pueden almacenar indefinidamente sin estropearse (Caiza, 2019, p.8).

2.2.7.2. Requerimientos energéticos para la fabricación de pellets

La fabricación de pellets implica energía durante el proceso, en especial durante el secado de las materias primas y los pellets terminados, así como durante el funcionamiento de varias máquinas. A menudo, para reducir la humedad, las fábricas queman parte de las materias primas para obtener el aire caliente necesario. Además, se estima que se requieren de 50 a 100 kilovatios por cada tonelada/hora producida. Las instalaciones pequeñas pueden usar generadores de gasolina o diésel para producirlo (Moreno, 2019, p.12).

2.2.7.3. Características de los pellets

- Brillo

Un buen pellet tiene un aspecto brillante, como si estuviera barnizado, y una superficie lisa (Pinilla et al., 2020, pp. 18-19).

- Color uniforme

Debe ser de un color uniforme, si presenta colores extraños revelaría la presencia de objetos extraños como papel, tierra, plástico u otros materiales no madereros. En este sentido, el color final del pellet depende de la materia prima y de los procesos empleados, no afectando a la combustión ni a la calidad una mayor palidez (Pinilla et al., 2020, pp. 18-19).

- Forma y tamaño

Los pellets tienen forma cilíndrica y un diámetro máximo de 25 mm, además, su longitud puede ser de 10 mm a 7 cm. Estas propiedades lo convierten en un producto fácil de manejar y eficiente mecánicamente, facilitando su transporte y permitiendo la carga automática de las calderas (Gallardo, 2021, pp. 6-13).

- Densidad

La fuerza de compresión se incrementa con la densidad de la materia prima, por lo que se requiere mayor presión para lograr la misma intensidad de compresión. La densidad de los pellets puede estar entre 1000 y 1200 Kg/m³ y a granel puede estar entre 600 y 800 Kg/m³ (Pinilla et al., 2020, pp. 18-19).

- Humedad

Afecta el rendimiento de calentamiento del producto, cuando la humedad es superior al 30%, no es posible compactar y mantener la madera unida, y cuando la humedad es inferior al 6%, la energía de compactación disminuye, por lo que se tendría que gastar mucha energía generando más costos (Álvarez, 2019, pp. 86-87).

- Friabilidad

Es la aptitud de resistir los choques y las abolladuras sin desmoronarse. Estos deben ser evitados a lo largo de todo el proceso que va desde la creación hasta el consumo (Álvarez, 2019, pp. 86-87).

- Poder calorífico

Se denomina energía liberada cuando se quema un kilogramo de partículas, la cantidad de energía que se libera depende de la materia prima, la humedad y la presencia de otros elementos, como metales. Los valores estimados se encuentran entre 4200 y 4500 Kcal/kg con un 10% de humedad (Álvarez, 2019, pp. 86-87).

2.2.8. Normativa de calidad de pellets

Para comercializar biomasa densa, se establecieron rangos de valores aceptables para la biomasa sin procesar y para el producto final. A continuación, se muestra una lista de algunos estándares existentes (Zapata, 2016, p.19):

- Pellet Fuel Institute (PFI) [USA]
- European Common Standard for Solid Fuel (CEN) (CEN/TC 335) [Europa]
- ONORM [Austria]
- Pellsam [Suecia]
- DIN 51731 (testing of solid fuels—compressed untreated wood) [Alemania]
- SN 166000 (testing of solid fuels—compressed untreated wood) [Suiza]

Cabe señalar que estas normas están dirigidas principalmente a la comercialización de combustibles sólidos para combustión (Zapata, 2016, p.19).

Norma	Austria ÖNORM M7135	Suecia SS 18 71 20			Alemania DIN 51731	Estados Unidos PFI		
		G1	G2	G3		Premium	Estándar	Utility
División								
Diametro (mm)	4-20	< 4	< 5	< 6		6,35-7,25	6,35-7,25	6,35-7,25
Longitud (mm)	< 100							
Densidad a granel (kg/m3)		> 600	> 500	> 500		640-737	609-737	609-737
Finos (%)		< 0,8	< 1,5	< 1,5		0,5		
Contenido de humedad (%)	<12	< 10	< 10	< 12	< 12	<8	<10	<8
Contenido de ceniza (%)	< 0,5	< 0,7	< 1,5	< 1,5	> 1,5	1	2	6
Poder calorífico (MJ/kg)	> 18	> 16,9	> 16,9	> 16,9	17,5-19,5	registrar	registrar	registrar
Azufre (%)	< 0,04	< 0,08	< 0,08		<0,08			
Nitrógeno (%)	< 0,3				<0,3			
Cloro (%)	< 0,02	< 0,03	< 0,03		<0,03	0,0003		
Arsenico (mg/kg)					<0,8			
Cadmio (mg/kg)					<0,5			
Cromo (mg/kg)					<8			
Cobre (mg/kg)					<5			
Mercurio (mg/kg)					<0,05			
Plomo (mg/kg)					<10			
Zinc (mg/kg)					<100			
Finos antes de entrega al cliente	< 1				< 1			
Aditivos	< 2	registrar	registrar	registrar				
Punto de fusión de ceniza		registrar	registrar	registrar				
Durabilidad						97,5	97,5	97,5

Ilustración 8-2: Tabla comparativa de requerimientos de algunas normas de calidad de pellets

Fuente: Zapata, 2016.

2.2.9. Usos del pellet

Puede ser utilizado para calentar y/o producir agua caliente en cualquier hogar, incluyendo residencias unifamiliares, complejos de departamentos, comercios, hoteles, lagos, industrias y otros lugares que utilicen este tipo de combustible (Pinilla et al., 2020, pp. 18-19). Algunos usos son:

- Estufas y calderas para calefacción
- Calderas de agua caliente
- Calderas a vapor
- Procesos industriales (Pinilla et al., 2020, pp. 18-19).

2.2.10. Mercado global de pellets

Desde 2011, el volumen de pellets de madera ha crecido a una tasa promedio anual del 14%, esta tasa se ha incrementado en un promedio de un 4% anualmente, principalmente debido a la implementación de políticas y leyes que impulsaron la entrada de nuevos mercados en Europa del Sur y el consumo en Asia. Objetivos de consumo de biocombustibles en Europa, según la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Vargas, 2018, p.9).

Los países de la UE son los mayores productores de pellets del mundo (54 %), seguidos por el principal exportador de América del Norte (35 %). En cambio, la producción en Asia, Australia y Latinoamérica es menor (11%) (Aguirre, 2022, p. 38). Los países de América del Sur (Brasil y Chile) fueron las regiones de mayor crecimiento, con un aumento del 21 % en la producción de pellets en 2019 (Gallardo, 2021, pp. 6-13).

En cuanto a los valores de los pellets, es difícil encontrar valores promedio debido a la forma en que los consumidores grandes manejan la información, ya que estos valores están vinculados a contratos a largo plazo y son secretos. Sin embargo, los precios del pellet para el consumidor residencial (Europa) se sitúan entre los 200 €/t y los 300 €/t, con la excepción de Suiza y Francia, donde los precios son más elevados. En 2013, Austria, Alemania, Suecia e Italia tuvieron los precios más altos, mientras que en 2014 los precios aumentaron para los consumidores de Suiza, Francia y España. Los precios cayeron en todos los países en 2016 por la sobreoferta en el mercado de pellets pequeños, medianos e industriales (Sánchez, 2018, p.8).

2.2.11. Producción de pellets en el Ecuador

Un estudio acerca de la existencia de compañías que se dediquen a la fabricación de pellets en el territorio ecuatoriano descubrió que, a diferencia de la industria de los Estados Unidos, en Ecuador no existe un sector dedicado a la biomasa densa (pellets de madera o briquetas), sin embargo, actualmente existe un proyecto que es impulsado por la Secretaría Nacional de Ciencia.

y Tecnología (SENECYT). La Corporación de Investigaciones Energéticas y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, en conjunto, llevaron a cabo el proyecto llamado Planta para la producción de biocombustibles a partir de biomasa residual, este proyecto fue financiado por la SENECYT, que se encuentra en la provincia de Santo Domingo (Arpi y Calderón, 2015, p.76).

En Baños, Tungurahua, existe una fábrica que produce pellets a base de residuos de madera, arroz y otros productos para la producción de bioenergía a partir de biocombustibles. La fábrica está a cargo de dos hermanos emprendedores que se esfuerzan por abastecer una fábrica de jeans, un complejo recreativo con piscina, molinillos de café, maíz entre otros (La Hora, 2022, p.1). El plan comenzó con el propietario de la instalación, Santiago Gamboa, quien dice que surgió de la necesidad de que negocios como las piscinas fueran grandes consumidores de combustible. Hace 11 años tuvo la oportunidad de viajar a otro país y trasladar sus ideas a la ciudad de Baños, pero fue recién hace 9 años que su producción tomó fuerza y ya abastece a tres ciudades del país. La organización utiliza recursos naturales y la última tecnología para garantizar que el material utilizado en la fabricación de los pellets no provoque ningún tipo de contaminación. La producción actual de sacos de 15 kg en la fábrica está destinada únicamente al sector industrial (La Hora, 2022, p.1).

2.2.12. *Diseño factorial 2k*

El vocablo "diseño factorial 2k" se refiere a experimentos en los que cada uno de los k factores tiene dos alternativas, es decir, cuando se lleva a cabo un experimento con k variables, cada una de ellas solo puede presentarse en dos alternativas. Una réplica exacta de dicho diseño requiere 2k combinaciones, y estos niveles pueden ser cuantitativos o cualitativos. Esta idea explica la mejor manera de realizar experimentos para determinar simultáneamente si los factores k interactúan entre sí y cómo afectan una respuesta (Fernández, 2020, pp. 19-24).

2.2.13. *Regresión lineal simple*

El análisis de regresión es el proceso de examinar la relación entre dos variables, una llamada dependiente (Y) y la otra llamada independiente o explicativa (X), a través de una línea (Rojo, 2017, pp. 4).

2.2.14. *Gestión de inventarios FIFO*

El método FIFO, también conocido como PEPS, es una forma común de administración de inventario que se usa junto con el método LIFO. Primero en entrar, primero en salir es la sencilla definición y el principio que subyace en el método FIFO (o PEPS en español) para el

almacenamiento industrial. El primer artículo o unidad de carga que entra en el almacén también sale, es decir (ARRACKING, 2019, p.1).

2.3. Términos y Definiciones

Gestión: Manejo de recursos para lograr las metas que se propone (Rodríguez, 2019, p.1).

Medición: Es el intento de obtener experimentalmente uno o varios valores que, razonablemente, se puedan asociar a un orden de magnitud (RAE, 2022, p.1).

Mejora continua: La idea es intentar optimizar y mejorar la calidad del producto, obteniendo la misma calidad minimizando el coste de producción (Rodríguez, 2019, p.1).

Operaciones: La actividad de combinar, separar, reformar y convertir insumos o recursos en productos (bienes o servicios) (Rodríguez, 2019, p.1).

Optimizar: Es la búsqueda de la mejor manera de hacer un trabajo, con mejores resultados y mayor eficiencia (Rodríguez, 2019, p.1).

Pellet: Utilizado como biocombustible para producir bioenergía (Sánchez, 2018, p.15).

Producción: Una medida de la producción total de una empresa, generalmente en términos de bienes o servicios producidos (Rodríguez, 2019, p.1).

Productividad: El cociente que se obtiene al dividir la producción (ingresos) entre los recursos (ingresos utilizados) (Rodríguez, 2019, p.1).

Satisfacción: Se refiere a satisfacer el apetito, sofocar las pasiones de la mente, cumplir ciertas exigencias, premiar el mérito o eliminar los agravios (RAE, 2022, p.1).

Six Sigma: Metodología de mejora de procesos que se centra en disminuir la variabilidad y cuyo objetivo es eliminar o disminuir los defectos en la entrega de un producto o servicio a los clientes (Rodríguez, 2019, p.1).

2.4. Referencias Normativas Ecuatorianas

2.4.1. NTE INEN-ISO 13053

El presente estudio toma como referencia la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN-ISO 13053, que es una traducción exacta de la Norma Internacional ISO 13053: “*Quantitative methods in process improvement. Six Sigma*”, este estándar se divide en dos partes, las cuales se describen a continuación. (ISO 13053-1, 2014).

2.4.2. NTE INEN ISO 13053-1

Describe un método de mejora empresarial llamado Six Sigma. Esta parte de la norma ISO 13053 recomienda las mejores prácticas o prácticas preferidas para cada fase del método DMAIC utilizado durante la ejecución de un proyecto Six Sigma. Asimismo, aconseja cómo llevar a cabo proyectos de Six Sigma y explica cuáles son las obligaciones, la capacitación y la experiencia de quienes participan en ellos. Se aplica a las organizaciones que emplean métodos de fabricación, así como métodos de prestación de servicios y de transacciones (ISO 13053-1, 2014).

2.4.3. NTE INEN 13053-2

Se describen las herramientas y técnicas descritas en la hoja de datos para cada etapa del método DMAIC. Los métodos especificados en ISO 13053 Parte 1 son genéricos e independientes de cualquier industria o sector económico. Esto hace que las herramientas y técnicas descritas en este apartado sean aplicables a cualquier sector de actividad y negocio de cualquier tamaño que busque obtener una ventaja competitiva (ISO 13053-2, 2014).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización de la empresa

La empresa Gamboa Pellets se encuentra localizada en la Provincia de Tungurahua, cantón Baños, parroquia Juive Grande Km 1 y ½ en la vía E490 Baños-Penipe, en la ilustración. se puede observar su localización específica (altitud y latitud).

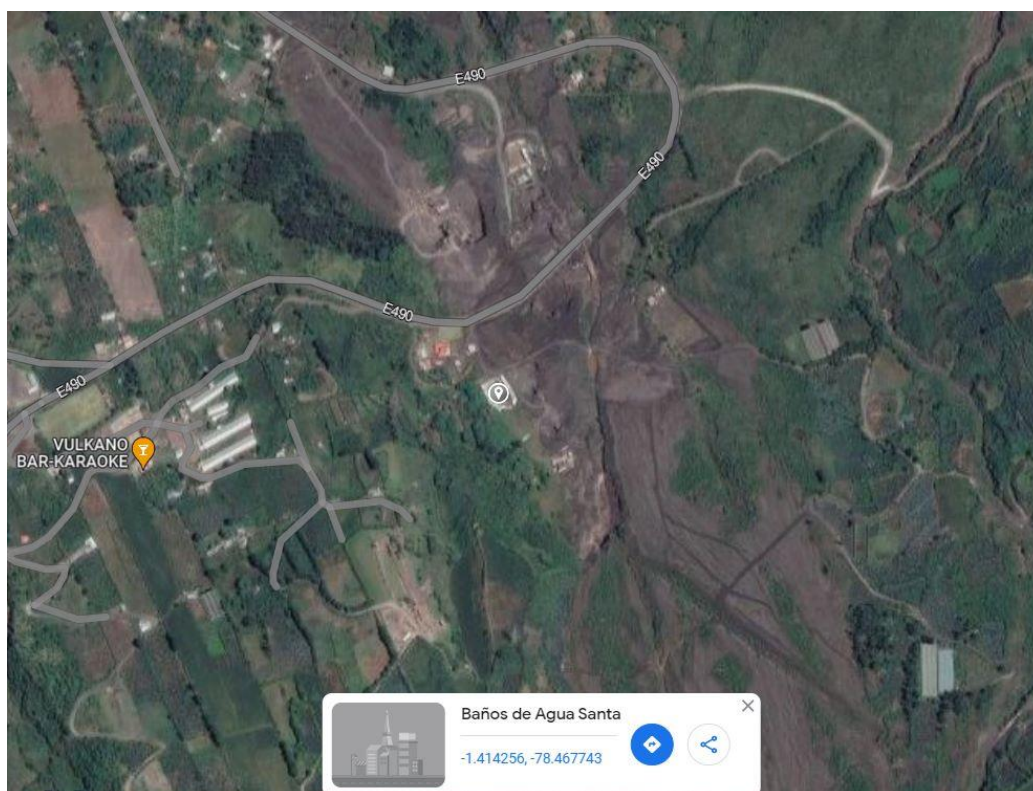


Ilustración 1-3: Localización de empresa

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.2. Descripción del producto

Gamboa Pellets produce Pellet a base de residuos madereros en presentaciones de 15kg envasados en sacos como se muestra en la ilustración 2-3.



Ilustración 2-3: Producto de Gamboa Pellets

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

El producto cuenta con las siguientes especificaciones:

Almacenamiento

- Producto higroscópico, evitar contacto con el agua y ambientes muy húmedos
- No mezclar con otras sustancias
- Mantener por debajo de 40 °C

Inflamabilidad

- Producto estable

Aplicaciones

- Estufas y calderas para calefacción domiciliaria
- Calderas de agua caliente
- Calderas a Vapor
- Procesos industriales (hornos de secado de frutas, cocción de arcillas, industria panificadora, depuración de aguas, etc.)

Advertencias

- Evitar el contacto con el agua
- Utilizar exclusivamente

3.3. Tipo de estudio

El estudio efectuado es de carácter técnico y se ejecuta basado en la investigación de campo, debido a que se recolectara información dentro de la Empresa Gamboa Pellets, la recolección de estos datos es de gran importancia y será la principal herramienta para conocer la situación actual del proceso productivo para la elaboración de pellet a base de residuos madereros, misma que reflejara los inconvenientes existentes y servirá como pilar en el desarrollo y posterior solución del problema de la investigación.

3.4. Tipo de investigación

3.4.1. Investigación documental

Para la elaboración del presente proyecto técnico denominado **“Implementación de la metodología Six Sigma en la línea de producción de pellets en la empresa Gamboa Pellets ubicada en el cantón Baños provincia de Tungurahua”**, la investigación documental cumple un papel de suma importancia ya que en base a ella se puede establecer un punto inicial, mismo que servirá como base para efectuar la aplicación de la metodología antes mencionada, en torno al ámbito documental la empresa “Gamboa Pellet’s” cuenta con un análisis completo inicial en el cual se detallan características esenciales del producto como son: el poder calórico, el porcentaje de humedad, entre otros. Dicho estudio es avalado por la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Departamento de petróleos, energía y contaminación, la información de este documento se encuentra detallada en el anexo...

3.4.2. Investigación de campo

La investigación de campo es un pilar fundamental en este estudio, ya que es de suma importancia para el proyecto obtener un diagnóstico inicial de la empresa, así como también la variabilidad que tiene el mismo y su porcentaje de humedad promedio, al no contar la empresa con archivos históricos que nos permitan elaborar esta situación inicial, se procedió a elaborar un plan de muestreo el cual permitió la adquisición de datos con alto nivel de confiabilidad con los cuales es posible determinar una situación inicial, misma metodología que se aplicará en la fase de control, esto con la finalidad de determinar que las mejoras planteadas den resultado y sean sostenibles en un determinado período de tiempo.

3.5. Metodología

La metodología utilizada es la deductiva misma que fue seleccionada debido a el caso de estudio.

3.5.1. Metodología deductiva

La herramienta que se utiliza en la presente investigación se denomina Six Sigma misma que se encuentra asociada con métodos estadísticos que dan validez a todas las premisas que se plantean a lo largo del estudio, por lo tanto, la metodología deductiva es la que más se adapta al proyecto técnico planteado, ya que aplicando la metodología antes mencionada se puede obtener resultados que mejoren la calidad de los productos y perduren a lo largo del tiempo.

3.6. Etapa de Definir

3.6.1. Definición del problema

Dentro del proceso productivo de la empresa gamboa Pellets se detecta fallos debido a que se encuentran varios productos fuera del límite especificado por la norma respecto al nivel de humedad, lo cual disminuye el nivel de calidad del pellet, menorando su rendimiento y quitándole propiedades indispensables para su optimo funcionamiento.

Estos fallos generan reprocesos innecesarios, desperdiciando recursos y aumentando el tiempo de producción, lo cual genera un incremento en los costos y posibles inconformidades en los clientes.

3.6.2. Identificación de los clientes

La empresa divide sus clientes en dos categorías por un lado los internos los cuales son los encargados del proceso productivo, y por otro lado los externos o el consumidor; los requerimientos de cada uno de los clientes son diferente por lo cual es necesario identificar a los mismos, en las tablas 1-3 y 2-3 se detalla los clientes existentes divididos en las categorías antes mencionadas.

Tabla 1-3: Clientes internos

Clientes Internos	
Proceso	Clientes
Recepción de materia prima	Jefe de producción
Secado	Operario N°1

Chipeado	Operario N°2
Peletizado	Operario N°1
Empacado	Operario N°3
Inspección	Jefe de producción

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 2-3: Clientes internos

Clientes Externos	
Denominación	Descripción
Cliente final	Saco de 15 Kg de pellet a base de residuos de madera con una humedad menor al 10%.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.6.3. Voz de los clientes (VOC)

La Voz del cliente nos permite establecer las necesidades tanto de los clientes externos como internos, con lo cual se puede plantear objetivos en cada etapa del proceso y definir de una manera adecuada los estándares necesarios para la obtención de un producto con un nivel de calidad alto, que pueda satisfacer a todos los clientes de la empresa.

Esta herramienta es de vital importancia, debido a que es el punto de partida para establecer las denominadas características claves para la calidad o también denominadas CTQ's; la tabla 3-3 muestra de manera resumida los requerimientos de cada uno de los clientes existentes.

Tabla 3-3: Requerimientos de cada clientes

Voz del cliente (VOC)	
Cliente	Requerimientos
Internos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Materia prima correcta. ✓ Humedad de la materia prima dentro de especificaciones. ✓ Parámetros de secado adecuados. ✓ Flujo constante de materia prima. ✓ Secado adecuado. ✓ Caudal de materia prima adecuado. ✓ Tamaño adecuado del pellet. ✓ Pellet libre de impurezas. ✓ Humedad adecuada.

Externos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Porcentaje de humedad del pellet cercano al 10%. ✓ Diámetro del pellet en un rango de 6 a 7 mm.
----------	--

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.6.4. Identificación de los CTQ's

La finalidad de la identificación de las características claves para la calidad consiste en reflejar la voz del cliente en parámetros que pueden ser medidos y expresados de una mejor manera, determinando así de una forma más clara los objetivos a ser alcanzados en cada etapa del proyecto, es indispensable que los CTQ's relacionen la voz del cliente, para su correcta utilización se toma la herramienta antes mencionada como punto de partida, para lo cual se utiliza la herramienta denominada diagrama de árbol como se muestra en la tabla 4-3.

Tabla 4-3: CTQ's (Critical to Quality)

CTQ's (Critical to Quality)		
Interno		
VOC	Parámetro clave	CTQ's
Recepción de materia Prima		
Materia prima correcta.	Tipo de madera.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Humedad de la materia prima dentro de especificaciones.	Porcentaje de humedad.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Secado		
Parámetros de secado adecuados.	Flujo de materia prima, velocidad y temperatura de secado.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Flujo constante de materia prima.	Cantidad de materia prima medido en ton/h.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Chipeado		

Secado adecuado.	Porcentaje de humedad.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Peletizado		
Caudal adecuado de aserrín.	Cantidad de aserrín en ton/h.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Inspección		
Humedad adecuada.	Porcentaje de humedad.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Empacado		
Pellet libre de impurezas.	Cantidad de impurezas.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Externo		
Porcentaje de humedad del pellet cercano al 10%.	Porcentaje de humedad.	% de humedad del pellet fuera especificaciones.
Diámetro del pellet en un rango de 6 a 7 mm.	Diámetro.	Diámetro del pellet fuera de especificaciones.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Posterior a la identificación de los CTQ's en la tabla 4-3 se puede obtener una visión más clara de cuáles son los parámetros claves más influyentes en el proceso, se puede evidenciar que el porcentaje de humedad es el CTQ más importante y por consiguiente el que produce un mayor número de defectos, reduciendo sustancialmente el nivel de calidad del producto terminado por lo cual se debe hacer mayor énfasis en su control, dentro de los parámetros claves que lo afectan se encuentra la temperatura de secado, la velocidad de secado, flujo de materia prima y el tiempo de secado.

3.6.5. Declaración de variables

Una vez determinados los CTQ's del proyecto en base a la Voz del cliente se puede determinar que las variables a ser estudiadas serán:

- X1: Velocidad de la banda transportadora de alimentación de materia prima.

- X2: Velocidad de tambor secador.
- X3: Temperatura de secado.
- X4: Velocidad de ingreso de aserrín a la peletizadora.
- Y: Porcentaje de humedad del pellet.

La variable dependiente será el porcentaje de humedad del pellet el cual es afectado directamente por factores claves como el flujo de materia prima, velocidad de secado, temperatura de secado y la velocidad de ingreso de aserrín a la peletizadora. que ingresa a la peletizadora; las mismas que serán las variables independientes.

3.6.6. Carta del proyecto

La Carta de proyecto resume de manera dinámica, tanto los objetivos como responsables del proyecto, a más de aportar con información general acerca de la empresa en donde se desarrollará el proyecto como se indica en la ilustración 3-3.

CARTA DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO		Proyecto #: GP -001		
Nombre de los iniciadores: Juan Haro - Esteban Jordán		Fecha de inicio: 2022-10-12		
Fecha: 2022-12-03		Fecha esperada de fin: 2023-03-01		
Documento #: GP-001		Fecha real fin : 2023-02-22		
1. CASO DE NEGOCIO				
Dentro del proceso productivo de la empresa gamboa Pellets se detecta fallos debido a que se encuentran varios productos fuera del límite especificado por la norma respecto al nivel de humedad, lo cual disminuye el nivel de calidad del pellet, menorando su rendimiento y quitándole propiedades indispensables para su optimo funcionamiento. Estos fallos generan reprocesos innecesarios, desperdiciando recursos y aumentando el tiempo de producción, lo cual genera un incremento en los costos y posibles inconformidades en los clientes.				
2. PROPÓSITO (CTQ's a mejorar)				
CTQ's	Línea base			
% de humedad del pellet	10,80%			
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO				
CTQ's	Línea base	Objetivo	Ahorro	
% de humedad del pellet	10,80%	< ó =10%		
4. ALCANCE				
Area de producción				
5. ROLES Y RESPONSABILIDADES				
	Nombre	e-mail	Telefono	
Campeón:	Mgs. Andres Gamboa		+593 99 296 3681	
Patrocinadores:	Mgs. Andres Gamboa		+593 99 296 3681	
Líder:	Ing. Angel Guamán	geovanny.guaman@epoch.edu.ec	+593 98 392 3878	
Miembros del Equipo:	Esteban Jordán	esteban.jordan@epoch.edu.ec	+593 98 757 9274	
	Juan Haro	fernando.haro@epoch.edu.ec	+593 98 516 4895	
6. RECURSOS				
Medidor de Humedad PCE-WT1N				
Computadora				
Termómetro				
7. METRICOS				
No	Métrico	Actual	Objetivo	Comentario
1	% de humedad del pellet	10,80%	< ó =10%	
Elaborado por:	Esteban Jordán - Juan Haro	Fecha:	Firma:	
Aprobado por:	Ing. Angel Guamán	Fecha:	Firma:	

Ilustración 3-3: Carta de definición del proyecto

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7. Etapa de Medir

3.7.1. Mapa de procesos

El mapa de procesos permite estratificar los distintos procesos existentes dentro de la empresa Gamboa Pellets, lo cual da una visión más clara sobre sus distintos requerimientos y funciones dentro de la línea productiva, esta información se ve plasmada en la ilustración 4-3.



Ilustración 4-3: Mapa de procesos de Gamboa Pellets

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.2. Diagrama de flujo del proceso

En el diagrama de flujo de procesos se puede observar de manera esquemática las acciones que intervienen en la fabricación de pellets, tomando en cuenta solo a aquellas acciones que agregan valor al producto esta información se puede observar en la ilustración 5-3.

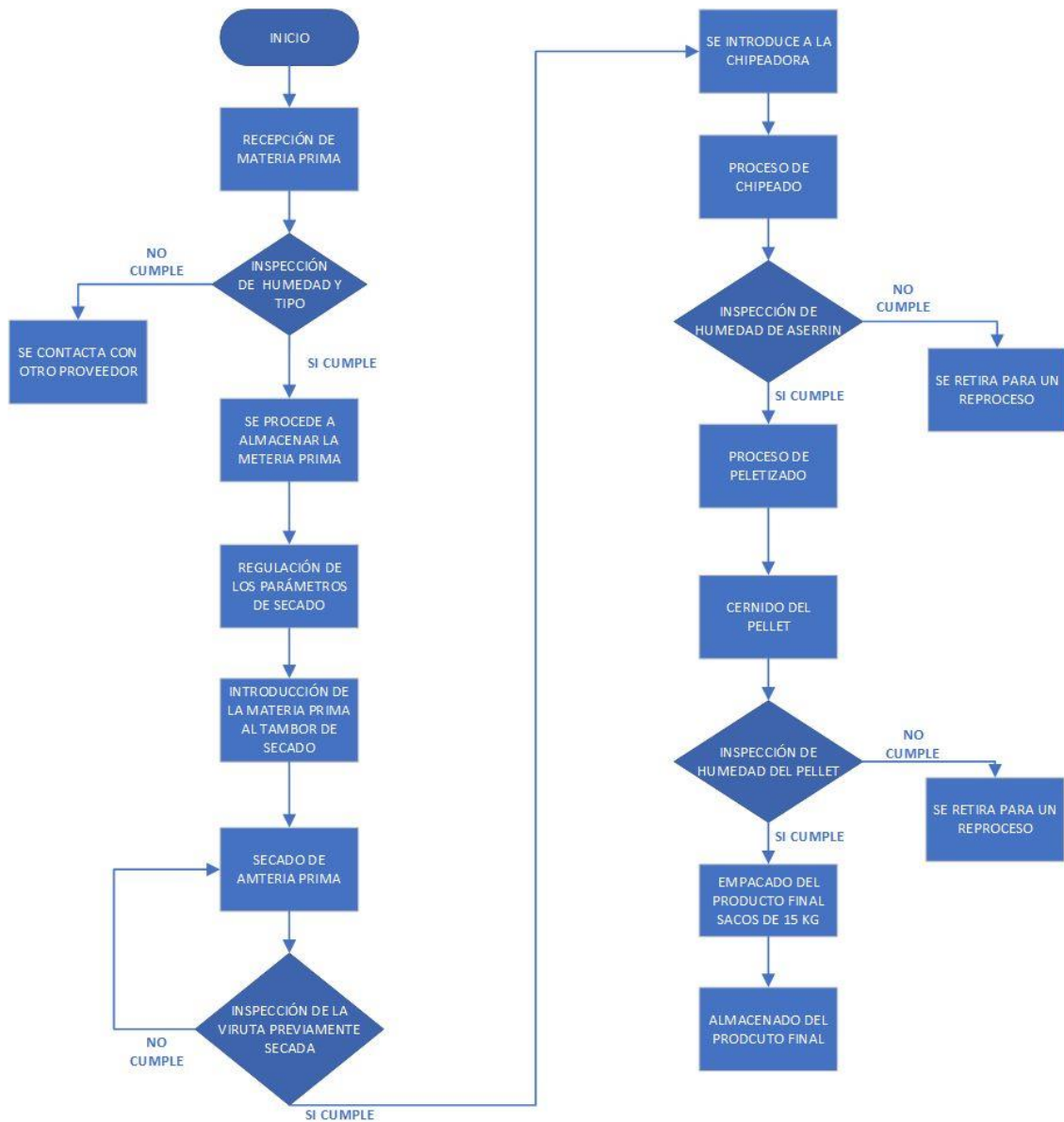


Ilustración 5-3: Diagrama de flujo del proceso de Gamboa Pellets

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.3. Diagrama de procesos

El diagrama de proceso nos ayuda a detallar todas las acciones realizadas para la transformación de la materia prima en producto terminado y nos brinda la información de una forma resumida y dinámica como se muestra en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Diagrama de análisis del proceso

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DEL PROCESO								
MÉTODO ACTUAL: ELABORACIÓN DE PELLETS				DIAGRAMA N°: 1				
EMPRESA: GAMBOA PELLETS				HECHO POR: HARO JUAN - JORDÁN ESTEBAN				
SUJETO DEL DIAGRAMA: PRODUCCIÓN DEL PELLETT Y ALMACENAMIENTO				HOJA N° 1				
DEPARTAMENTO: ÁREA DE PRODUCCIÓN								
N° DE ACTIVIDAD	DISTANCIA EN METROS	TIEMPO EN MINUTOS	SÍMBOLOS DEL DIAGRAMA					DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
			●	→	■	◐	▼	
1		10	●					Recepción de la materia prima.
1		1			■			Inspección de humedad de materia prima.
1		150					▼	Almacenamiento de materia prima.
2		5	●					Regulación de los estándares del tambor de secado según la humedad de la materia prima.
3		20	●					Paleado de la materia prima.
1	8	20		→				Transporte de materia prima al tambor de secado.
4		20	●					Secado de materia prima.
2	5	20		→				Transporte de la viruta seca al silo N° 01
2		1			■			Inspección de humedad de la viruta previamente secada.
1		30					◐	Espera.
5		60	●					Paleado de la viruta.
6		60	●					Chipeado de la viruta.
3	5	60		→				Transporte del aserrín al silo N° 02
2		20					▼	Almacenamiento del aserrín en el silo N° 02
3		1			■			Inspección de la humedad del aserrín.
4	4	60		→				Transporte del aserrín a la máquina peletizadora.
7		60	●					Proceso de peletizado.
8		60	●					Cernido del pellet.
5		60		→				Transporte del pellet al silo N° 03.
3		60					▼	Almacenamiento en el silo N° 03.
4		5			■			Inspección del producto terminado respecto al factor humedad.
9		120	●					Empacado del pellet.
6	15	180		→				Transporte a la bodega de producto terminado.
4		10					▼	Almacenamiento del producto terminado (Pellet a base de residuos madereros).

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 6-3: Resumen del análisis del proceso

RESUMEN DE RESULTADOS FABRICACION PUERTA CORREDIZA				
RESUMEN	SIMBOLO	CANTIDAD	TIEMPO (min)	DISTANCIA (m)
OPERACIÓN		9	415	
ALMACENAJE		4	240	
INSPECCIÓN		4	8	
DEMORA		1	30	
TRANSPORTE		6	400	37
		24	1093	37

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.4. Diagrama de recorrido

El diagrama de recorrido ayuda a identificar de mejor manera la ruta que recorre la materia prima en la línea de producción, empleando este diagrama se pudo determinar cuáles son los puntos clave del proceso como se muestra en la ilustración 6-3.

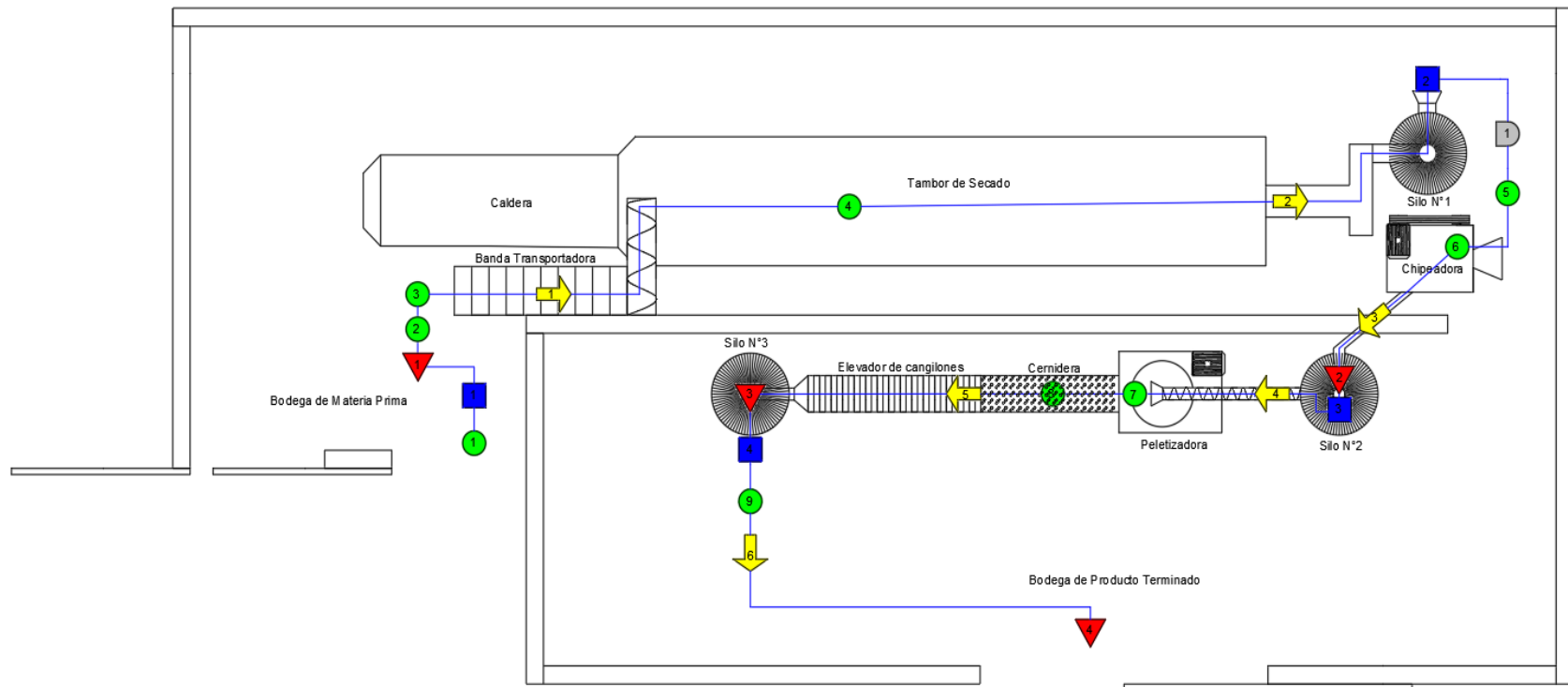


Ilustración 6-3: Diagrama de recorrido de Gamboa Pellets

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.5. Definición de la variable de medición

La variable de estudio y mejora para el proyecto es el porcentaje de humedad del pellet el mismo que será medido en porcentaje y según normativa deberá ser menor al 10 % por lo cual su medición dará un enfoque más claro de la situación actual del proceso, revelando el punto de partida y el nivel sigma actual con el que se cuenta, para de esta manera poder obtener indicadores que pueden ser expresados en el nivel de calidad del producto final.

3.7.6. Descripción del proceso de medición

La medición de humedad del pellet se realizará en la zona de empaqueo ya que es en ese punto en donde se cuenta con el producto final a una temperatura ambiente, evitando de esta forma errores en los resultados finales; para la obtención de la variable de estudio se utilizará un medidor de humedad PCE-WT1N, mismo que cuenta con una cámara en donde se introduce la muestra de la cual se quiere obtener el porcentaje de humedad, posterior a la introducción del producto se debe cerrar la cámara y con la ayuda de un gatillo se comprime la muestra esto con la finalidad de obtener un resultado más preciso y confiable, debido a que el medidor es semiautomático el mismo tiene una capacidad de muestreo muy alta ya que solo debe esperar 20 segundos para obtener la humedad de la muestra con un decimal de precisión, posteriormente se anota el resultado obtenido y el número de lote del cual se obtuvo el mismo, una de las grandes ventajas del equipo que se emplea para esta medición es que no destruye el pellet por lo cual la muestra utilizada puede ser devuelta y empacada para su posterior comercialización.

3.7.7. Elaboración del plan de muestreo


3.7.7.1. Selección del tipo de muestreo

El tipo de muestreo que se implementará en este caso es un muestreo aleatorio el cual consiste en una selección imparcial e independiente ya que todas las unidades tienen la misma oportunidad de ser seleccionadas y a su vez la selección de una unidad no dependerá de otra, se selecciona este tipo de muestreo debido a que se tiene una cantidad finita de unidades producidas, sin embargo por la cantidad de las mismas un muestreo de todas las unidades aumentaría el costo en gran cantidad y crearía un desperdicio de tiempo innecesario, por lo cual es necesario determinar una muestra significativa que pueda sustentar el estudio con un porcentaje de confianza el cual será del 95%.

3.7.7.2. Diseño de la hoja de recolección de datos

La hoja de recolección de datos es una herramienta muy importante ya que será el documento en donde se recolecte y almacene la información obtenida de los distintos muestreos y controles de calidad, por lo cual debe contar con información clara y precisa que sea fácil de manejar e interpretar tanto para el estudio actual como para proyectos futuros, en la tabla 7-3, se presenta la hoja seleccionada para el muestreo de la humedad del pellet.

Tabla 7-3: Formato de hoja de recolección de datos


	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha:
		Nº de lote:
		Página:
Nº de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
Responsable del muestreo:	Revisado por:	Aprobado por:

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.7.3. Plan de muestreo piloto

Debido a la inexistencia de datos históricos del proceso es necesario implementar un plan piloto de muestro con la finalidad de conocer la desviación estándar existente entre el porcentaje de humedad de las diferentes unidades producidas, para la aplicación del plan piloto se decidió recolectan 30 muestras de 5 lotes diferentes encontrados dentro de la bodega de producto terminado, los datos obtenidos se encuentran indicados en la tabla 8-3:

Tabla 8-3: Resultados del plan de muestro piloto

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 05-12-2022
		N° de lote: 01-02-03-04-05
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
1	10,1	NC
2	10,6	C
3	9,9	NC
4	9,6	NC
5	9,9	NC
6	10,1	C
7	9,5	NC
8	9,8	NC
9	9,7	NC
10	9,9	NC
11	10,1	NC
12	10	NC
13	9,7	NC
14	9,8	NC
15	9,5	NC
16	11,1	NC
17	10,6	NC
18	10,9	NC
19	10,5	NC
20	10,7	NC
21	9,6	NC
22	10,1	NC
23	10	NC
24	9,7	NC
25	10,3	NC
26	9,9	NC
27	10,3	NC
28	10,3	NC
29	9,8	NC
30	10,2	NC
Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro-Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.7.4. Cálculo de la desviación estándar de los datos

Debido al no tener una desviación estándar histórica del proceso es necesario calcularla a partir de la prueba piloto, ya que este dato es de gran importancia al momento de obtener el tamaño de la muestra.

Datos:

$$n = 30$$

$$\bar{x} = 10,1$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 1-3.

$$S = \sqrt{\frac{(10,1 - 10,1)^2 + (10,6 - 10,1)^2 + (9,9 - 10,1)^2 + \dots + (10,2 - 10,1)^2}{30 - 1}}$$

$$S = 0,412$$

3.7.7.5. Cálculo del tamaño de la muestra

Para poder obtener resultados confiables respecto a la capacidad del proceso es necesario determinar una muestra que sea representativa en relación a la población total, para determinar esta población total es necesario establecer un tiempo o periodo en el cual se realizara el muestreo, en este caso particular se decide muestrear en el lapso de una semana obteniendo una producción de 32 500 Kg de pellet mismos que son empaquetados en un total de 2166 sacos de 15 kg cada uno, por motivos de experimentación se espera obtener una confianza del 95% y se utilizara la desviación estándar encontrada a partir de la prueba de muestreo piloto, a continuación se muestra cómo se implementó el cálculo antes mencionado.

Datos:

$$N = 2166 \text{ sacos}$$

$$\alpha = 0.05$$

$$Z(\alpha = 0.05) = 1,645$$

$$+/-d = 0,05$$

$$S = 0,412$$

$$n = \left(\frac{S * Z}{d} \right)^2$$

Ecuación 2-3.

$$n = \left(\frac{0,412 * 1,645}{0,05} \right)^2$$
$$n = 183,55$$

Es necesario determinar la proporción de la muestra con respecto a la población, aplicando la ecuación 3:

$$\text{Proporción de la muestra respecto a la población} = \frac{n}{N}$$

Ecuación 3-3.

$$\text{Proporción de la muestra respecto a la población} = \frac{183,55}{2166}$$

$$\text{Proporción de la muestra respecto a la población} = 0,085$$

Debido a que el valor de la proporción es mayor que el valor del error el cual es igual a 0,05 es necesario realizar un ajuste al tamaño de la muestra con la ecuación 4:

$$n(\text{ajustado}) = \frac{n}{1 + \frac{n}{N}}$$

Ecuación 4-3.

$$n(\text{ajustado}) = \frac{183,55}{1 + \frac{183,55}{2166}}$$

$$n(\text{ajustado}) = 169 \text{ muestras}$$

Obteniendo de esta forma el número de muestras que nos darán un resultado con una confianza del 95%, se deberá realizar un total de 169 muestras a lo largo de la semana mismas que serán completamente aleatorias.

3.7.7.6. Registro del plan de muestreo

Como paso final se realizó un resumen en la cual se detalla toda la información del plan de muestreo que se implementara posteriormente, esto con el fin de resumirlo y hacerlo más entendible como se muestra en la tabla 9-3.

Tabla 9-3: Información del plan de monitoreo


Empresa	Medición	Tipo de muestreo	Definición operacional	Tamaño de muestra	Fuente de información	Método de recolección	Quien recoge los datos
Gamboa Pellets.	% de humedad del pellet.	Aleatorio.	Humedad del pellet en porcentaje.	169 muestras en una semana.	Medidor de humedad PCE-WT1N.	Hoja de recolección de datos.	Juan Fernando Haro- Esteban Jordán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.8. Toma de datos

La toma de datos se realizó en un lapso de una semana como se especifica en el paso anterior tomando muestras al azar de 5 lotes distintos, ya que se produce un lote diario de lunes a viernes, los datos obtenidos se reflejan en las tablas 10-3,11-3-12-3,13-3 y 14-3:


Tabla 10-3: Medición de calidad lote 06

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 12-12-2022
		N° de lote: 06
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
1	10	NC
2	8,8	C
3	9,7	C
4	9,7	C
5	9,6	C
6	10,1	NC

7	10,1	NC
8	9,3	C
9	9,9	C
10	9,7	C
11	11,8	NC
12	11,5	NC
13	11,5	NC
14	11,8	NC
15	11,6	NC
16	11,8	NC
17	12	NC
18	11,8	NC
19	12,1	NC
20	12,2	NC
21	12,1	NC
22	9,9	C
23	9,5	C
24	9,8	C
25	9,8	NC
26	10,3	NC
27	10	NC
28	9,7	C
29	9,9	C
30	10,1	NC
31	10,2	NC
32	10,2	NC
33	10,3	NC
Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 11-3: Medición de calidad lote 07

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 13-12-2022
		N° de lote: 07
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
1	10,4	NC
2	10,3	NC
3	9,8	C
4	10,2	NC
5	11,2	NC
6	11,5	NC
7	9,8	C
8	10,2	NC
9	10,2	NC
10	10,1	NC
11	10,1	NC
12	10,6	NC
13	9,9	C
14	10,8	NC
15	10,9	NC
16	10,6	NC
17	11,1	NC
18	11,5	NC
19	10,8	NC
20	11,3	NC
21	11,6	NC
22	11,8	NC
23	10,7	NC
24	9,9	C
25	11,5	NC
26	10,1	NC
27	10,1	NC

28	9,5	C
29	10,1	NC
30	10,9	NC
31	11,8	NC
32	10,8	NC
33	10,6	NC
34	11,1	NC
Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.


Tabla 12-3: Medición de calidad lote 08

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 14-12-2022
		N° de lote: 08
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple ©; no cumple (NC))
1	11,6	NC
2	10,8	NC
3	10,3	NC
4	10,7	NC
5	11,1	NC
6	11,4	NC
7	10,2	NC
8	10,1	NC
9	10,3	NC
10	10,1	NC
11	10	NC
12	11,5	NC
13	11,4	NC
14	11,7	NC
15	11,1	NC
16	11,8	NC
17	11,4	NC

18	11,3	NC
19	10,4	NC
20	10,3	NC
21	10,3	NC
22	10,2	NC
23	10,1	NC
24	10,2	NC
25	10,3	NC
26	10,4	NC
27	10,1	NC
28	10,1	NC
29	10,3	NC
30	9,7	C
31	10,3	NC
32	10,1	NC
33	10	NC
34	10,3	NC
Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.


Tabla 13-3: Medición de calidad lote 09

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 15-12-2022
		N° de lote: 09
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple ☉; no cumple (NC))
1	10,1	NC
2	10,3	NC
3	10,3	NC
4	10,1	NC
5	10,2	NC
6	10,3	NC
7	10,6	NC

8	10,3	NC
9	10,1	NC
10	11,2	NC
11	10,4	NC
12	10,7	NC
13	10,1	NC
14	9,6	C
15	11,3	NC
16	11	NC
17	10,4	NC
18	10,2	NC
19	10,3	NC
20	9,8	C
21	9,5	C
22	9,8	C
23	10,1	NC
24	9,6	C
25	11,1	NC
26	10,9	NC
27	10,1	NC
28	10,4	NC
29	10,3	NC
30	9,4	C
31	9,5	C
32	9	C
33	9,2	C
34	9,1	C
Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 14-3: Medición de calidad lote 10

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 16-12-2022
		N° de lote: 10
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
1	9,7	C
2	9,6	C
3	9,1	C
4	9,2	C
5	9	C
6	9	C
7	9,7	C
8	9,9	C
9	9,1	C
10	9,7	C
11	9,2	C
12	10	NC
13	9,7	C
14	9,5	C
15	10,4	NC
16	9,2	C
17	10,7	NC
18	11,1	NC
19	10,3	NC
20	10,9	NC
21	10,7	NC
22	9,5	C
23	9,7	C
24	9,4	C
25	9,9	C
26	9,5	C
27	10,1	NC

28	10,3	NC
29	10,4	NC
30	10,4	NC
31	10,6	NC
32	10,7	NC
33	11,1	NC
34	10,8	NC
Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.



Ilustración 7-3: Toma de datos en Gamboa Pellets

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.



Ilustración 8-3: Medición de humedad

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.9. *Análisis de datos*

Posterior a la toma de datos es necesario estudiar cómo se comportan los mismos con la finalidad de poder determinar la capacidad del proceso, para lo cual se utilizó la versión de prueba del software Minitab obteniendo los siguientes resultados:

3.7.9.1. Prueba de normalidad

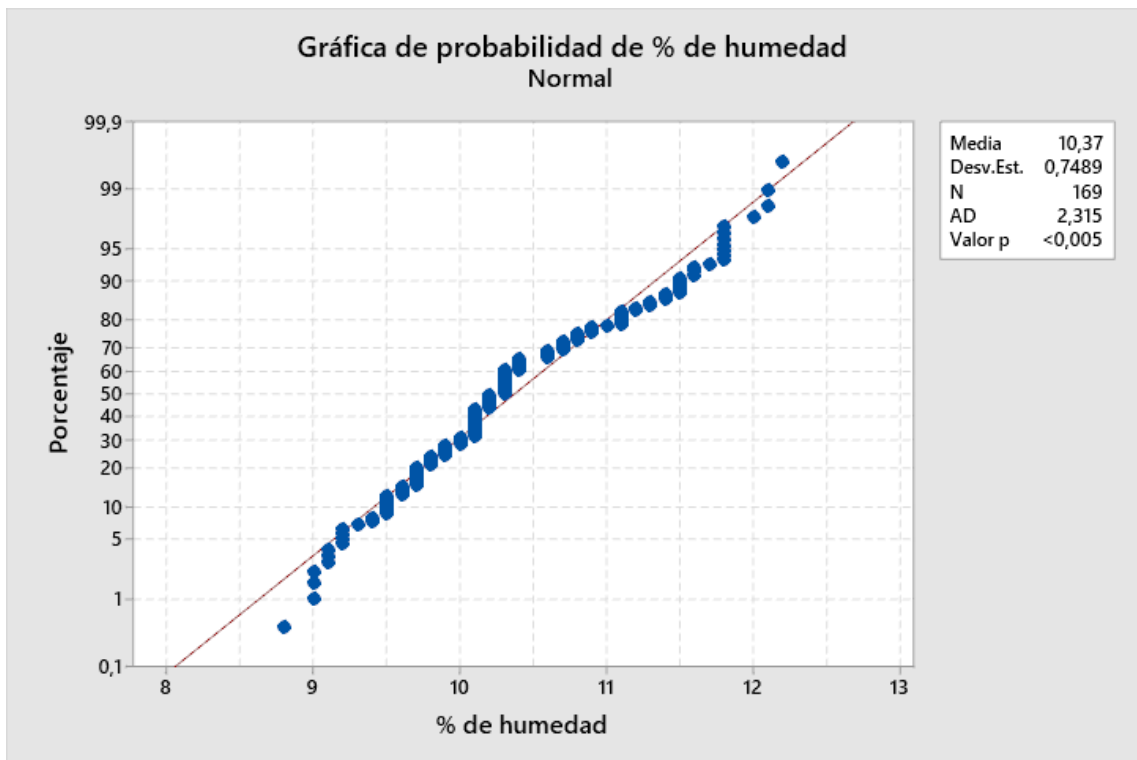


Ilustración 9-3: Resultados de normalidad mediante la prueba Anderson Darling

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

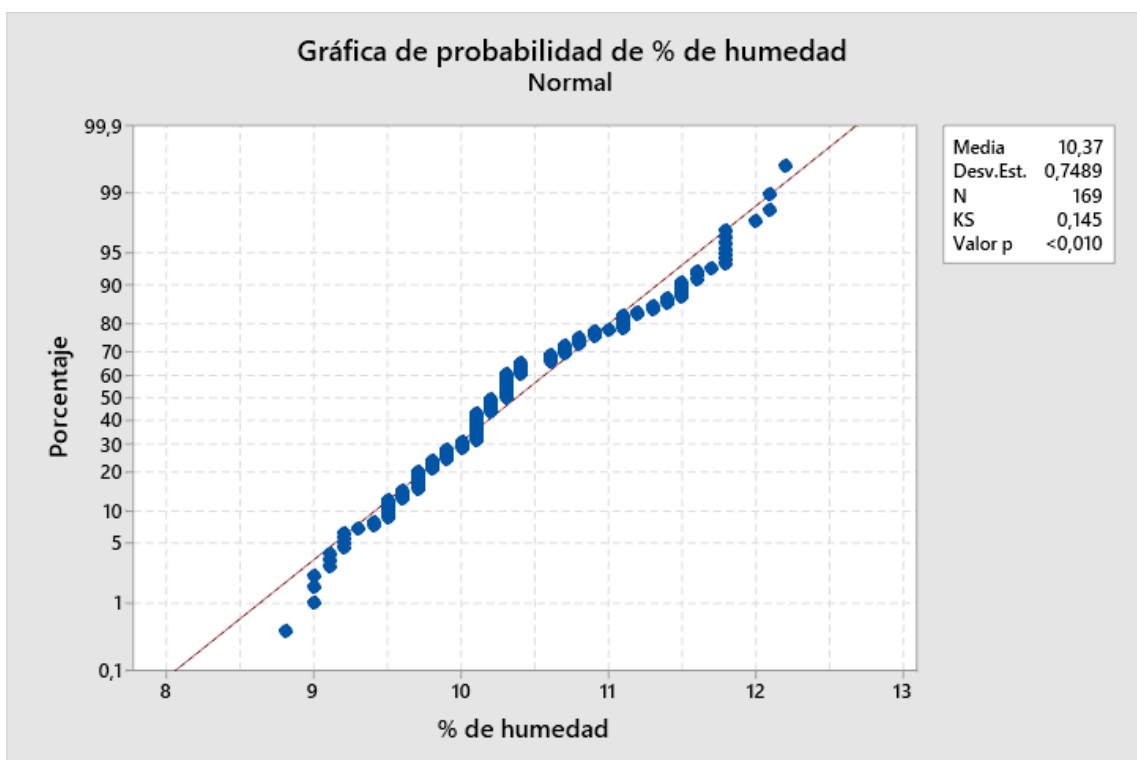


Ilustración 10-3: Resultados de normalidad mediante la prueba Kolmogorov Smirnov

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

En las ilustraciones 9-3 y 10-3. se puede observar que los datos no cumplen con una distribución normal debido a que sus valores p en ambos casos tanto para la prueba de Anderson Darling como Kolmogorov Smirnov son menores a 0,05 por lo tanto es necesario determinar a qué distribución se ajustan los datos estudiados.

3.7.9.2. Prueba de bondad de ajuste

Con la prueba de bondad de ajuste se puede determinar que los datos estudiados no se ajustan a ninguna distribución existente lo cual refleja una falta de control dentro del proceso y por ende una variabilidad excesiva lo cual se refleja en un nivel de calidad bajo, debido a este particular no se puede efectuar el análisis de capacidad, así que para visualizar de mejor manera el estado inicial del proceso se aplica un estudio utilizando como herramienta base cartas de control.

Prueba de bondad del ajuste

Distribución	AD	P LRT P
Normal	2,315	<0,005
Transformación Box-Cox	1,155	<0,005
Lognormal	1,762	<0,005
Lognormal de 3 parámetros	1,198	* 0,075
Exponencial	67,173	<0,003
Exponencial de 2 parámetros	20,929	<0,010 0,000
Weibull	4,933	<0,010
Weibull de 3 parámetros	1,433	<0,005 0,000
Valor extremo más pequeño	5,931	<0,010
Valor extremo por máximos	1,220	<0,010
Gamma	1,939	<0,005
Gamma de 3 parámetros	1,202	* 0,029
Logística	2,066	<0,005
Loglogística	1,665	<0,005
Loglogística de 3 parámetros	1,100	* 0,046

Ilustración 11-3: Prueba de bondad del ajuste

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.7.9.3. Cartas de control

Debido a que los datos se encuentran agrupados por lotes y de cada lote se tiene un número de 33 o 34 muestras las cartas de control Xbarra-S son las que más se ajustan a este caso en particular, con la ayuda del software Minitab se pudo obtener los resultados que se plasman en la ilustración 12-3.

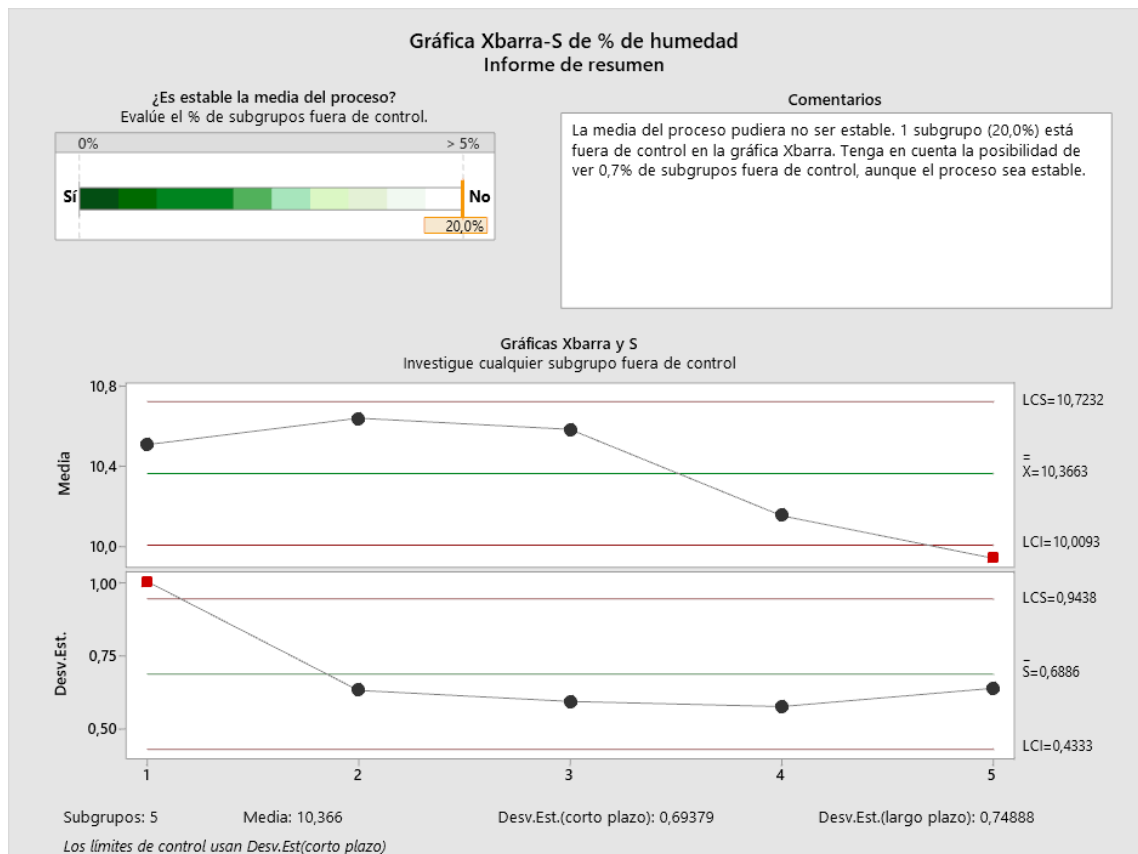


Ilustración 12-3: Cartas de control

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

En las cartas de control se puede observar que existen datos que se encuentran fuera de los límites de control reflejando las inconsistencias existentes dentro del proceso, sin embargo, a pesar que los otros puntos se encuentran dentro de los límites de especificación, estos son mayores a 10 por lo cual todos los lotes estarían fuera de especificación, además se puede observar que la desviación estándar del lote 1 es demasiado alta lo cual refleja el poco control dentro de su proceso de producción.

3.8. Etapa de Analizar

3.8.1. Lluvia de ideas

La lluvia de ideas se realizó a partir de las principales problemáticas observadas en la línea de producción de Pellet a base de residuos madereros, mismas que fueron divididas en 6 campos específicos para facilitar su comprensión y categorización en torno a su grado de importancia, dicho análisis se ve representado en la ilustración 13-3.

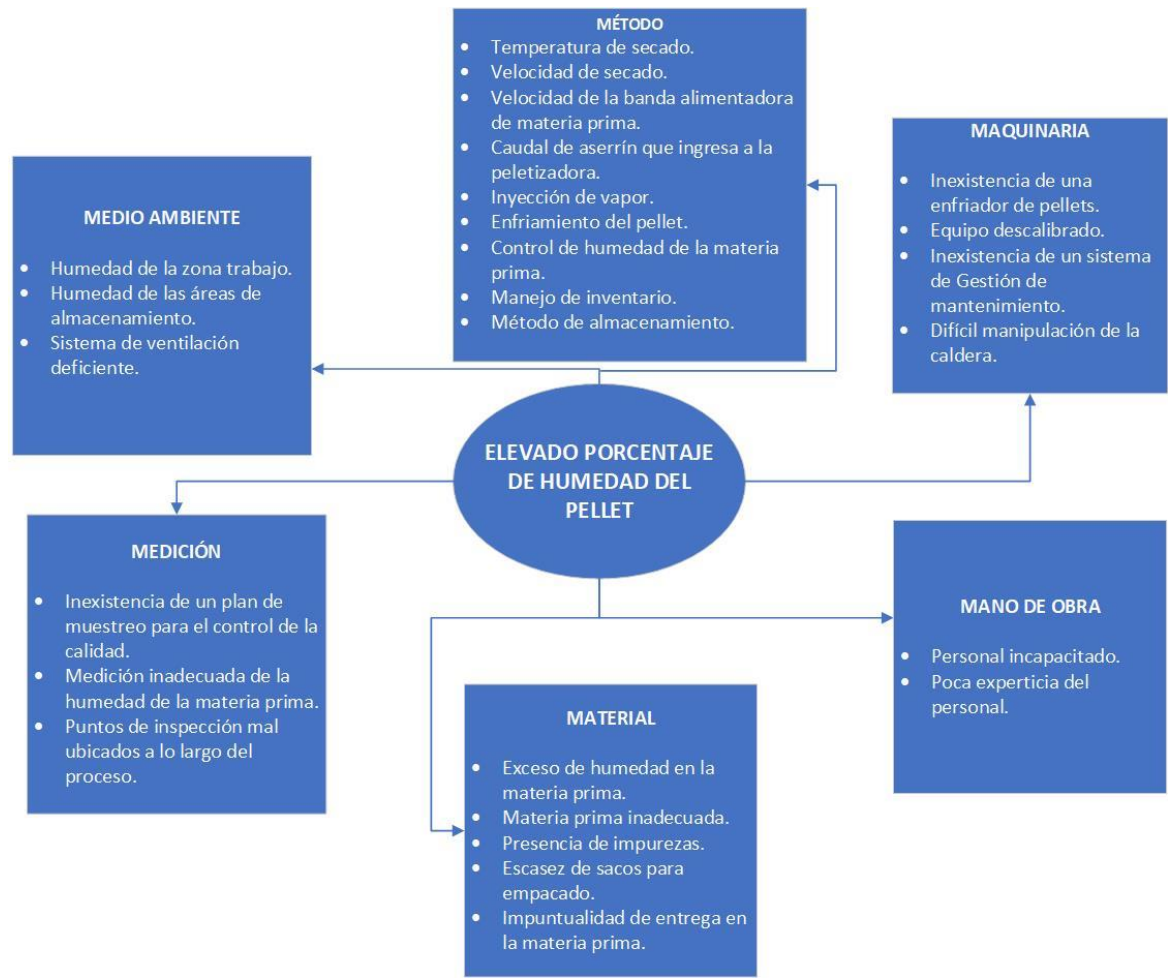


Ilustración 13-3: Lluvia de ideas

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.8.2. Diagrama de Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa fue elaborado en base a la lluvia de ideas planteada en la ilustración 13-3, con la finalidad de distribuir las posibles causas de una manera más ordenada, facilitando así su comprensión y determinando las causas más importantes y representativas, esto se puede ver plasmado en la ilustración 14-3.

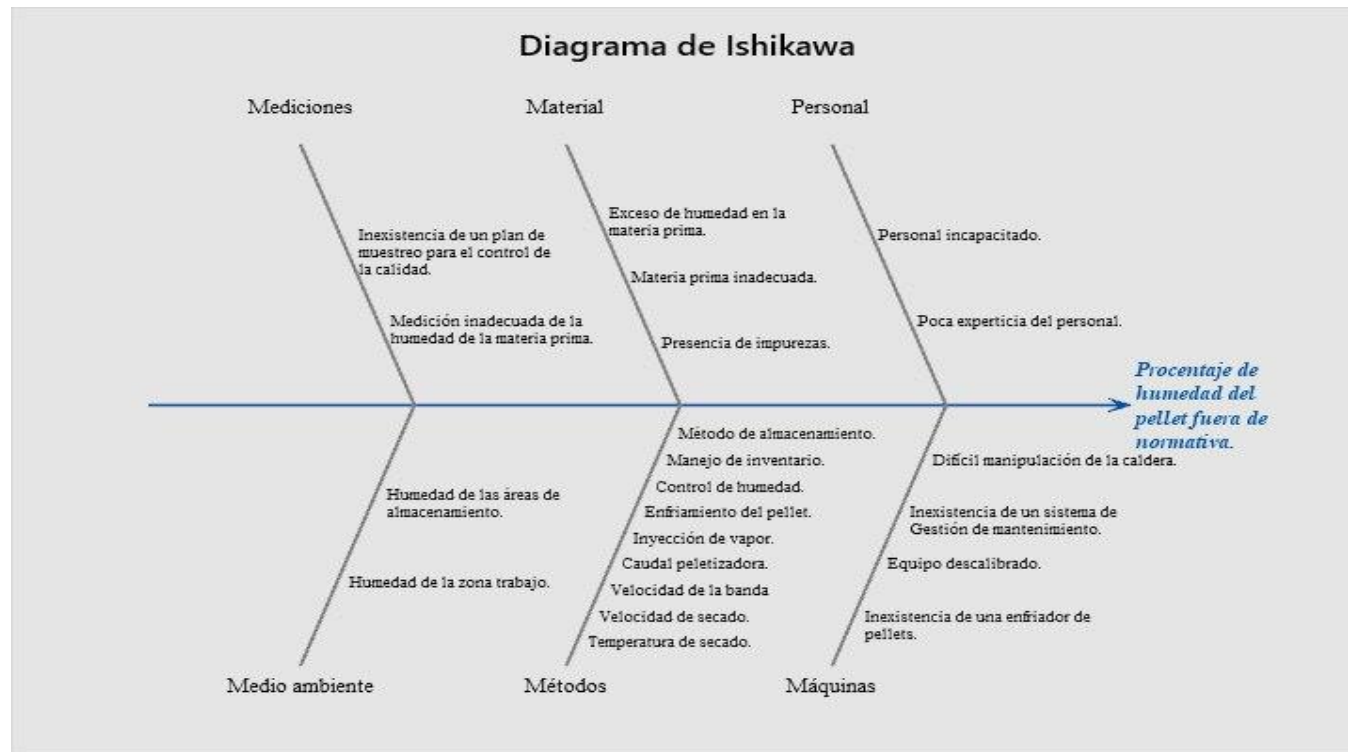


Ilustración 14-3: Diagrama de Ishikawa

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.8.3. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta de suma importancia para el análisis, en la elaboración de este proyecto se identificó las causas que generan un valor cercano al 80 % de productos que exceden el porcentaje de humedad deseado.

Para la elaboración de este diagrama, se tomó en cuenta la importancia de la causa, la misma que se encuentra en el rango de 1 a 10 , siendo 1 la menos importante y 10, la de mayor importancia, también para poder establecer una ponderación se brindó una calificación a cada una de las causas, esta calificación está en función de que tan manipulable es dicha causa dentro del proceso, es así que esta calificación está en el rango de 1 a 5, donde 1 son aquellas causas que no se pueden manipular y 5 que son las que se puede manipular dentro del proceso de producción del pellet.

Tabla 15-3: Importancia de la causa

N°	Causas	Importancia	Ponderación	Calificación	Resultado ponderado
1	Temperatura de secado. (C1)	9	0,07	5	0,35
2	Velocidad de secado. (C2)	9	0,07	5	0,35
3	Velocidad de la banda alimentadora de materia prima. (C3)	9	0,07	5	0,35
4	Velocidad de ingreso de aserrín a la peletizadora. (C4)	9	0,07	5	0,35
5	Equipo descalibrado. (C4)	5	0,04	2	0,08
6	Inexistencia de un sistema de Gestión de mantenimiento. (C6)	3	0,02	3	0,07
7	Difícil manipulación de la caldera. (C7)	6	0,05	1	0,05
8	Personal con poco conocimiento del proceso. (C8)	5	0,04	3	0,12
9	Poca experticia del personal. (C9)	5	0,04	3	0,12

10	Exceso de humedad en la materia prima. (C10)	8	0,06	4	0,25
11	Materia prima inadecuada. (C11)	8	0,06	4	0,25
12	Presencia de impurezas. (C12)	5	0,04	2	0,08
13	Escasez de sacos para empacado. (C13)	2	0,02	3	0,05
14	Impuntualidad de entrega en la materia prima. (C14)	2	0,02	3	0,05
15	Inyección de vapor. (C15)	4	0,03	3	0,09
16	Enfriamiento del pellet. (C16)	8	0,06	1	0,06
17	Control de humedad de la materia prima. (C17)	9	0,07	5	0,35
18	Manejo de inventario. (C18)	8	0,06	5	0,31
19	Método de almacenamiento. (C19)	7	0,05	5	0,27

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

A partir de los datos de la tabla anterior se realizó el diagrama de Pareto, conformado con el resultado ponderados de las causas y los datos que se resumen en la tabla 16-3.

Tabla 16-3: Resumen de las causas

Causas	Total	Frecuencia acumulada	Porcentaje	Porcentaje acumulado
C1	0,14	0,14	4%	4%
C2	0,34	0,48	10%	14%
C3	0,34	0,82	10%	24%
C4	0,34	1,17	10%	34%
C17	0,08	1,24	2%	36%
C18	0,07	1,31	2%	38%
C19	0,05	1,36	1%	40%
C10	0,11	1,47	3%	43%
C11	0,11	1,59	3%	46%

C8	0,27	1,86	8%	54%
C9	0,27	2,14	8%	62%
C15	0,08	2,21	2%	64%
C5	0,05	2,26	1%	66%
C12	0,05	2,31	1%	67%
C6	0,09	2,40	3%	70%
C16	0,06	2,46	2%	72%
C20	0,34	2,80	10%	82%
C7	0,31	3,11	9%	90%
C13	0,27	3,37	8%	98%
C14	0,06	3,44	2%	100%

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

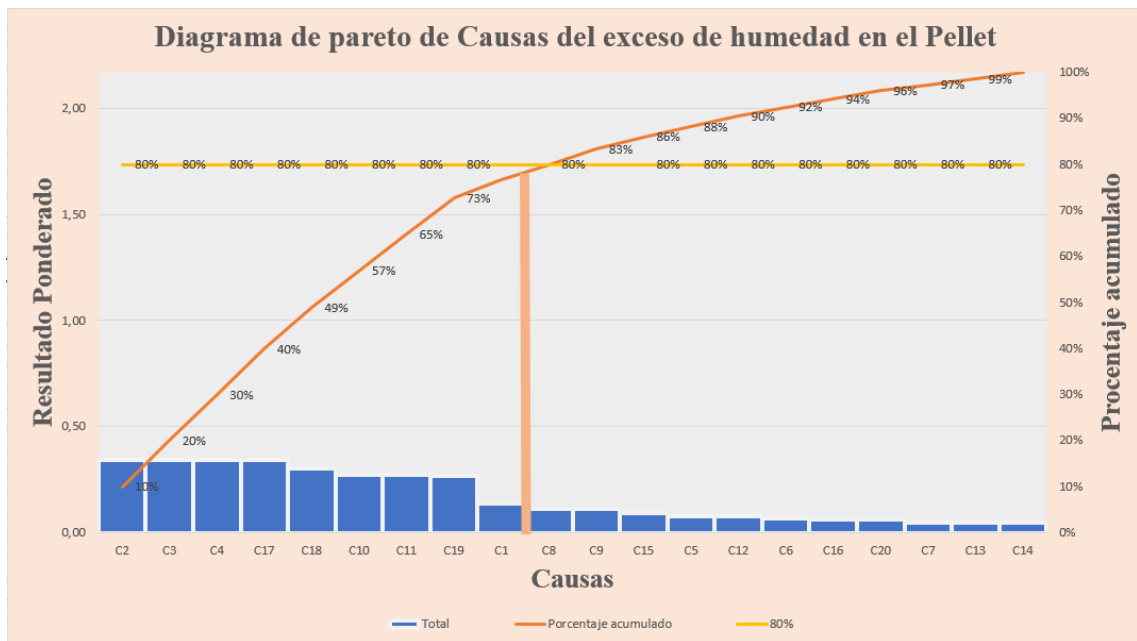


Ilustración 15-3: Diagrama de Pareto

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Una vez elaborado el diagrama de Pareto se pudo determinar que existen 9 causas que generan un valor cercano al 80 % del exceso de humedad en el pellet, las cuales se resumen en la tabla 17-3:

Tabla 17-3: Causas que generan el 80% del exceso de humedad

N°	Causa	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
C2	Velocidad de secado. (C2)	10%	10%
C3	Velocidad de la banda alimentadora de materia prima. (C3)	10%	20%
C4	Velocidad de ingreso de aserrín a la peletizadora. (C4)	10%	30%
C17	Control de humedad de la materia prima. (C17)	10%	40%
C18	Manejo de inventario. (C18)	9%	49%
C19	Método de almacenamiento. (C19)	8%	57%
C10	Exceso de humedad en la materia prima. (C10)	8%	65%
C11	Materia prima inadecuada. (C11)	8%	73%
C1	Temperatura de secado. (C1)	4%	77%

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.8.4. Regresión lineal

Posterior a la elaboración del Pareto se pudo identificar los factores que más influyen en la humedad del pellet, para lo cual se obtuvo los valores representados en la tabla anterior, con la finalidad de comprobar la correlación entre cada uno de los factores y la humedad del pellet se realizó una regresión lineal, relacionando cada uno de los factores con la variable crítica de calidad en este caso la humedad.

Para efectuar una regresión lineal confiable se tomó en cuenta las bitácoras de producción de cada uno de los lotes de los cuales se obtuvo datos en la fase de medición, los cuales se evidencian en las tablas 10-3, 11-3, 12-3, 13-3 y 14-3, la tabla 18-3 muestra las medias obtenidas de cada uno de los lotes:

Tabla 18-3: Promedio de humedad del pellet en cada lote

Lote	Promedio de % de humedad del pellet
06	10,50909091
07	10,64117647
08	10,58529412
09	10,15588235
10	9,944117647

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Gracias a las bitácoras de producción otorgadas por la empresa, se pudo obtener los parámetros claves con los cuales se trabajó en cada lote, dichos parámetros se encuentran resumidos en la tabla 19-3:

Tabla 19-3: Parámetros claves de evaluación en cada lote

Lote	% de humedad de materia prima	Velocidad de banda transportadora	Velocidad de tambor secador	Temperatura de tambor	Velocidad de ingreso de material	% de humedad
06	40	28,45	19,46	120	14,25	10,5
07	46	25,56	18,06	120	10	10,6
08	37	28,45	19,46	120	12,89	10,6
09	25	34,54	22,07	120	16,46	10,2
10	19	36,02	24,26	120	18,5	9,9

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Con los datos de la tabla anterior se procedió a calcular el valor del coeficiente de relación entre cada uno de los factores relacionados con el % de humedad del pellet respectivamente, con lo cual se obtuvo los siguientes resultados:

3.8.4.1. Humedad de la materia prima vs % de humedad del pellet

Se comparo el porcentaje de humedad del pellet (tabla 19-3, columna 7) y variación en función al % de humedad de materia prima (tabla 19-3, columna 2); utilizando el software Excel se obtuvo la ilustración 16-3 en la cual se puede observar cómo se comportan los resultados de cada lote en función a comparación antes planteada.

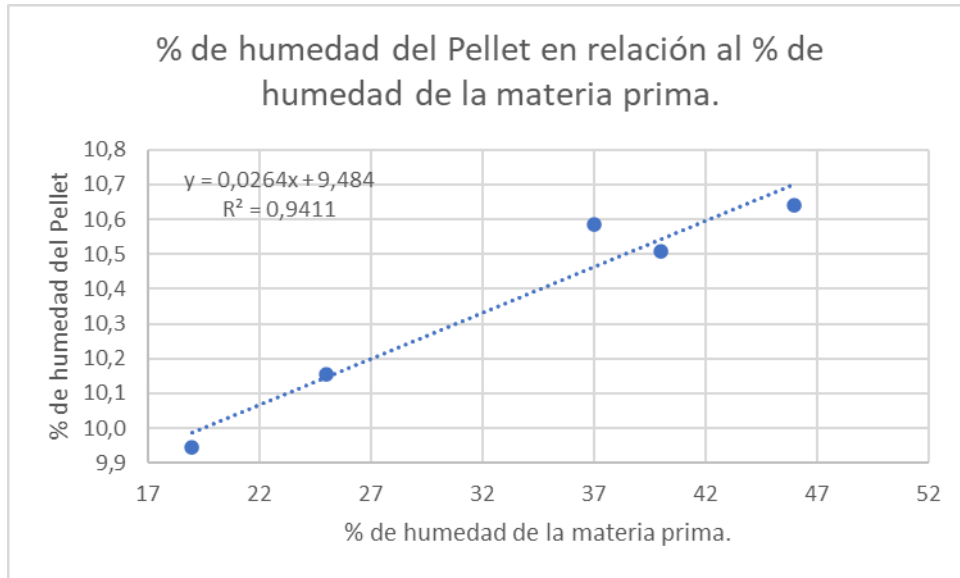


Ilustración 16-3: Humedad del pellet con relación al % de humedad

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 20-3: Resultado de la humedad de la materia prima vs % de humedad del pellet

N° Lote	% de humedad de materia prima (x)	% de humedad del pellet (y)	Y Calculada $y = 0,0264x + 9,484$	Error	Error ²	$(Y - \bar{y})^2$
1	40	10,509	10,54	0,031	0,001	0,020
2	46	10,641	10,6984	0,057	0,003	0,075
3	37	10,585	10,4608	0,124	0,015	0,048
4	25	10,156	10,144	0,012	0,000	0,045
5	19	9,944	9,9856	0,041	0,002	0,179
		$\Sigma = 10,367$			$\Sigma = 0,022$	$\Sigma = 0,366$

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum e^2}{\sum (Y - \bar{y})^2} \right)$$

Ecuación 5-3.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{0,022}{0,366} \right)$$

$$R^2 = 0,9411 * 100$$

$$R^2 = 94,11 \%$$

Debido a que el coeficiente de correlación es mayor al 90 % se puede concluir que el % de humedad de la materia prima afecta directamente y en gran cantidad al % de humedad final del pellet, por lo cual es un factor que se debe estudiar a profundidad con la finalidad de tomar acciones que generen los resultados requeridos.

3.8.4.2. Velocidad de la banda transportadora vs % de humedad del pellet

Se comparo el porcentaje de humedad del pellet (tabla 19-3, columna 7) y variación en función a la velocidad de la banda transportadora de materia prima (tabla 19-3, columna 3); utilizando el software Excel se obtuvo la ilustración 17-3 en la cual se puede observar cómo se comportan los resultados de cada lote en función a comparación antes planteada.

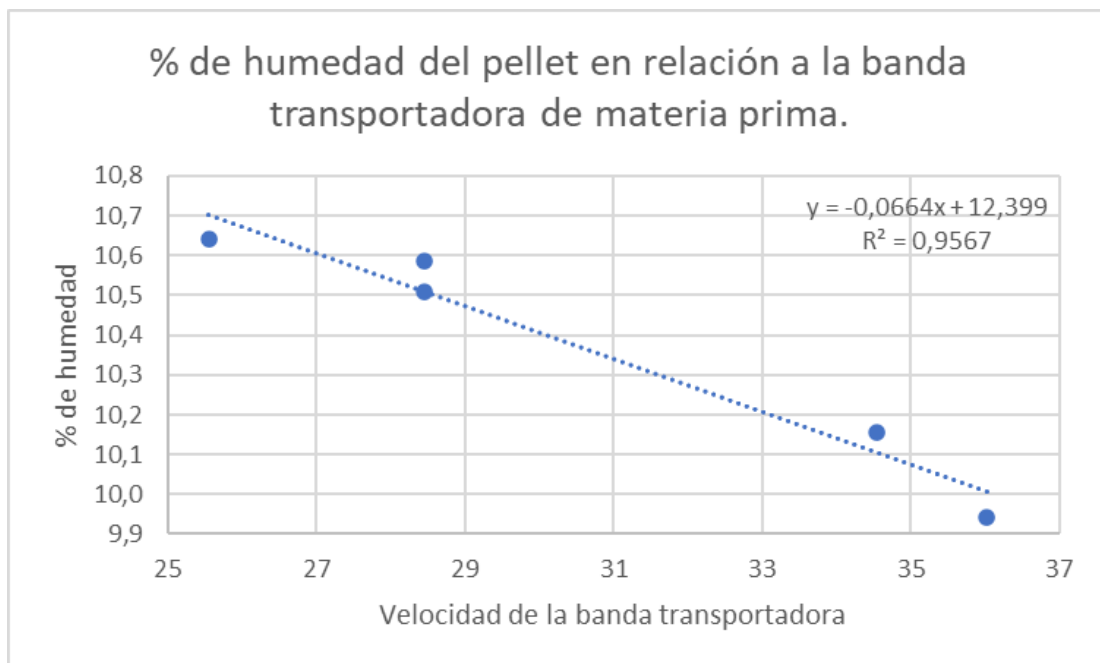


Ilustración 17-3: Porcentaje de humedad del pellet con relación a la banda transportadora de materia prima

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 21-3: Resultado velocidad de la banda transportadora vs % de humedad del pellet

N° Lote	Velocidad de banda transportadora (x)	% de humedad del pellet (y)	Y Calculada $y = -0,0664x + 12,399$	Error	Error ²	$(Y - \bar{y})^2$
1	28,45	10,509	10,50992	0,001	0,000	0,020
2	25,56	10,641	10,701816	0,061	0,004	0,075
3	28,45	10,585	10,50992	0,075	0,006	0,048
4	34,54	10,156	10,105544	0,050	0,003	0,045
5	36,02	9,944	10,007272	0,063	0,004	0,179
		$\Sigma = 10,367$			$\Sigma = 0,016$	$\Sigma = 0,366$

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\Sigma e^2}{\Sigma(Y - \bar{y})^2} \right)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{0,016}{0,366} \right)$$

$$R^2 = 0,9567 * 100$$

$$R^2 = 95,67 \%$$

Debido a que el coeficiente de correlación es mayor al 90 % se puede concluir que la velocidad de la banda transportadora afecta directamente y en gran cantidad al % de humedad final del pellet, por lo cual es un factor que se debe estudiar a profundidad con la finalidad de tomar acciones que generen los resultados requeridos.

3.8.4.3. Velocidad de tambor de secado vs % de humedad del pellet

Se comparo el porcentaje de humedad del pellet (tabla 19-3, columna 7) y variación en función a la velocidad del tambor secador (tabla 19-3, columna 4); utilizando el software Excel se obtuvo la ilustración 18-3 en la cual se puede observar cómo se comportan los resultados de cada lote en función a comparación antes planteada.

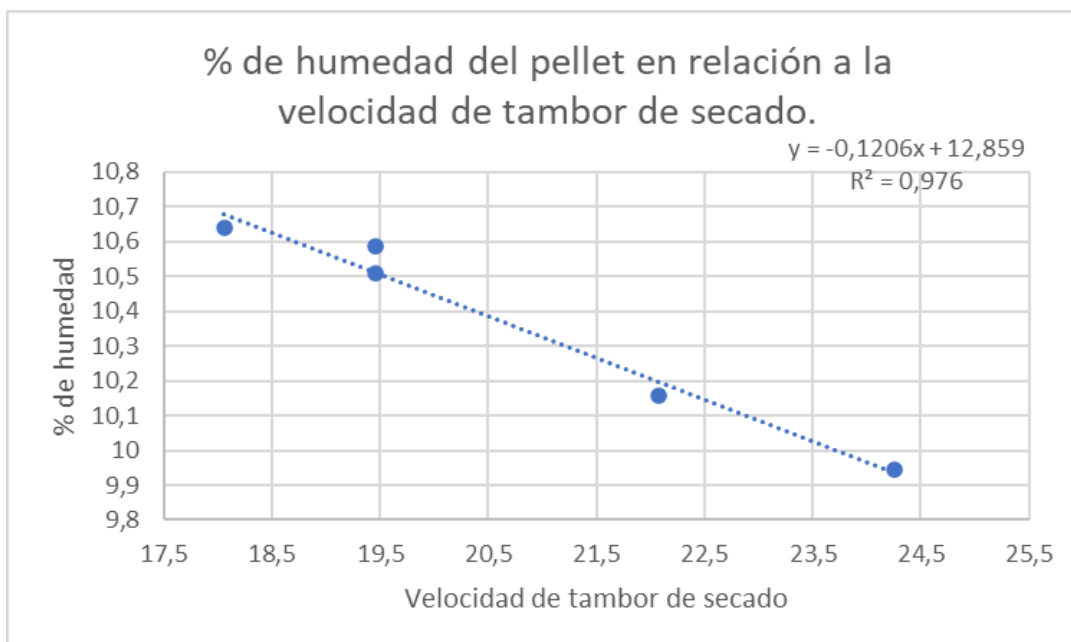


Ilustración 18-3: Porcentaje de humedad del pellet con relación a la velocidad de tambor de secado

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 22-3: Resultado velocidad de tambor de secado vs % de humedad del pellet

N° Lote	Velocidad de tambor secador (x)	% de humedad del pellet (y)	Y Calculada $y = -0,1206x + 12,859$	Error	Error ²	$(Y - \bar{y})^2$
1	19,46	10,509	10,512124	0,003	0,000	0,020
2	18,06	10,641	10,680964	0,040	0,002	0,075
3	19,46	10,585	10,512124	0,073	0,005	0,048
4	22,07	10,156	10,197358	0,041	0,002	0,045
5	24,26	9,944	9,933244	0,011	0,000	0,179
		$\Sigma = 10,367$			$\Sigma = 0,009$	$\Sigma = 0,366$

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum e^2}{\sum (Y - \bar{y})^2} \right)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{0,009}{0,366} \right)$$

$$R^2 = 0,9760 * 100$$

$$R^2 = 97,60 \%$$

Debido a que el coeficiente de correlación es mayor al 90 % se puede concluir que la velocidad de tambor de secado afecta directamente y en gran cantidad al % de humedad final del pellet, por lo cual es un factor que se debe estudiar a profundidad con la finalidad de tomar acciones que generen los resultados requeridos.

3.8.4.4. Temperatura de tambor de secado vs % de humedad del pellet

Se comparo el porcentaje de humedad del pellet (tabla 19-3, columna 7) y variación en función a temperatura del tambor de secado (tabla 19-3, columna 5); utilizando el software Excel se obtuvo la ilustración 17-3 en la cual se puede observar cómo se comportan los resultados de cada lote en función a comparación antes planteada.

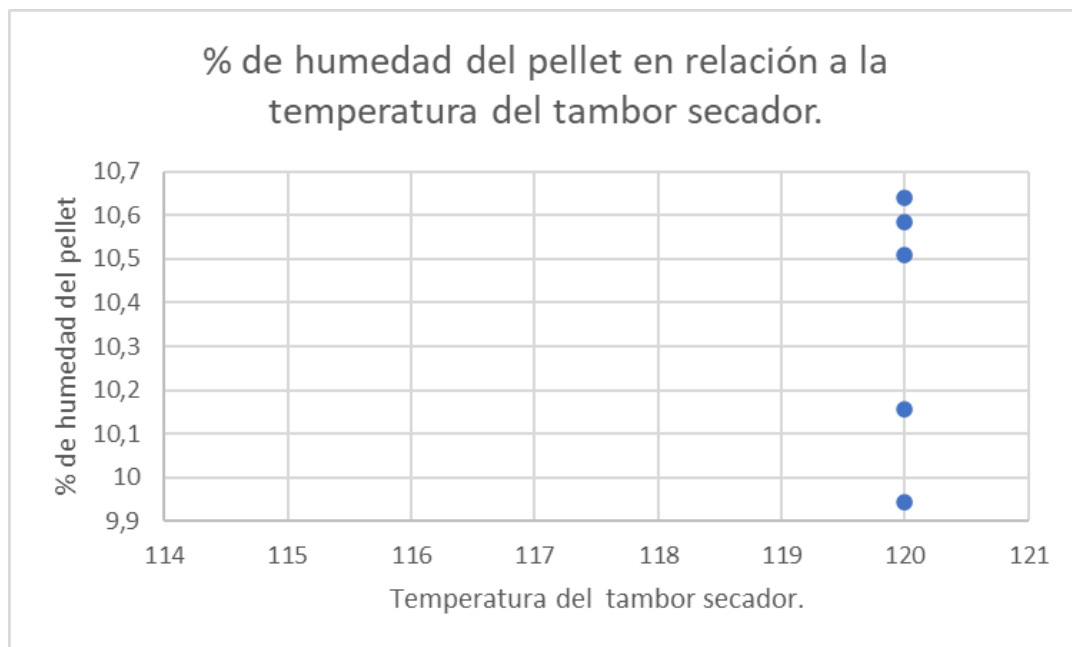


Ilustración 19-3: Porcentaje de humedad del pellet con relación a la temperatura del tambor secador

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Debido a que el valor de la temperatura del tambor secador es constante sin importar los parámetros bajo los cuales se está trabajando no se puede determinar un coeficiente de correlación, por lo tanto, se puede determinar que su valor no tiene relación con el porcentaje de humedad final del pellet.

3.8.4.5. Velocidad de ingreso de materia prima a la peletizadora vs % de humedad del pellet

Se comparo el porcentaje de humedad del pellet (tabla 19-3, columna 7) y variación en función a la velocidad de ingreso de materia prima a la peletizadora (tabla 19-3, columna 6); utilizando el software Excel se obtuvo la ilustración 17-3 en la cual se puede observar cómo se comportan los resultados de cada lote en función a comparación antes planteada.

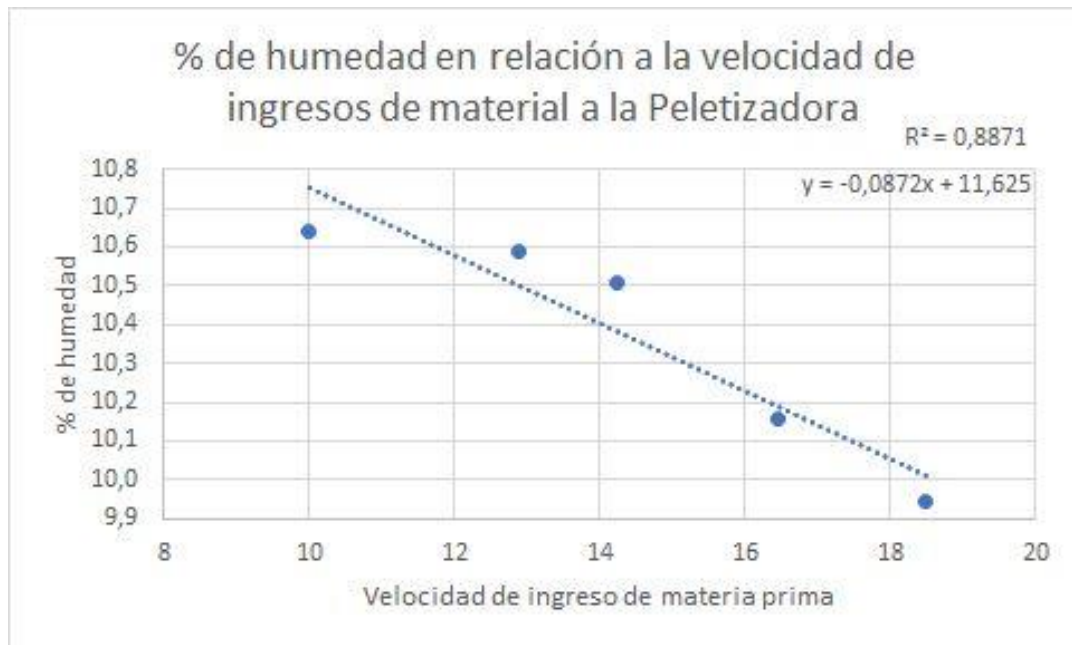


Ilustración 20-3: Porcentaje de humedad del pellet con relación velocidad de ingresos de material a la peletizadora

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 23-3: Velocidad de ingreso de materia prima a la peletizadora vs % de humedad del pellet

Nº Lote	Velocidad de ingreso de material (x)	% de humedad del pellet (y)	Y Calculada $y = -0,0872x + 11,625$	Error	Error ²	$(Y - \bar{y})^2$
1	14,25	10,509	10,3824	0,127	0,016	0,020
2	10	10,641	10,753	0,112	0,013	0,075
3	12,89	10,585	10,500992	0,084	0,007	0,048
4	16,46	10,156	10,189688	0,034	0,001	0,045
5	18,5	9,944	10,0118	0,068	0,005	0,179
		$\Sigma = 10,367$			$\Sigma = 0,041$	$\Sigma = 0,366$

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum e^2}{\sum (Y - \bar{y})^2} \right)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{0,041}{0,366} \right)$$

$$R^2 = 0,8871 * 100$$

$$R^2 = 88,71 \%$$

Debido a que el coeficiente de correlación es cercano al 90 % y mayor al 85% se puede concluir que la velocidad de ingreso de materia prima a la peletizadora afecta significativamente y en gran cantidad al % de humedad final del pellet, por lo cual es un factor que se debe estudiar a profundidad con la finalidad de tomar acciones que generen los resultados requeridos.

3.8.5. Replanteamiento de variables de calidad

En base al análisis estadístico se pudo replantear las variables que serán estudiadas en el proyecto las cuales son:

- X1: Porcentaje de humedad de la materia prima.
- X2: Velocidad de la banda transportadora de alimentación de materia prima.
- X3: Velocidad de tambor secador.
- X4: Velocidad de ingreso de aserrín a la peletizadora.
- Y: Porcentaje de humedad del pellet.

La variable dependiente será el porcentaje de humedad del pellet el cual es afectado directamente por factores claves como el porcentaje de humedad de la materia prima, flujo de materia prima, velocidad de secado y caudal de aserrín que ingresa a la peletizadora; las mismas que serán las variables independientes.

3.9. Etapa de Mejora

Dentro de la etapa de mejora se proponen tres cambios principales con los cuales se busca disminuir el efecto producido por las causas anteriormente planteadas respecto a la humedad del pellet las cuales se resumen en la tabla 24-3.

Tabla 24-3: Propuesta de solución a las causas identificadas

Causas	Solución Propuesta
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de secado. • Velocidad de la banda alimentadora de materia prima. • Velocidad de ingreso de aserrín a la peletizadora. • Porcentaje de humedad de la materia prima. 	Estandarización de los parámetros de producción utilizando un diseño factorial 2 ⁴ .
<ul style="list-style-type: none"> • Control de humedad de la materia prima. • Exceso de humedad en la materia prima. • Materia prima inadecuada. 	Elaboración de un plan de muestreo de humedad de la materia prima y creación de un check list para la recepción de materia prima.
<ul style="list-style-type: none"> • Manejo de inventario. • Método de almacenamiento. 	Diseño de un sistema de gestión de inventarios basado en el método FIFO.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.1. Estandarización de los parámetros de producción utilizando un diseño factorial 2⁴

Para la implementación de la mejora antes mencionada se decidió hacer un diseño factorial 2⁴ teniendo en cuenta que se estudiaran 4 factores, en dos niveles cada uno y con un total de dos corridas por caso.

3.9.1.1. Declaración de los parámetros estudiados en el diseño

Para la determinación de los valores, tanto en el nivel alto como en el nivel bajo, se tomó en cuenta los estándares habituales a los cuales la empresa suele producir, para identificar de mejor manera los niveles de los factores, se los organizo en la tabla 25-3:

Tabla 25-3: Parámetros estudiados en el diseño

Tipificación	Parámetro	Nivel Alto	Nivel Bajo
A	% de humedad de materia prima.	40%	19%
B	Velocidad de la banda transportadora de alimentación de materia prima.	36,02 rpm	28,45 rpm
C	Velocidad de tambor secador.	24,26 rpm	19,46 rpm

D	Velocidad de ingreso de aserrín a la peletizadora.	13,4 rpm	8 rpm
---	--	----------	-------

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.1.2. Planteamiento de las hipótesis

Hipótesis individuales:

- Factor A:

$$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0$$

$$H_A: \alpha_i \neq 0$$

- Factor B:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_A: \beta_j \neq 0$$

- Factor C:

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = 0$$

$$H_A: \gamma_k \neq 0$$

- Factor D:

$$H_0: \delta_1 = \delta_2 = 0$$

$$H_A: \delta_l \neq 0$$

Hipótesis de interacción doble:

- Efecto A*B:

$$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$$

$$H_A: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$$

- Efecto A*C:

$$H_0: (\alpha\gamma)_{ik} = 0$$

$$H_A: (\alpha\gamma)_{ik} \neq 0$$

- Efecto A*D:

$$H_0: (\alpha\delta)_{il} = 0$$

$$H_A: (\alpha\delta)_{il} \neq 0$$

- Efecto B*C:

$$H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$$

$$H_A: (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$$

- Efecto B*D:

$$H_0: (\beta\delta)_{jl} = 0$$

$$H_A: (\beta\delta)_{jl} \neq 0$$

- Efecto C*D:

$$H_0: (\gamma\delta)_{kl} = 0$$

$$H_A: (\gamma\delta)_{kl} \neq 0$$

Hipótesis de interacción triple:

- Efecto A*B*C:

$$H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

$$H_A: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$$

- Efecto A*B*D:

$$H_0: (\alpha\beta\delta)_{ijl} = 0$$

$$H_A: (\alpha\beta\delta)_{ijl} \neq 0$$

- Efecto A*C*D:

$$H_0: (\alpha\gamma\delta)_{ikl} = 0$$

$$H_A: (\alpha\gamma\delta)_{ikl} \neq 0$$

- Efecto B*C*D:

$$H_0: (\beta\gamma\delta)_{jkl} = 0$$

$$H_A: (\beta\gamma\delta)_{jkl} \neq 0$$

Hipótesis de interacción cuádruple:

- Efecto A*B*C*D:

$$H_0: (\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl} = 0$$

$$H_A: (\alpha\beta\gamma\delta)_{ijkl} \neq 0$$

3.9.1.3. Aleatorización de las corridas del experimento

Para obtener una mayor veracidad en los resultados del experimento es necesario que los datos sean tomados aleatoriamente, evitando de esta manera errores en las mediciones y reduciendo la repetibilidad, para lo cual se utilizó con fines educativos la versión de prueba del software Minitab 19; la aleatorización obtenida se encuentra resumida en la tabla 26-3.

Tabla 26-3: Aleatorización de las corridas del experimento

Orden Est	Orden Corrida	Pt Central	Bloques	% de humedad de materia prima.	Velocidad de la banda transporte	Velocidad de tambor secador.	Velocidad de ingreso de aserrín
3	1	1	1	19	36,02	19,46	8,0
31	2	1	1	19	36,02	24,26	13,4
4	3	1	1	40	36,02	19,46	8,0
7	4	1	1	19	36,02	24,26	8,0
30	5	1	1	40	28,45	24,26	13,4
5	6	1	1	19	28,45	24,26	8,0
26	7	1	1	40	28,45	19,46	13,4
28	8	1	1	40	36,02	19,46	13,4
21	9	1	1	19	28,45	24,26	8,0
9	10	1	1	19	28,45	19,46	13,4
1	11	1	1	19	28,45	19,46	8,0
17	12	1	1	19	28,45	19,46	8,0
10	13	1	1	40	28,45	19,46	13,4
14	14	1	1	40	28,45	24,26	13,4
16	15	1	1	40	36,02	24,26	13,4
25	16	1	1	19	28,45	19,46	13,4
2	17	1	1	40	28,45	19,46	8,0
8	18	1	1	40	36,02	24,26	8,0
20	19	1	1	40	36,02	19,46	8,0
12	20	1	1	40	36,02	19,46	13,4
27	21	1	1	19	36,02	19,46	13,4
19	22	1	1	19	36,02	19,46	8,0
18	23	1	1	40	28,45	19,46	8,0
32	24	1	1	40	36,02	24,26	13,4
6	25	1	1	40	28,45	24,26	8,0
29	26	1	1	19	28,45	24,26	13,4
22	27	1	1	40	28,45	24,26	8,0
15	28	1	1	19	36,02	24,26	13,4
24	29	1	1	40	36,02	24,26	8,0
11	30	1	1	19	36,02	19,46	13,4

13	31	1	1	19	28,45	24,26	13,4
23	32	1	1	19	36,02	24,26	8,0

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.1.4. Toma de datos

La toma de datos se realizó siguiendo el cronograma establecido en la tabla, tomando en cuenta que se efectuó dos corridas por tratamiento, para poder elaborar el análisis se procedió a codificar los niveles de cada uno de los factores como se muestra en la tabla 27-3:


Tabla 27-3: Codificación de los niveles de cada factor

FACTOR	NIVEL	VALOR REAL	VALOR CODIFICADO
% PORCENTAJE DE HUMEDAD DE LA MATERIA PRIMA (A)	BAJO	19	-1
	ALTO	40	1
VELOCIDAD DE LA BANDA TRANSPORTADORA DE ALIMENTACIÓN DE MATERIA PRIMA (B)	BAJO	28,45	-1
	ALTO	36,02	1
VELOCIDAD DEL TAMBOR SECADOR. (C)	BAJO	19,46	-1
	ALTO	24,26	1
VELOCIDAD DE INGRESO DE ASERRÍN A LA PELETIZADORA (D)	BAJO	8	-1
	ALTO	13,4	1

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Con la codificación planteada en la tabla anterior, y siguiendo el orden de aleatorización establecido en la tabla 26-3, se obtuvieron los siguientes datos, mismos que se encuentran en la tabla 28-3.

Tabla 28-3: Datos obtenidos para el diseño experimental

				% DE HUMEDAD DEL PELLET	
A	B	C	D	I	II
-1	-1	-1	-1	9,6	9,7
1	-1	-1	-1	10,1	10,3
-1	1	-1	-1	9,9	10,1
-1	1	-1	-1	10,4	9,9
-1	-1	1	-1	9,9	10,2
1	-1	1	-1	10,4	10,5
-1	1	1	-1	10,1	10,4
1	1	1	-1	10,3	10
-1	-1	-1	1	9,8	10
1	-1	-1	1	10	10,1
-1	1	-1	1	9,8	10,1
1	1	-1	1	10	10,1
-1	-1	1	1	10,1	10,2
1	-1	1	1	10,3	10,1
-1	1	1	1	10,7	10,3

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.1.5. Análisis de varianza Anova

Tabla 29-3: ANOVA

FV	SC	GL	CM	Fo	F(alfa)	Criterio de decisión
A	0,5000	1	0,5000	15,6863	4,4940	SIGNIFICATIVO
B	0,3200	1	0,3200	10,0392	4,4940	SIGNIFICATIVO
C	1,1250	1	1,1250	35,2941	4,4940	SIGNIFICATIVO
D	0,1512	1	0,1512	4,7451	4,4940	SIGNIFICATIVO
AB	0,0112	1	0,0112	0,3529	4,4940	NO SIGNIFICATIVO
AC	0,0012	1	0,0012	0,0392	4,4940	NO SIGNIFICATIVO
AD	0,0000	1	0,0000	0,0000	4,4940	NO SIGNIFICATIVO

BC	0,1013	1	0,1013	3,1765	4,4940	NO SIGNIFICATIVO
BD	0,1800	1	0,1800	5,6471	4,4940	SIGNIFICATIVO
CD	0,1800	1	0,1800	5,6471	4,4940	SIGNIFICATIVO
ABC	0,0450	1	0,0450	1,4118	4,4940	NO SIGNIFICATIVO
ABD	0,2812	1	0,2812	8,8235	4,4940	SIGNIFICATIVO
ACD	0,1013	1	0,1013	3,1765	4,4940	NO SIGNIFICATIVO
BCD	0,3613	1	0,3613	11,3333	4,4940	SIGNIFICATIVO
ABCD	0,0800	1	0,0800	2,5098	4,4940	NO SIGNIFICATIVO
Error	0,5100	16	0,0319			
Total	3,9488	31	0,1274			

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

$$R^2 = \left(\frac{SCT - SCE}{SCT} \right)$$

Ecuación 6-3.

$$R^2 = \left(\frac{3,9488 - 0,5100}{3,9488} \right)$$

$$R^2 = 0,8708 * 100$$

$$R^2 = 87,08 \%$$

3.9.1.6. Desarrollo del modelo matemático del experimento

Para el desarrollo del modelo matemático se tomó en cuenta la ecuación establecida inicialmente para un diseño factorial 2^4 como se muestra a continuación:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \delta_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\delta)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} \\ + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\alpha\beta\delta)_{ijl} + (\alpha\gamma\delta)_{ikl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + Error_{ijkl}$$

Ecuación 7-3.

Una vez realizado el análisis de varianza ANOVA se procedió a eliminar de la ecuación aquellos términos que no resultaron significativos para el estudio; en la tabla 30-3 se detalla cada termino incluido en la ecuación final que representara este diseño factorial.

Tabla 30-3: Términos incluidos en la ecuación final

Término	Descripción	Valor
μ	Promedio global	10,18125
α_i	$\frac{\text{Efecto A}}{2}$	0,25
β_j	$\frac{\text{Efecto B}}{2}$	0,2
γ_k	$\frac{\text{Efecto C}}{2}$	0,375
δ_l	$\frac{\text{Efecto D}}{2}$	0,1375
$(\beta\delta)_{jl}$	$\frac{\text{Efecto BD}}{2}$	0,15
$(\gamma\delta)_{kl}$	$\frac{\text{Efecto CD}}{2}$	0,15
$(\alpha\beta\delta)_{ijl}$	$\frac{\text{Efecto ABD}}{2}$	0,1875
$(\beta\gamma\delta)_{jkl}$	$\frac{\text{Efecto BCD}}{2}$	0,2125
Error_{ijkl}	CME	0,0319

Después de haber definido los términos de la nueva ecuación, se procedió eliminar aquellos que resultaron semejantes para poder reducir la función a su mínima expresión y así dejarla en términos de los cuatro factores (A, B, C, D) que podemos controlar dentro del proceso de producción de pellets a base de residuos madereros, obteniendo como resultado la siguiente expresión:

$$Y_{ijkl} = 10,1813 + 0,25 X_A + 0,2X_B + 0,375X_C + 0,1375X_D + 0,15X_B * X_D + 0,15X_C * X_D + 0,1875 X_A * X_B * X_D + 0,2125X_B * X_C * X_D + 0,0319$$

$$Y_{ijkl} = 10,2131 + 0,4375 X_A + 0,75X_B + 0,7375X_C + 0,8375X_D$$

3.9.1.7. Declaración de nuevos parámetros de producción

Para el cálculo de estos nuevos parámetros se utilizó la ecuación anteriormente definida, dando como resultado así los parámetros establecidos en la tabla 31-3:

Tabla 31-3: Nuevos parámetros de producción

% de Humedad de la materia prima.	Velocidad de la banda transportadora de alimentación de materia prima.	Velocidad del tambor secador.	Velocidad de ingreso de aserrín a la peletizadora.	% de humedad del pellet (Calculado).
19,0 – 20,0	31,48	21,38	12,05	9,90
20,1 – 21,0	32,24	21,86	10,97	9,90
21,0 – 22,1	31,48	21,38	11,78	9,90
22,2 – 23,1	30,72	20,90	12,59	9,90
23,2 – 24,2	31,48	21,38	11,51	9,90
24,3 – 25,2	30,72	20,90	12,32	9,90
25,3 – 26,3	30,34	22,10	11,24	9,90
26,4 – 27,3	30,72	21,14	11,78	9,90
27,4 – 28,4	31,48	21,62	10,70	9,90
28,5 – 29,4	30,72	21,14	11,51	9,90
29,5 – 30,5	29,96	20,66	12,32	9,90
30,6 – 31,5	30,72	21,14	11,24	9,90
31,6 – 32,6	29,96	20,66	12,05	9,90
32,7 – 33,6	31,10	21,15	10,70	9,90
33,7 – 34,7	30,34	20,66	11,51	9,90
34,8 – 35,7	31,10	21,14	10,43	9,90
35,8 – 36,8	30,34	20,66	11,24	9,90
36,9 – 37,8	30,72	21,38	10,16	9,90
37,9 – 38,9	30,34	20,66	10,97	9,90
39,0 – 39,9	29,59	20,18	11,78	9,90
40	30,34	20,90	10,43	9,90

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.2. *Elaboración de un plan de muestreo de humedad de la materia prima y creación de un check list para la recepción de la misma*

3.9.2.1. *Identificación de los parámetros claves de la materia prima*

Es importante determinar aquellos parámetros primordiales que deben ser evaluados en la materia prima, buscando como objetivo mejor la calidad del producto final, tales parámetros se encuentran detallados en la tabla 32-3.

Tabla 32-3: Principales parámetros a evaluar

Parámetro	Descripción	Objetivo
% de humedad de la materia prima.	Denota la cantidad de agua o de cualquier otro líquido presente en la materia prima, la misma que es medida en porcentaje.	De 19 % a 40 % de humedad.
Tipo de materia prima.	Establece la procedencia o variedad de la madera de la cual proviene la viruta.	De preferencia Pino, sin embargo, en épocas de escasez se puede aceptar eucalipto o ...
Presentación de la materia prima.	Forma en la cual llega la materia prima.	La presentación ideal es en forma de viruta, hasta aserrín.
Cantidad de materia prima.	Determina la cantidad exacta de materia prima que ingresa por lote, la cual esta medida en toneladas.	Se espera 5 Toneladas por lote.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.2.2. *Descripción del plan de muestreo*

Debido a que no existe una norma INEN específica para el muestreo de viruta, el plan de muestreo diseñado se basó en una normativa similar INEN 251 1977-02, la cual se basa en un método de almacenamiento similar al que se presenta en GAMBOA PELLETS, el mismo que recomienda los siguientes pasos:

- El material deberá seleccionarse de tal manera que represente un promedio de varias partes de la pila o del carro, y no solamente de las capas superiores o inferiores.

- El material seleccionado deberá comprender por lo menos diez paladas, tomadas de diferentes partes de la pila o del carro, haciendo hoyos de profundidad no menor de 30 cm bajo su superficie exterior.
- La cantidad total no deberá pesar menos de 25 kg por cada 30 toneladas de material, o la cantidad correspondiente a los múltiplos; pero, en ningún caso podrá ser menor de 25 kg.
- El material extraído se removerá y mezclará completamente. De aquí se tomarán muestras triples de 2,5 kg para los ensayos.

En base a estas especificaciones de la norma INEN 251 1977-02, se adaptó a los requerimientos de la empresa, teniendo como resultado los siguientes parámetros de muestreo:

1. Se deberá obtener un total de 10 paladas que provengan de distintos sectores de la materia prima, con una profundidad no menor a 30 cm bajo su capa exterior, dicha profundidad deberá ser variable con la finalidad de abarcar la mayor parte de las capas del material.
2. Para estimar la cantidad de muestreo necesaria es necesario realizar una regla de tres en función a lo especificado por la norma INEN 251 1977-02:

$$\frac{25 \text{ kg}}{30 \text{ Ton}} = \frac{X \text{ kg}}{5 \text{ Ton}}$$

Ecuación 8-3.

$$\frac{25 \text{ kg} * 5 \text{ Ton}}{30 \text{ Ton}} = X \text{ kg}$$

$$X = 4,16 \text{ kg} \cong 5 \text{ kg}$$

El cálculo se lo realizo con 5 Toneladas, debido a que esta es la cantidad de materia prima que se recibe generalmente, ya que la norma establece que cada muestra debe ser de 2,5 kg, se redondeó el valor obtenido para poder obtener un total de 5 kg, es decir dos muestras.

3. Con los valores de las muestras obtenidas se estimará una medida de tendencia central, en este caso el promedio, con lo cual se realizará la valoración final para la aprobación de la materia prima y el ajuste de los parámetros de producción.

NOTA: Cuando se observe demasiada diferencia entre las muestras obtenidas, se recomienda tomar la humedad de la materia con un intervalo de 1 hora con el fin de ajustar los parámetros constantes y disminuir la varianza de la humedad final del pellet.

3.9.2.3. Codificación de lotes de la materia prima

Para tener un mayor control sobre los lotes que ingresan, se decidió implementar una codificación específica para cada uno, la cual estará conformada por la información presentada en la tabla 33-3.

Tabla 33-3: Codificación de lotes de la materia prima

Descripción	Formato	Ejemplo
Fecha de recepción de materia prima.	aa/mm/dd	23/01/01 (Hace referencia a la materia prima que llegó el 01 de enero del 2023).
Lugar de procedencia.	Dos primeras letras del lugar de donde procede la materia prima	CH (Hace referencia a la materia prima que proviene de la provincia de Chimborazo)
Tipo de materia prima.	La primera letra de la materia prima, en caso de que esta sea mixta se deberá combinar las iniciales.	P (Cuando se trata solamente de Pino) E (Cuando se trata solamente de Eucalipto) PE (Cuando la materia prima este mezclada)

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.


La codificación final se realizará de acuerdo con la tabla 34-3, separando cada carácter con un guion medio, quedando de la siguiente manera:

23/01/01 – CH – P

3.9.2.4. Diseño de la Check List

La check list se desarrolló en función de los parámetros claves de la materia prima especificados en la tabla 34-3, con la finalidad de aceptar o rechazar la misma, y de esta forma poder tener datos históricos sobre el estado de llegada de la materia prima, además se agregó un registro de humedad para tener un mayor control sobre los parámetros de producción.

Tabla 34-3: Diseño de la lista de chequeo


LISTA DE CHEQUEO : CONTROL DE MATERIA PRIMA																											
Inspector:																											
Fecha :																											
Lugar de procedencia :																											
Tipo de materia prima :																											
Lote :																											
1. Cantidad de materia prima		SI	NO																								
a. El lote cumple la cantidad estimada de 5 Toneladas.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
Número de muestras :																											
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> >7 <input type="checkbox"/>																											
Registro de humedad																											
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Número de muestra</th> <th>% de humedad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td></td></tr> </tbody> </table>		Número de muestra	% de humedad	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		Promedio	
Número de muestra	% de humedad																										
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											
6																											
7																											
8																											
9																											
10																											
Promedio																											
		SI	NO																								
2. Porcentaje de humedad.																											
a. El promedio de las muestras se encuentran en un rango de 19 % - 40 % de humedad.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
b. La diferencia entre el porcentaje de las muestras es muy alta.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
3. Tipo de materia prima.																											
a. La materia prima proviene de madera de pino o eucalipto.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
4. Presentación de la materia prima.																											
a. La materia prima viene en forma de aserrín.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
b. La materia prima viene en forma de viruta.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
c. La materia prima viene en otro tipo de presentación.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																								
Observaciones																											
Revisado por:																											

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.2.5. Hoja de decisión en función a la Check List

Para tener un manejo óptimo y correcto de la Check List propuesta es necesario crear una hoja de decisión (tabla 35-3), misma que proporcionara las acciones que se deban tomar en cada caso.

Tabla 35-3: Hoja de decisión en función a la Check List

Hoja de decisión			
Realizado por:		Haro Juan; Jordán Esteban.	
Codificación	SI	NO	Acciones
1a	X		Se deben obtener un total de 5 Kg de materia prima, con un mínimo de 10 paladas de distintos puntos, cada palada se debe sacar de una profundidad mínima de 30 cm a partir de la capa más externa del material, las distintas muestras se deberán remover y mezclar para posteriormente separarlas en porciones de 2,5 kg cada una y efectuar un muestreo triple en cada una teniendo un total de 6 muestras.
1a		X	<ul style="list-style-type: none"> • De 1 a 3 toneladas: Se deben obtener un total de 2,5 Kg de materia prima, con un mínimo de 10 paladas de distintos puntos, cada palada se debe sacar de una profundidad mínima de 30 cm a partir de la capa más externa del material, las distintas muestras se deberán remover y mezclar para posteriormente separarlas se efectuará un muestreo triple teniendo un total de 3 muestras. • De 3 a 6 toneladas: Se deben obtener un total de 5 Kg de materia prima, con un mínimo de 10 paladas de distintos puntos, cada palada se debe sacar de una profundidad mínima de 30 cm a partir de la capa más externa del material, las distintas muestras se deberán remover y mezclar para posteriormente separarlas en porciones de 2,5 kg cada una y efectuar un muestreo triple en cada una teniendo un total de 6 muestras. • De 6 a 9 toneladas: Se deben obtener un total de 7,5 Kg de materia prima, con un mínimo de 10 paladas de distintos puntos, cada palada se debe

			sacar de una profundidad mínima de 30 cm a partir de la capa más externa del material, las distintas muestras se deberán remover y mezclar para posteriormente separarlas en porciones de 2,5 kg cada una y efectuar un muestreo triple en cada una teniendo un total de 9 muestras. <ul style="list-style-type: none"> Mayor a 9 toneladas: Dicha cantidad excede la capacidad de la bodega por lo cual no se podría realizar pedidos mayores a este tonelaje.
2a	X		Se recibe la materia prima.
2a		X	Se rechaza la materia prima.
2b	X		Se recomienda realizar un muestreo de la materría prima cada hora con la finalidad de ir ajustando los parámetros de producción.
2b		X	Se ajusta los parámetros de producción en función del promedio obtenido de las muestras, se mantiene estos parámetros durante todo el tiempo de producción en el cual se trabaje con el lote de materia prima muestreado.
3a	X		Se recibe la materia prima.
3a		X	Se rechaza la materia prima.
4a	X		Se recibe la materia prima.
4a		X	Pasar al apartado 4b.
4b	X		Se recibe la materia prima.
4b		X	Pasar al apartado 4c.
4c	X		Determinar si el tipo de presentación es procesable con la maquinaria existente en la línea de producción (Chipeadora), de no serlo se rechaza la materia prima.
4c		X	Volver a evaluar el apartado 4b y 4c con la finalidad de determinar si se encuentra en alguna de las dos presentaciones mencionadas.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.3. *Diseño de un sistema de gestión de inventarios basado en el método FIFO*

Dentro de la bodega no existe un sistema de manejo de inventarios como tal por lo cual muchos lotes permanecen demasiado tiempo en existencia, mientras que otros ni siquiera son embodegados, este particular es de gran importancia ya que el tiempo de existencia es proporcional al aumento de humedad en el pellet, por lo cual se propone que lo primero entrar sea lo primero en salir de bodega, tratando que el tiempo en bodega entre lotes sea el menor posible.

3.9.3.1. Codificación de lotes de producto terminado

Para poder tener un mejor control es necesario que cada lote tenga una codificación particular, con la finalidad de que se los pueda identificar con facilidad, la codificación que se utilizara será la misma que se asigne al lote de materia prima debido a que esto nos ayudara a tener una mayor trazabilidad del producto y controlar que tan eficientes es cada materia prima que llega a la empresa, esto se puede realizar debido a que se produce un lote diario a partir del lote de materia prima que llega el mismo día, la información antes mencionada se encuentra detallada en la tabla..

3.9.3.2. Asignación de espacios de almacenamiento en bodega de producto terminado

Para facilitar el manejo del inventario se propone una designación por espacios con códigos de colores y números, dándole un código específico a cada día de la semana, en el espacio físico de la bodega se dispondrá de carteles visibles que contengan el color y el número asignado para cada día.

3.9.3.3. Codificación de los espacios físicos de la bodega de producto terminado

En la tabla 36-3 se puede observar de mejor manera como se distribuyen los códigos en función de los números y colores, la bodega tiene una capacidad para 10 lotes y semanalmente se produce un lote diario de lunes a viernes es por eso que el número será asignado en función de la semana de producción y el color representará a cada día de la semana.

Tabla 36-3: Codificación de los espacios físicos de la bodega de producto terminado

Día	Semana	Número	Color	Código
Lunes	01	01		Rojo-01
Martes	01	01		Azul-01
Miércoles	01	01		Verde-01
Jueves	01	01		Naranja-01
Viernes	01	01		Celeste-01
Lunes	02	02		Rojo-02
Martes	02	02		Azul-02
Miércoles	02	02		Verde-02
Jueves	02	02		Naranja-02

Viernes	02	02		Celeste-02
---------	----	----	--	------------

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.3.4. Asignación de los espacios físicos de bodega del producto terminado

Para la distribución del espacio físico de la bodega se tomó en cuenta como factor primordial el punto de salida del producto terminado y a partir de ese punto se inició con la distribución entorno a la codificación explicada en la tabla 37-3 ya que todos los lotes cuentan con el mismo número de unidades igual a 433 sacos de 15 kg cada uno, los espacios se encuentran ya establecidos para un total de 10 lotes, sin embargo no cuentan con un orden lógico, si no se los ubica en donde el operador crea conveniente o más cómodo, en la ilustración 21-3 se puede observar de mejor manera la propuesta de designación de espacios físicos.

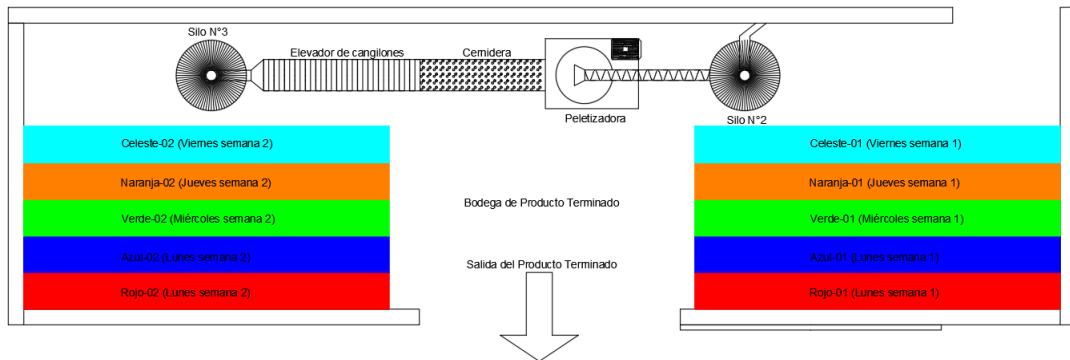



Ilustración 21-3: Croquis de la propuesta de designación de espacios físicos

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.3.5. Diseño de hoja de control y registro del inventario de bodega de producto terminado

Para tener un mayor control y un histórico de cuánto tiempo permanece cada lote en bodega es necesaria el diseño de una hoja de control y registro que permita tener una mejor visión de los datos.

Tabla 37-3: Hoja de control y registro de inventario de bodega de producto terminado

HOJA DE CONTROL Y REGISTRO DE INVENTARIO DE BODEGA DE PRODUCTO TERMINADO																																																																																																						
																																																																																																						
Responsable :																																																																																																						
Fecha :																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Codigo</th> <th style="width: 35%;">Lote</th> <th style="width: 20%;">Fecha de ingreso</th> <th style="width: 30%;">Fecha de salida</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Rojo-01</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Azul-01</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Verde-01</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Naranja -01</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Celeste - 01</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Rojo-02</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Azul-02</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Verde-02</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Naranja -02</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Celeste - 02</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Día</th> <th style="width: 15%;">Semana</th> <th style="width: 15%;">Número</th> <th style="width: 15%;">Color</th> <th style="width: 40%;">Código</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Lunes</td><td>01</td><td>01</td><td style="background-color: red;"></td><td>Rojo-01</td></tr> <tr><td>Martes</td><td>01</td><td>01</td><td style="background-color: blue;"></td><td>Azul-01</td></tr> <tr><td>Miércoles</td><td>01</td><td>01</td><td style="background-color: green;"></td><td>Verde-01</td></tr> <tr><td>Jueves</td><td>01</td><td>01</td><td style="background-color: yellow;"></td><td>Naranja-01</td></tr> <tr><td>Viernes</td><td>01</td><td>01</td><td style="background-color: cyan;"></td><td>Celeste-01</td></tr> <tr><td>Lunes</td><td>02</td><td>02</td><td style="background-color: red;"></td><td>Rojo-02</td></tr> <tr><td>Martes</td><td>02</td><td>02</td><td style="background-color: blue;"></td><td>Azul-02</td></tr> <tr><td>Miércoles</td><td>02</td><td>02</td><td style="background-color: green;"></td><td>Verde-02</td></tr> <tr><td>Jueves</td><td>02</td><td>02</td><td style="background-color: yellow;"></td><td>Naranja-02</td></tr> <tr><td>Viernes</td><td>02</td><td>02</td><td style="background-color: cyan;"></td><td>Celeste-02</td></tr> </tbody> </table>				Codigo	Lote	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Rojo-01				Azul-01				Verde-01				Naranja -01				Celeste - 01				Rojo-02				Azul-02				Verde-02				Naranja -02				Celeste - 02				Día	Semana	Número	Color	Código	Lunes	01	01		Rojo-01	Martes	01	01		Azul-01	Miércoles	01	01		Verde-01	Jueves	01	01		Naranja-01	Viernes	01	01		Celeste-01	Lunes	02	02		Rojo-02	Martes	02	02		Azul-02	Miércoles	02	02		Verde-02	Jueves	02	02		Naranja-02	Viernes	02	02		Celeste-02
Codigo	Lote	Fecha de ingreso	Fecha de salida																																																																																																			
Rojo-01																																																																																																						
Azul-01																																																																																																						
Verde-01																																																																																																						
Naranja -01																																																																																																						
Celeste - 01																																																																																																						
Rojo-02																																																																																																						
Azul-02																																																																																																						
Verde-02																																																																																																						
Naranja -02																																																																																																						
Celeste - 02																																																																																																						
Día	Semana	Número	Color	Código																																																																																																		
Lunes	01	01		Rojo-01																																																																																																		
Martes	01	01		Azul-01																																																																																																		
Miércoles	01	01		Verde-01																																																																																																		
Jueves	01	01		Naranja-01																																																																																																		
Viernes	01	01		Celeste-01																																																																																																		
Lunes	02	02		Rojo-02																																																																																																		
Martes	02	02		Azul-02																																																																																																		
Miércoles	02	02		Verde-02																																																																																																		
Jueves	02	02		Naranja-02																																																																																																		
Viernes	02	02		Celeste-02																																																																																																		
Observaciones																																																																																																						
Revisado por:																																																																																																						

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

3.9.4. Implementación de las mejoras planteadas

La aplicación de las mejoras planteadas se realizó en un periodo de una semana laborable en la cual se establecieron los nuevos parámetros de producción, se aplicó el plan de muestro para la materia prima y la Check List propuesta, así como también se asignaron los espacios físicos dentro de la bodega de productos terminados como se muestra en las ilustraciones 22-3, 23-3, 24-3 y 25-3.



Ilustración 22-3: Muestreo de humedad de la materia prima

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.



Ilustración 23-3: Aplicación del Check List para la recepción de materia prima

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.



Ilustración 24-3: Aplicación del sistema de gestión de inventarios

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

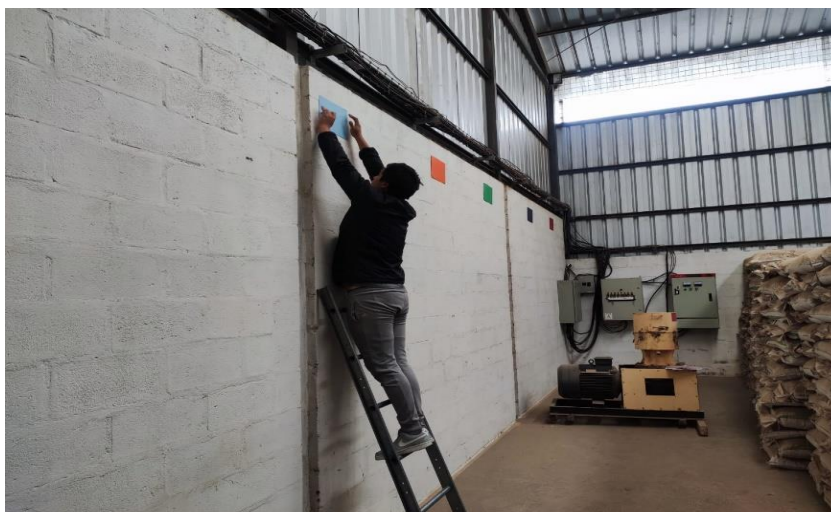


Ilustración 25-3: Asignación de espacios físicos en la bodega de almacenamiento de producto terminado

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Etapa de Control

4.1.1. Plan de muestreo

Al no existir una norma INEN para pellets se toma como referencia la norma NTE INEN 1 233:95, la cual regula el muestreo de granos y cereales, debido a la similitud de los productos, la norma provee una tabla en la cual se obtiene el número de muestras necesarias en función al tamaño del lote producido, al tener una producción constante de 433 sacos de 15 kg cada uno se pudo determinar que se debe tomar 21 muestras por lote, como se muestra en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Número de muestras

N*	n**	N*	n**	N*	n**
10	todo	1 601...1 681	41	4 901...5 041	71
11...100	10	1682...1 764	42	5 042...5 184	72
101...121	11	1765...1 819	43	5 185 ...5329	73
122...144	12	1 820...1 936	44	5 330...5 476	74
145...169	13	1937...2 025	45	5 477 ...5 625	75
170...195	14	2 026...2 116	46	5 626 ...5 776	76
196...225	15	2 117...2 209	47	5 777...5 929	77
226...256	16	2 210 ...2 304	48	5 930...6 084	78
257...289	17	2 305...2 401	49	6 085 ...6 241	79
290...324	18	2 402...2 500	50	6 242 ...6 400	80
325...361	19	2 501...2 601	51	6 401...6 561	81
362...400	20	2 602...2 704	52	6 562...6 724	82
401...441	21	2 705...2 809	53	6 725 ...6 889	83
442...484	22	2 810 ...2 916	54	6 890...7 056	84
485...529	23	2 917...3 025	55	7 057 ...7 225	85
530...576	24	3 026 ...3 136	56	7 226...7 396	86
577...625	25	3 137...3 249	57	7 397 ...7 569	87
626...676	26	3 250...3 364	58	7 570 ...7 744	88
677...729	27	3 365 ...3 481	59	7 745 ...7 921	89
730...784	28	3 482 ...3 600	60	7 922...8 100	90
785...841	29	3 601...3 721	61	8 101...8 281	91
842...900	30	3 722...3 844	62	8 282...8 464	92
901...961	31	3 845...3 969	63	8 465...8 649	93
962...1 024	32	3 970 ...4 096	64	8 650...8 836	94
1 025...1 089	33	4 097 ...4 225	65	8 837...9 025	95
1 090...1 156	34	4 226...4 356	66	9 026 ...9 216	96
1 157...1 225	35	4 357 ...4 489	67	9 217...9 409	97
1 226...1 296	36	4 490 ...4 624	68	9 410...9 604	98
1 297...1 369	37	4 625 ...4 761	69	9 605...9 801	99
1 370...1 444	38	4 762...4 900	70		
1 445...1 521	39				
1 522...1 600	40				

N Número de sacos del lote
n Número de muestras elementales
* Sacos de (n) kilogramos dependiendo del tipo de producto (grano o cereal).
** Aproximadamente de 70 a 1 000 gramos por muestra elemental.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Una vez determinado el número de muestras a tomar por lote, en este caso 21, se debe procurar que todas las muestras sean tomadas al azar, tratando de no concentrarlas en un solo punto del lote.

4.1.2. Toma de datos

Con la finalidad de efectuar un análisis a la aplicación de las mejoras planteadas se aplicó un muestreo en el mismo periodo de tiempo y a la misma cantidad de lotes, en este caso sería una semana y 5 respectivamente, de los cuales se pudo obtener los datos presentados en las tablas 2-4, 3-4, 4-4, 5-4 y 6-4.


Tabla 2-4: Resultado de muestreo lote 23/02/06-PE-CH

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 23/02/06
		N° de lote: 23/02/06-PE-CH
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
1	9,7	C
2	9,9	C
3	9,9	C
4	9,8	C
5	9,8	C
6	10,0	C
7	9,9	C
8	10,0	C
9	9,7	C
10	9,7	C
11	9,7	C
12	9,7	C
13	10,0	C
14	9,9	C
15	10,0	C
16	10,0	C
17	9,7	C

18	10,0	C
19	10,0	C
20	9,9	C
21	9,7	C
Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.


Tabla 3-4: Resultado de muestreo lote 23/02/07-PE-CH

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 23/02/07
		N° de lote: 23/02/07-PE-CH
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
1	9,8	C
2	9,7	C
3	9,8	C
4	9,9	C
5	9,6	C
6	9,9	C
7	10,1	NC
8	9,9	C
9	10,0	C
10	9,6	C
11	10,0	C
12	9,9	C
13	9,8	C
14	9,7	C
15	10,0	C
16	9,9	C
17	9,9	C
18	9,7	C
19	9,8	C
20	9,8	C

21	9,9	C
Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.


Tabla 4-4: Resultado de muestreo lote 23/02/08-PE-CH

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 23/02/08
		N° de lote: 23/02/08-PE-CH
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
1	9,9	C
2	9,7	C
3	10,0	C
4	10,0	C
5	9,8	C
6	9,8	C
7	9,8	C
8	9,8	C
9	9,9	C
10	10,0	C
11	9,6	C
12	9,8	C
13	9,9	C
14	10,0	C
15	10,0	C
16	10,0	C
17	9,6	C
18	9,6	C
19	10,0	C
20	9,8	C
21	10,0	C

Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.
---	--------------------------------------	-------------------------------------

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.


Tabla 5-4: Resultado de muestreo lote 23/02/09-PE-CH

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 23/02/09
		N° de lote: 23/02/09-PE-CH
N° de muestra	% de humedad	Página: 01/01
Criterio de calidad (cumple ©; no cumple (NC))		
1	9,8	C
2	9,7	C
3	9,9	C
4	10,0	C
5	10,1	NC
6	9,8	C
7	9,9	C
8	9,9	C
9	9,9	C
10	9,9	C
11	9,7	C
12	9,7	C
13	9,9	C
14	9,8	C
15	10,0	C
16	10,1	NC
17	9,8	C
18	9,8	C
19	10,0	C
20	10,0	C
21	9,8	C

Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.
---	--------------------------------------	-------------------------------------

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Tabla 6-4: Resultado de muestreo lote 23/02/10-PE-CH

	Medición de calidad	
	Registro de porcentaje de humedad del Pellet.	Fecha: 23/02/10
		N° de lote: 23/02/10-PE-CH
		Página: 01/01
N° de muestra	% de humedad	Criterio de calidad (cumple (C); no cumple (NC))
1	10,0	C
2	9,8	C
3	10,0	C
4	9,7	C
5	9,9	C
6	9,9	C
7	9,9	C
8	9,8	C
9	9,8	C
10	10,0	C
11	9,7	C
12	9,9	C
13	10,0	C
14	9,8	C
15	9,8	C
16	10,0	C
17	9,9	C
18	10,0	C
19	9,9	C
20	10,0	C
21	9,7	C

Responsable del muestreo: Juan Fernando Haro- Estaban Jordán.	Revisado por: Mgs. Andrés Gamboa.	Aprobado por: Ing. Ángel Guamán.
---	--------------------------------------	-------------------------------------

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.



Ilustración 1-4: Muestreo de humedad en la etapa de control

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.



Ilustración 2-4: Obtención de datos de humedad en la etapa de control

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

4.1.3. Análisis de resultados de las mejoras implementadas

4.1.3.1. Prueba de normalidad

Con la finalidad de poder analizar el comportamiento de los datos una vez aplicadas las mejoras planteadas en la etapa anterior (etapa de mejora), se realizó una prueba de normalidad a los resultados obtenidos, cabe recalcar que antes de aplicar dichas mejoras, los datos tenían una gran variación, razón por la cual no obedecían alguna distribución conocida, para determinar si los datos se modelan en una distribución normal se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov utilizando el software Minitab 19 en su versión de prueba con fines académicos, los resultados que arroja el estudio se muestran a continuación:

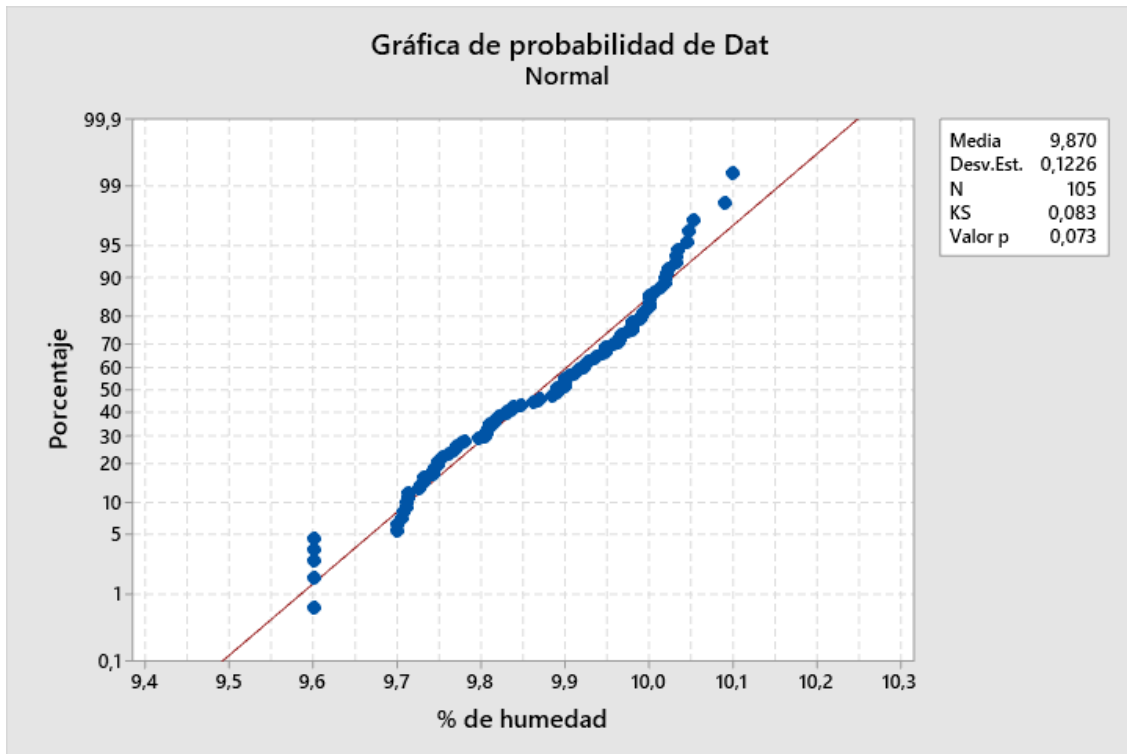


Ilustración 3-4: Gráfica de probabilidad de datos

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

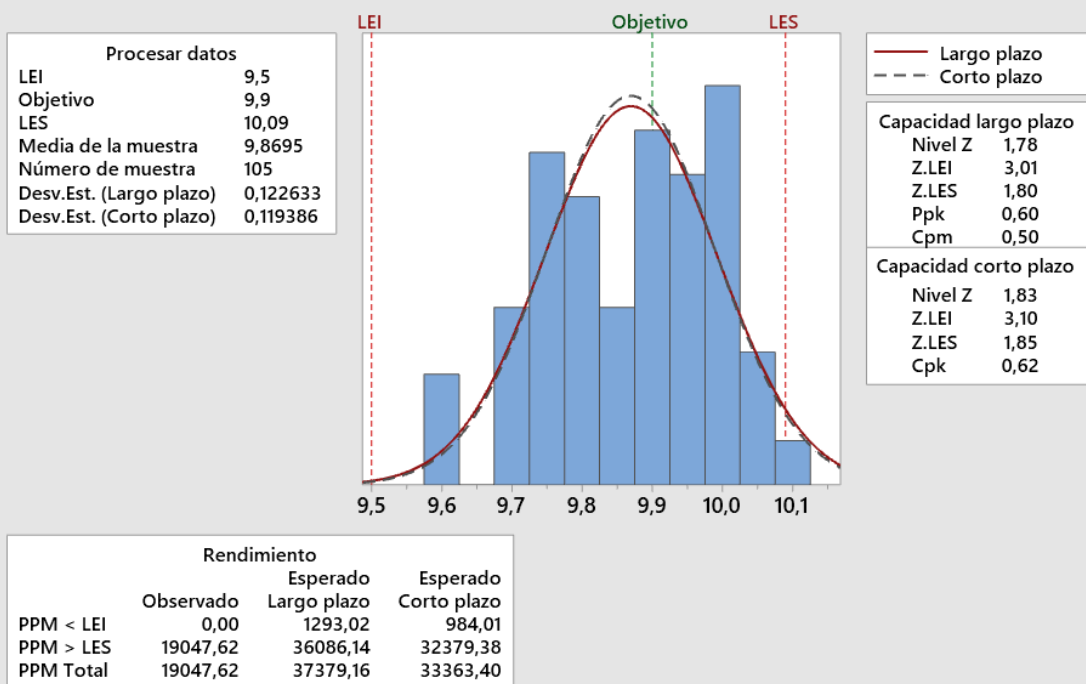
Como se puede observar en la ilustración 3-4, los datos se distribuyen siguiendo una forma de línea recta con pendiente positiva, mismos que arrojan una media de 9,87 (% porcentaje de humedad) y con una desviación estándar de 0,1226; gracias a estos resultados obtenidos y a que el valor p es mayor a 0,05 se pudo afirmar que los resultados obtenidos una vez aplicado el diseño experimental si cumplen con una distribución normal.

4.1.3.2. Análisis de Capacidad del proceso

Anteriormente en las primeras fases del estudio no se pudo evidenciar un nivel sigma inicial, esto se debe a que los datos obtenidos en la fase de medición no cumplían con una distribución normal, razón por la cual no se pudo obtener un análisis de capacidad.

Una vez comprobada la normalidad de los datos en el apartado anterior se pudo elaborar un análisis de capacidad utilizando el software Minitab 19 en su versión de prueba con fines netamente académicos, el estudio arrojó los resultados mostrados en la ilustración 4-4:

Informe de capacidad del proceso de Producción de Pellets



La dispersión real del proceso es representada por 6 sigma.

Ilustración 4-4: Análisis de la capacidad del proceso

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Después de haber efectuado el análisis de capacidad respectivo, se obtuvo un nivel sigma de 1,83 a corto plazo y de 1,78 a largo plazo, debido a que los valores de Ppk y Cpk son similares, se pudo determinar que el proceso se encuentra bajo control estadístico, en torno a los defectos por millón los resultados obtenidos son más que aceptables, ya que por cada millón de unidades producidas 37379,16 estarán fuera de los límites de especificación.

4.1.4. Interpretación de resultados

En función a los análisis y pruebas realizadas, se pudo comparar los resultados obtenidos en el estado de situación inicial con los resultados de la fase de control, debido a que los datos iniciales no se agruparon en torno a ninguna distribución, no se pudo determinar un análisis de capacidad inicial, pero si se pudo efectuar una carta de control tanto antes y después de haber aplicado las mejoras, donde se obtuvo que:

Antes de aplicar las mejoras

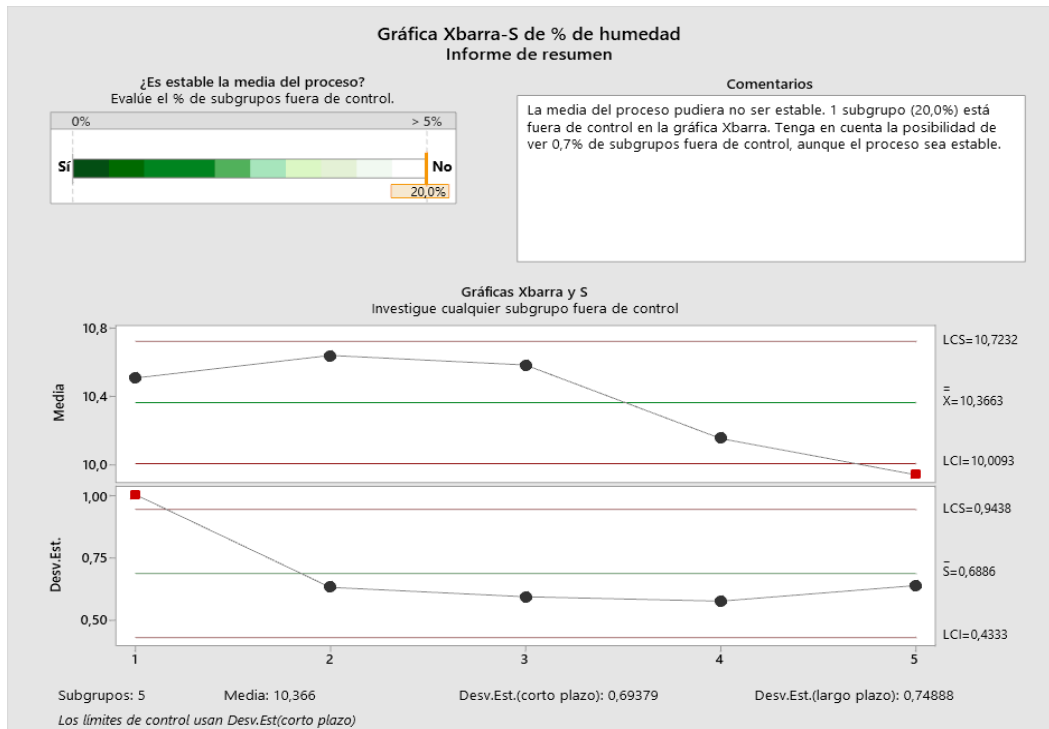


Ilustración 5-4: Gráfica Xbarra-S de porcentaje de humedad antes de las mejoras

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Después de aplicar las mejoras

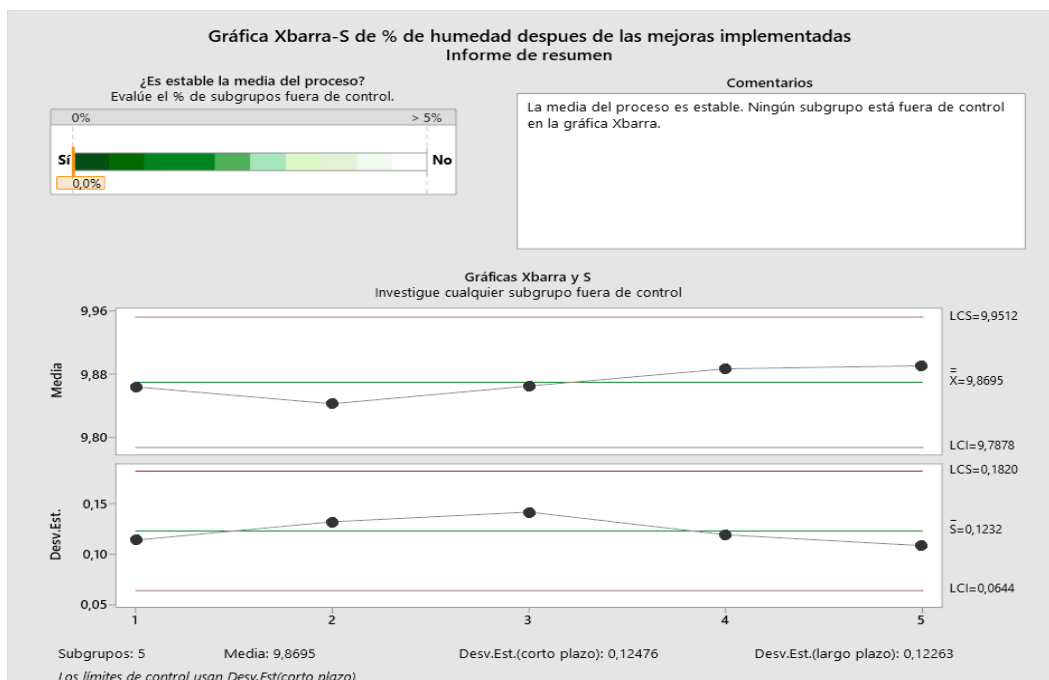


Ilustración 6-4: Gráfica Xbarra-S de porcentaje de humedad después de las mejoras

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

Como se puede evidenciar en la carta de control X- S del estado de situación inicial (Ilustración 5-4), la media que se presenta es de 10,36 lo que quiere decir que los datos que se obtuvieron de los lotes estudiados se encuentran alrededor de esta media, además de ello se encuentran muy dispersos entre sí, también se puede identificar que hay un grupo, en este caso el lote 5 que se encuentra fuera de control pero como se encuentra por debajo del límite inferior es decir que es menor a 10 % es el único que cumpliría con el estándar de calidad deseado, entorno a la humedad requerida; como se puede observar en la gráfica de la desviación, la misma se encuentra muy dispersa entorno a media de desviación y el primer lote en cuestión.

En cambio, con los resultados obtenidos en la gráfica de control X-S después de haber aplicado las mejoras (Ilustración 6-4) (diseño experimental, check list, gestión de inventarios), se puede observar que la media es distinta, es decir ahora todos los valores de los lotes estudiados giran en torno a la media de 9,86, lo que denota una mejora en el proceso además no se observa ningún valor atípico, es decir todos se encuentran dentro de los límites, hay que remarcar que el valor del límite superior no llega al 10% , lo que quiere decir que no se está superando este valor, por lo tanto se está cumpliendo con lo que se establece en la norma estadounidense.

4.1.5. Resumen de resultados

En la tabla 7-4 se recopila los cambios más sustanciales que se evidenciaron dentro de la empresa Gamboa Pellet posterior a la aplicación de la metodología Six sigma en la línea de producción de pellets a partir de residuos madereros.

Tabla 7-4: Principales cambios después de la implementación de la propuesta

Indicador.	Antes de la implementación de las propuestas.	Después de la implementación de las propuestas.
Comportamiento de los datos.	Los datos no se ajustaban a ningún tipo de distribución por lo tanto su análisis resultaba complejo.	Los datos se ajustaron a una distribución normal facilitando su estudio y análisis.
Nivel sigma.	Debido a que los datos no seguían una distribución no se pudo determinar un nivel sigma inicial.	1,83 a corto plazo y 1,78 a largo plazo.

PPM	Debido a que los datos no seguían una distribución no se pudo determinar un nivel sigma inicial.	37 379,16 defectos por cada millón de oportunidades.
PPK y CPK	Debido a que los datos no seguían una distribución no se pudo determinar un nivel sigma inicial.	PPK igual a 60 y un CPK igual a 62 al ser muy similares se puede garantizar que el proceso se encuentra bajo control.
Media de la humedad.	10,37 % (Fuera de normativa PFI USA)	9,87 % (Dentro de normativa PFI USA)
Desviación estándar de la humedad.	0,75	0,12
Trazabilidad del producto.	Inexistente.	Recopilación de información del producto mediante lotes codificados, desde la llegada de la materia prima hasta la salida de la bodega de producto terminado.
Tiempo de existencia en bodega.	Sin control.	Tiempo máximo de dos semanas por lote.
Método de almacenamiento.	Aleatorio.	Asignación de espacios físicos para cada lote en relación a su día de producción basado en el método FIFO.
Recepción de materia prima.	Poco control.	Controlado bajo un plan de muestro y con registro de una check list.
Parámetros de producción.	Definidos.	Ajustados al requerimiento de la norma por medio de un diseño experimental.

Realizado por: Haro, Juan; Jordán, Esteban, 2023.

CONCLUSIONES

- En la etapa de definición se logró identificar claramente los clientes tanto externos como internos del proceso, para posteriormente establecer las características claves de calidad denominadas CTQ's, en donde se pudo determinar que el indicador más importante del proceso es el % de humedad del pellet.
- Con la fase de medición se pudo estimar el estado de situación inicial por el cual atravesaba el proceso de producción de pellet a base de residuos madereros, comprobando que los productos se encontraban fuera de especificaciones, a más que sus datos no cumplían ninguna distribución lo cual denotaba la falta de control y estandarización del proceso, y por lo tanto incumpliendo la normativa PFI (USA,2011), además las herramientas utilizadas ayudaron a identificar los puntos claves del proceso.
- Una vez identificados los puntos clave identificados se pudo reducir el número de problemas sobre los cuales se actuó, tratando de optimizar los resultados y reducir las tareas de mejora planteadas, la aplicación de herramientas estadísticas como la regresión lineal se pudo comprobar la relación existente entre la humedad de la materia prima, la velocidad de la banda transportadora de materia prima, la velocidad del tambor secador y la velocidad de ingreso de material a la peletizadora con el factor crítico de calidad que en este caso es el % de humedad del pellet, sin embargo se determinó que existen otros factores como la recepción de materia prima y el almacenamiento del producto terminado que también modifican la humedad del pellet.
- Las tres mejoras establecidas tienen como propósito reducir el porcentaje de humedad del pellet, tales así que para estandarizar los parámetros de producción se elaboró un diseño experimental con el cual se calculó una tabla que será la encargada de establecer bajo que parámetros se deberá trabajar dependiendo del porcentaje de humedad de llegada de la materia prima, a más de eso se propuso un control de humedad de la materia prima con la finalidad de obtener valores confiables, para modificar dichos parámetros, por último la creación de un sistema de gestión de inventario en base a la metodología FIFO, asignando un espacio físico determinado para cada lote, buscando que el producto final se mantenga el menor tiempo posible en bodega y de esta forma no se altere la humedad del mismo.
- En la etapa de control se pudo demostrar que las mejoras planteadas cumplieron su objetivo de menorar el % de humedad del pellet a valores menores de 10 y hacer que los datos sigan una distribución normal, esto se pudo comprobar debido a que todos los indicadores comparados son mejores a los obtenidos antes de haber aplicado las mejoras, a más de estos indicadores se pudo plantear un sistema de muestreo para cada lote con la finalidad de que las mejoras implementadas se puedan controlar a lo largo del tiempo.

- En conclusión, la implementación de la metodología Six sigma resulto exitosa, ya que se pudieron cumplir los objetivos fijados en la carta del proyecto, a más que se pasó de no tener un nivel sigma a tener un nivel sigma de casi 2 lo que representa grandes beneficios para la empresa y un aumento de calidad importante dentro de la línea de producción.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las mejoras planteadas sean conservadas a través del tiempo y se la verifique constantemente con la finalidad de mantener los resultados de calidad alcanzados en el proyecto.
- Se debe capacitar al personal de manera consistente sobre el adecuado manejo de la documentación implementada, con la finalidad de que los datos que se obtengan sean confiables.
- Es de gran importancia que la documentación planteada sea llevada tanto de manera física como digital con la finalidad de evitar pérdidas de información y a la vez poder tener una mejor gestión de datos.
- Se debe realizar un plan de contingencia para el caso particular de que la materia prima no cumpla con las especificaciones deseadas y se la tenga que rechazar.
- Para los muestreos tanto de materia prima como de producto terminado se deben seguir los pasos planteados al pie de la letra ya que una mala aplicación de los mismos podría generar resultados con poco nivel de confianza.
- Evitar que, en la bodega de almacenamiento de producto terminado, los sacos tengan contacto directo con el suelo, ya que esto podría generar un aumento sustancial en el porcentaje de humedad además de causar daños en la integridad del producto.

BIBLIOGRAFÍA

ADEGUA. [En línea]. 2019. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://adegua.wordpress.com/2019/09/02/aprovechamiento-energetico-de-la-biomasa-del-olivar-fabricacion-de-pellets/>

AGUDELO, A.; & VIANA, D. Aplicación de metodología Six Sigma en la realización de una propuesta de mejoramiento en el área de armado de tanques de la empresa Magnetrón S.A.S [En línea]. (Trabajo de Integración Curricular) (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Pereira, Pereira. 2019. pp. 1-106. [Consulta. 21 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/5496/1/DDMIIND119.pdf>

AITECO. *Diagrama de Pareto – Herramientas de la Calidad* [En línea]. 2020. [Consulta. 21 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.aiteco.com/diagrama-de-pareto/>

ÁLVAREZ, L. Diseño de una planta productora de pellets de madera a partir del aprovechamiento de residuos forestales de un aserrío ubicado en la ciudad de Bogotá [En línea]. (Trabajo de Integración Curricular) (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Especialización en Gestión de Proyectos de Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2019. pp. 1-131. [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/16276/Casta%F1edaMoralesYeraldine2019.pdf?sequence=1>

ARANABAT, I. Pellets como biocombustible ¿qué son y para qué se utilizan? [En línea]. *Calor y frío*. 2020. [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/biocombustibles-pellets.html>

ARPI, J.; & CALDERÓN, C. Diseño de una maquina pelletizadora en base a la disponibilidad de residuos madereros de la ciudad de cuenca para su aprovechamiento energético. (Trabajo de Integración Curricular) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingenierías. Cuenca-Ecuador. 2015, p.76.

ARRACKING. Método FIFO Gestión Almacén: Qué es y cuando se utiliza [En línea]. 2019. [Consulta: 7 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.ar-racking.com/es/actualidad/blog-soluciones-almacenaje/soluciones-de-almacenaje/metodo-fifo-gestion-almacen-que-es-y-cuando-se-utiliza>

AZAIGA, R.; & ARRAGA, A. Diseño e implementación de Six sigma para la mejora del proceso de secado la empresa secado y tratado de madera CIA. LTDA [En línea]. (Trabajo de Integración Curricular) (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil - Ecuador. 2021. pp.1-89. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22731/1/UPS-GT003777.pdf>

BINAS. *Fabricación de pellets de biomasa* [En línea]. Banco de Ideas de Negocios Ambientales Sostenibles. 2019. p.5. [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: https://www.tenerife.es/portalcabtfe/images/PDF/temas/medio_ambiente/Fabricacindepelletsdebiomasa.pdf

BOHIGUES, A. Desarrollo e implementación de un Modelo Seis Sigma para la mejora de la Calidad y de la productividad en Pymes industriales [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Madrid. 2018. pp.1-92. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56192/BOHIGUES%20-%20Desarrollo%20e%20implementaci%F3n%20de%20un%20modelo%20seis%20sigma%20para%20la%20mejora%20de%20la%20calidad%20y%20de%20...pdf?sequence=4>

CAIZA, L. Fabricación de pellets [En línea]. *Energías renovables*. 2019. [Consulta. 13 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/fabricacion-pellets/>

DIAGRAMA WEB. Simbología OTIDA. [En línea]. 2020. [Consulta: 20 noviembre 2022]. Disponible en : <https://diagramaweb.com/otida/>

DURÁN, F. *Herramientas de análisis de proceso* [En línea]. 2022. [Consulta. 21 octubre 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/73884946-Herramientas-de-analisis-de-proceso-diagramas-de-causa-y-efecto-diagramas-de-pareto-ing-francisco-duran.html>

FERNÁNDEZ, H.; et al. “Desarrollo de pellets a partir de tres especies leñosas bajo condiciones mediterráneas”. *Madera y Bosque* [En línea]. 2016, 20(3). p.4. [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v20n3/v20n3a9.pdf>

FERNÁNDEZ, S. *Diseño de experimentos: Diseño Factorial*. Primera edición. España: Universidad Politécnica de Cataluña. 2020.

GALLARDO, C. Informe de Habilitación Profesional presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniera Civil Química [En línea]. (Trabajo de Integración Curricular)

(Tesis de pregrado). Universidad de Bío-Bío. Concepción. 2021.pp. 1-86. [Consulta. 21 octubre 2022]. Disponible en: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3746/1/Gallardo_Figueroa_Carolina.pdf

GONZÁLEZ, C. Implementación de un sistema de control estadístico de calidad de un producto terminado en el proceso de producción de telas de punto [En línea]. (Trabajo de Integración Curricular) (Tesis de pregrado). Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad De Ciencias De La Ingeniería E Industrias. Quito-Ecuador. 2018. pp. 3-12). [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/18522/1/70811_1.pdf

ICIDEMÉXICO. *Six Sigma ¿Qué es y cuáles son sus beneficios en una organización? Sigma* [En línea]. 2022. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://icidemexico.com/six-sigma-que-es-y-cuales-son-sus-beneficios-en-una-organizacion/>

INEN 251 1977-02. *Muestro.*

INEN 1233: 95. *GRANOS Y CEREALES. MUESTREO.*

ISO 13053-1. *Métodos cuantitativos en la mejora de procesos. Seis sigmas. Parte 1: metodología DMAIC.*

ISO 13053-2. *Métodos cuantitativos en la mejora de procesos. Seis sigmas. Parte 2: herramientas y técnicas.*

JIMÉNEZ, K. Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para el desarrollo de un plan de mejora para la gestion de proceso en una pyme del sector metalmecánico [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma de ICA, Facultad De Ingeniería, Ciencias y Administración. Chicha. 2021. pp. 1-194. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.autonomadeica.edu.pe/bitstream/autonomadeica/1430/1/Kevin%20Joseph%20Jimenez%20Clemente.pdf>

LA HORA. Baneños producen biocombustible con residuos de madera [En línea]. 2022. [Consulta. 13 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.lahora.com.ec/tungurahua/banenos-producen-biocombustible-residuos-madera/>

LUCIDCHART. *Limitaciones del método Six Sigma y cómo solventarlas* [En línea]. 2019. [Consulta. 21 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.lucidchart.com/blog/es/pasos-six->

MALLQUI, L. Aplicación de la metodología Six Sigma para reducir la merma de Scrap en el proceso de fabricación de sacos de polipropileno [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial. Lima-Perú. 2018. pp. 3-29. [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10115/Mallqui_cl.pdf?sequence=3&isAllowed=y

MARTINEZ, E.; et al. Diseño e implementación de una metodología para la mejora de procesos en la fábrica de muebles H&M LTDA. Basada en la filosofía de calidad seis sigmas [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad de la Costa, CUC, Facultad de Ingeniería Industrial. Barranquilla-Colombia. 2012. pp. 1-199. [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/476/72258073-72192578-1140820978.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

MORENO, A. Cómo se fabrican los pellets [En línea]. *Forestal maderero*. 2019. [Consulta. 13 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.forestalmaderero.com/articulos/item/como-se-fabrican-los-pellets.html>

OCHOA, J. *Beneficios tangibles de la metodología Six Sigma* [En línea]. 2022. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://escueladeempresas.usfq.edu.ec/news/beneficios-tangibles-six-sigma/>

PARDO, A. *Mapas de procesos* [En línea]. 2019. [Consulta. 21 octubre 2022]. Disponible en: <https://aprendiendocalidadyadr.com/mapeo-de-procesos-iso-90012015/>

PEREIRA, M.; et al. “Using Six Sigma to analyse Customer Satisfaction at the product design and development stage”. *ScienceDirect*. Vol.29, n°1 (2019). pp. 38-42.

PÉREZ, J.; et al. “Lean Six sigma e industria 4.0, una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones”. *Revista Científica Multidisciplinaria* [En línea]. 2021, 5(4), pp. 151-168. [Consulta. 18 octubre 2022]. ISSN 2602-8166.]. Disponible en: <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/584/370>

PINILLA, J.; et al. *El pellet de madera en Chile su producción su uso y su mercado* [En línea]. Chile: Instituto Forestal. 2020. [Consulta. 13 octubre 2022]. Disponible en:

<https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/30473/30473.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PROGRESA. *Análisis modal de fallos y efectos* [En línea]. 2020. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.progressalean.com/amfe-analisis-modal-fallos-efectos/>

RODRIGUÉZ, J. DICCIONARIO LEAN 6-Sigma: CONCEPTOS BÁSICOS. *CGISA* [En línea]. 2019. [Consulta: 20 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.cgisa.es/diccionario-lean-6-sigma-conceptos-basicos-entrega-1-de-4/>

ROJO, J. *Regresión Lineal Simple*. Primera edición. España: Instituto de Economía y Geografía. 2017.

SALAZAR, B. *¿Qué es Six sigma?* [En línea]. 2019. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/que-es-six-sigma/#:~:text=Six%20sigma%20o%20seis%20sigma,la%20variación%20en%20los%20procesos.>

SÁNCHEZ, M. Planta de producción de pellets [En línea]. (Trabajo de Integración Curricular) (Tesis de pregrado). Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Sevilla. 2018. pp. 1-91. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/91415/fichero/merged%281%29.pdf>

SANTAMARÍA, V. Implementación de Seis Sigma en la línea de producción de queso mozzarella en la Compañía Del Campo Ltda. [En línea]. (Trabajo de Integración Curricular) (Tesis de pregrado). Universidad Zamorano, Facultad de Agroindustria. Honduras. 2015. pp. 5-48. [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/502c2ab6-17f9-4bbd-8163-f61e1058227e/content>


VARGAS, A. Estudio de la producción de pellets a partir de borra de café [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá -Colombia. 2018. pp.1-119. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/68833/Tesis%20de%20maestría.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VILLACIS, S. Ensamble eficiente de Vehículos Aéreos no Tripulados: Implementación de Lean Manufacturing en el proceso de ensamble de drones [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito. Quito -Ecuador. 2020. pp.1-32. [Consulta. 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.usfq.edu.ec/jspui/bitstream/23000/9203/1/130444.pdf>


ZAPATA, A. Investigación del efecto de los parámetros de elaboración de pellets de cuesco de palma en el proceso de pirolisis [En línea]. (Trabajo de Titulación) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá -Colombia. 2016. pp.1-119. [Consulta. 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/58926/72292695.2016.pdf?sequence=1>

ANEXOS

ANEXO A: APLICACIÓN DE CHECK LIST

LISTA DE CHEQUEO : CONTROL DE MATERIA PRIMA																										
Inspector: Juan F. Muro																										
Fecha: 2023-02-06																										
Lugar de procedencia: Riokamba - Chimborazo																										
Tipo de materia prima: Pino - Eucalipto																										
Lote: 27/02/06 - PE - CH																										
1. Cantidad de materia prima		SI NO																								
a. El lote cumple la cantidad estimada de 5 Toneladas.		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																								
Número de muestras:																										
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input checked="" type="checkbox"/> 7 <input type="checkbox"/> >7 <input type="checkbox"/>																										
Registro de humedad																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Número de muestra</th> <th>% de humedad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>24,6</td></tr> <tr><td>2</td><td>25</td></tr> <tr><td>3</td><td>24,7</td></tr> <tr><td>4</td><td>25,1</td></tr> <tr><td>5</td><td>24,8</td></tr> <tr><td>6</td><td>24,9</td></tr> <tr><td>7</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td></tr> <tr><td>Promedio</td><td>24,9</td></tr> </tbody> </table>		Número de muestra	% de humedad	1	24,6	2	25	3	24,7	4	25,1	5	24,8	6	24,9	7		8		9		10		Promedio	24,9	SI NO
Número de muestra	% de humedad																									
1	24,6																									
2	25																									
3	24,7																									
4	25,1																									
5	24,8																									
6	24,9																									
7																										
8																										
9																										
10																										
Promedio	24,9																									
2. Porcentaje de humedad.																										
a. El promedio de las muestras se encuentran en un rango de 19% - 40% de humedad.		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																								
b. La diferencia entre el porcentaje de las muestras es muy alta.		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																								
3. Tipo de materia prima.																										
a. La materia prima proviene de madera de pino o eucalipto.		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																								
4. Presentación de la materia prima.																										
a. La materia prima viene en forma de aserrín.		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																								
b. La materia prima viene en forma de viruta.		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>																								
c. La materia prima viene en otro tipo de presentación.		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>																								
Observaciones																										
Se debe trabajar con 8. de banda transportadora: Velocidad de andar: 46 Unidad de ingreso por...																										
	30,72	20,90																								
		12,72																								
Revisado por:																										
Andrés Gamboa																										

ANEXO B: MÉTODO DE CONTROL DE INVENTARIOS FIFO

HOJA DE CONTROL Y REGISTRO DE INVENTARIO DE BODEGA DE PRODUCTO TERMINADO																																																																																																						
																																																																																																						
Responsable: <u>Andrés Gamboa</u>																																																																																																						
Fecha: <u>2023 - 02 - 10</u>																																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Código</th> <th style="width: 35%;">Lote</th> <th style="width: 20%;">Fecha de ingreso</th> <th style="width: 30%;">Fecha de salida</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rojo-01</td> <td><u>27/02/06 - PE - CH</u></td> <td><u>27 - 02 - 06</u></td> <td><u>27 - 02 - 08</u></td> </tr> <tr> <td>Azul-01</td> <td><u>27/02/07 - PE - CH</u></td> <td><u>27 - 02 - 07</u></td> <td><u>27 - 02 - 09</u></td> </tr> <tr> <td>Verde-01</td> <td><u>27/02/08 - PE - CH</u></td> <td><u>27 - 02 - 08</u></td> <td><u>27 - 02 - 10</u></td> </tr> <tr> <td>Naranja -01</td> <td><u>27/02/09 - PE - CH</u></td> <td><u>27 - 02 - 09</u></td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Celeste - 01</td> <td><u>27/02/10 - PE - CH</u></td> <td><u>27 - 02 - 10</u></td> <td style="text-align: center;">-</td> </tr> <tr> <td>Rojo-02</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Azul-02</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Verde-02</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Naranja -02</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Celeste - 02</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Día</th> <th style="width: 15%;">Semana</th> <th style="width: 15%;">Número</th> <th style="width: 15%;">Color</th> <th style="width: 40%;">Código</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Lunes</td> <td>01</td> <td>01</td> <td style="background-color: #f08080;"></td> <td>Rojo-01</td> </tr> <tr> <td>Martes</td> <td>01</td> <td>01</td> <td style="background-color: #6495ed;"></td> <td>Azul-01</td> </tr> <tr> <td>Miércoles</td> <td>01</td> <td>01</td> <td style="background-color: #90ee90;"></td> <td>Verde-01</td> </tr> <tr> <td>Jueves</td> <td>01</td> <td>01</td> <td style="background-color: #ffd700;"></td> <td>Naranja-01</td> </tr> <tr> <td>Viernes</td> <td>01</td> <td>01</td> <td style="background-color: #add8e6;"></td> <td>Celeste-01</td> </tr> <tr> <td>Lunes</td> <td>02</td> <td>02</td> <td style="background-color: #f08080;"></td> <td>Rojo-02</td> </tr> <tr> <td>Martes</td> <td>02</td> <td>02</td> <td style="background-color: #6495ed;"></td> <td>Azul-02</td> </tr> <tr> <td>Miércoles</td> <td>02</td> <td>02</td> <td style="background-color: #90ee90;"></td> <td>Verde-02</td> </tr> <tr> <td>Jueves</td> <td>02</td> <td>02</td> <td style="background-color: #ffd700;"></td> <td>Naranja-02</td> </tr> <tr> <td>Viernes</td> <td>02</td> <td>02</td> <td style="background-color: #add8e6;"></td> <td>Celeste-02</td> </tr> </tbody> </table>				Código	Lote	Fecha de ingreso	Fecha de salida	Rojo-01	<u>27/02/06 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 06</u>	<u>27 - 02 - 08</u>	Azul-01	<u>27/02/07 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 07</u>	<u>27 - 02 - 09</u>	Verde-01	<u>27/02/08 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 08</u>	<u>27 - 02 - 10</u>	Naranja -01	<u>27/02/09 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 09</u>	-	Celeste - 01	<u>27/02/10 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 10</u>	-	Rojo-02				Azul-02				Verde-02				Naranja -02				Celeste - 02				Día	Semana	Número	Color	Código	Lunes	01	01		Rojo-01	Martes	01	01		Azul-01	Miércoles	01	01		Verde-01	Jueves	01	01		Naranja-01	Viernes	01	01		Celeste-01	Lunes	02	02		Rojo-02	Martes	02	02		Azul-02	Miércoles	02	02		Verde-02	Jueves	02	02		Naranja-02	Viernes	02	02		Celeste-02
Código	Lote	Fecha de ingreso	Fecha de salida																																																																																																			
Rojo-01	<u>27/02/06 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 06</u>	<u>27 - 02 - 08</u>																																																																																																			
Azul-01	<u>27/02/07 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 07</u>	<u>27 - 02 - 09</u>																																																																																																			
Verde-01	<u>27/02/08 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 08</u>	<u>27 - 02 - 10</u>																																																																																																			
Naranja -01	<u>27/02/09 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 09</u>	-																																																																																																			
Celeste - 01	<u>27/02/10 - PE - CH</u>	<u>27 - 02 - 10</u>	-																																																																																																			
Rojo-02																																																																																																						
Azul-02																																																																																																						
Verde-02																																																																																																						
Naranja -02																																																																																																						
Celeste - 02																																																																																																						
Día	Semana	Número	Color	Código																																																																																																		
Lunes	01	01		Rojo-01																																																																																																		
Martes	01	01		Azul-01																																																																																																		
Miércoles	01	01		Verde-01																																																																																																		
Jueves	01	01		Naranja-01																																																																																																		
Viernes	01	01		Celeste-01																																																																																																		
Lunes	02	02		Rojo-02																																																																																																		
Martes	02	02		Azul-02																																																																																																		
Miércoles	02	02		Verde-02																																																																																																		
Jueves	02	02		Naranja-02																																																																																																		
Viernes	02	02		Celeste-02																																																																																																		
Observaciones																																																																																																						
<p>Debido a que el control se lo efectuó el viernes 10, los lotes Naranja 01 - Celeste 01, permanecerán en Bodega hasta el día lunes 13.</p>																																																																																																						
Revisado por:																																																																																																						
<u>Andrés Gamboa</u>																																																																																																						

ANEXO C: INFORME PRELIMINAR DE PROPIEDADES DEL PELLETS DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS ÁREA DE PETRÓLEOS

Informe N°: 22-188.1
Fecha de emisión: 2022-08-26

Cliente:	GAMBOA BERMEO JORGE ANDRES – GAMBOA PELLETS
Contacto:	Ing. Jorge Gamboa
Dirección:	Baños de Agua Santa, Sector Juive
Teléfono:	0998790745 Correo-e: paubm98@gmail.com
Tipo de muestra:	PELLETS
Descripción de la muestra:	PELLETS GP2231 19/08/2022
Condición de la Muestra:	Muestra en funda plástica, sellada
Fecha de ingreso de muestra:	2022-08-23
Código de la muestra:	22-188.1
Fecha de realización de ensayos:	2022-08-23 a 2022-08-26
Lugar donde se realizaron los ensayos:	Laboratorio DPEC – Área de Petróleos y Área de Investigación

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO / TÉCNICA	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (n=1)
PODER CALÓRICO BRUTO*	MJ/kg	PNE/DPEC/PYNEO: REF. ASTM D-240 (calorimetría)	17,7967	-
PODER CALÓRICO NETO*	MJ/kg	MÉTODO INTERNO Ref. ASTM D-240 (calorímetro)	16,3597	-
CENIZAS*	%	ASTM D-482 (gravimetría)	1,023	-
HUMEDAD*	%	INFRARROJO (termogravimetría)	11,67	-
ANÁLISIS ELEMENTAL*				
Carbono*	% P	DUMAS (combustión)	48,39	-
Nitrógeno*			0,06	-
Hidrógeno*			6,73	-
Azufre*			0,95	-

Nota: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE.
Nota: Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC.
Nota: Los resultados se aplican a la muestra, tal y como se recibió

Observaciones: Ensayos realizados luego de la trituración de la muestra.

Condiciones Ambientales. - Presión: 543,9 a 546,2 mm Hg. Temperatura: 17,9 a 19,2 °C

* Información proporcionada por el cliente, el Laboratorio DPEC no se responsabiliza por esta información
* La observación corresponde a adiciones, desviaciones, exclusiones del método.

Análisis: DR/A/RO
Elaborado por: WIT

Revisado por:

Ing. Richard Herrera V.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE DE CALIDAD

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL DEL INFORME COMPLETO O SOLICITAR UNA COPIA CONTROLADA DEL MISMO.
EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE INFORME

ANEXO D: FICHA TÉCNICA DE LOS PELLETS



FICHA TÉCNICA: PELLETS DE MADERA



IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Pellet de madera con certificado de calidad de UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA, Departamento de petróleoos, Energía y Contaminación. (Nº IDENTIFICACIÓN: 22-188-13) y

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS MEDIAS

- ❖ PCI: 17,9 MJ/kg
- ❖ Humedad: 11.67 %
- ❖ Cenizas: 1,02 %
- ❖ Diámetro: 6 mm
- ❖ Largo: $3,15 \leq L \leq 40$ mm
- ❖ Finos (< 3,15 mm) : < 0,2 %
- ❖ Durabilidad mecánica: 98,6 %
- ❖ Densidad: 660 kg/m³
- ❖ Materia prima: 80% Pino (Pinus Pinaster y Pino Radiata), 20 % Frondosas (betula alba, populus sp. , etc.) libre de contaminantes, químicos y corteza.



FORMATO DE ENTREGA

- ❖ A granel
- ❖ Maxibags
- ❖ Bolsas de 15 kg
- ❖ Palet de 70 ó 42 bolsas de 15 kg (dimensiones paleta: 1,20 m x 1,00 m)

ALMACENAMIENTO

- ❖ Producto higroscópico, evitar contacto con el agua y ambientes muy húmedos
- ❖ No mezclar con otras sustancias
- ❖ Mantener por debajo de 40 °C

INFLAMABILIDAD

- ❖ Producto estable

APLICACIONES

- ❖ Estufas y calderas para calefacción domiciliaria
- ❖ Calderas de agua caliente
- ❖ Calderas a Vapor
- ❖ Procesos industriales (hornos de secado de frutas, cocción de arcillas, industria panificadora, depuración de aguas, etc.)

ADVERTENCIAS

- ❖ Evitar el contacto con el agua
- ❖ Utilizar exclusivamente en calderas y estufas adecuadas para este tipo de combustible



ANEXO E: EQUIPO DE LA EMPRESA TAMBOR SECAR Y BANDA DE ALIMENTACIÓN



ANEXO F: TAMBOR SECADOR



ANEXO G: VARIADORES DE VELOCIDAD

