

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CONTROL  
ESTADÍSTICO PARA REDUCIR Y ESTABILIZAR LA  
VARIABILIDAD EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD EXIGIDO  
POR LA NORMA COVENIN 283:1994 EN EL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS SECAS**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Blanco T., Daniela V.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2011

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CONTROL ESTADÍSTICO PARA REDUCIR Y ESTABILIZAR LA VARIABILIDAD EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD EXIGIDO POR LA NORMA COVENIN 283:1994 EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS SECAS**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Andrés Rosales

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Yime Moreno

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Blanco T., Daniela V.  
Para optar al Título  
de Ingeniero Químico

Caracas, 2011

Caracas, mayo, 2011

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller **Daniela Vanessa Blanco Torrealba**, titulado:

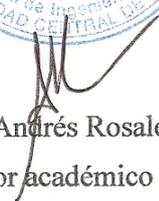
**“Aplicación de herramientas de control estadístico para reducir y estabilizar la variabilidad en el contenido de humedad exigido por la norma COVENIN 283:1994 en el proceso de fabricación de pastas alimenticias secas”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por la autora, lo declaran APROBADO.

  
Prof. Armando Vizcaya  
Jurado



  
Prof. Leonardo Oropeza  
Jurado

  
Prof. Andrés Rosales  
Tutor académico

*En honor a:*

*La mujer más luchadora que conozco, mi madre, Mirla Torrealba*

*El hombre que forjó mi carácter, mi padre, Daniel Blanco*

*Mi segundo padre y mano derecha, mi hermano, Víctor Blanco.*

*Mi segunda madre y mejor amiga, mi tía, Zulay Torrealba*

*A mi adorado tormento, y a mi pedacito de cielo, Valeria y Vicmary Blanco.*

*Esto es por ustedes*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la ilustre Universidad central de Venezuela, la casa que vence la sombra, ha sido un honor pertenecer a su gran familia, la familia UCVista.

Al Sr. Yime Moreno y a la empresa Molinos Nacionales C.A., por la oportunidad de poder llevar a cabo este trabajo especial de grado. A ti Yime, por tu compromiso y disposición incondicional, a los buenos regaños, que colaboraron a mi formación como profesional, para mí fue un inmenso placer conocerlo.

Al profesor Andrés Rosales, por su invaluable colaboración, paciencia y disposición.

A mis compañeros en MONACA, Andreína Meléndez, Eliecer Alejos, Desiree Molina, Marjorie Ramírez, Alberto Briceño, a los señores, Depablos, y Roque, y a todo aquel que brindó su ayuda y aportó su grano de arena, en especial a mi compañero y amigo, y quien después de Yime Moreno, es considerado mi segundo tutor industrial, Rafael Vega.

“*Al papá de los helados*”, Prof. Luis García, “*a mi viejito*” Prof. Humberto Kum, al Prof. Armando Vizcaya, por su incondicional ayuda y consejos, al Prof. Freddy Pérez, que más que física II me enseñó a pensar como ingeniero, siendo éste el mejor aprendizaje adquirido. A ustedes, porque dejaron una huella imborrable, por su capacidad de enseñar, se les respeta y admirará siempre.

A mi amiga, tutora de diseño, profesora del laboratorio del “*psico-terror*”, asesora de pasantía de investigación y por poquito tutora de tesis, a ti, Adriana García, mil gracias, por tu incondicionalidad, y por tu amistad. Aprovecho la oportunidad de agradecer a Andru Moya, por sus buenos consejos.

A Leonardo Oropeza, por tu cariño, y por ser tan especial con esta amiga tuya, que te aprecia mucho.

Al Prof. Alí Lara “*que conocí hace unos dos años atrás, no al que me dio termodinámica del equilibrio*”, quien lo diría vale, que después de tanto, ocuparías un lugar en este sincero agradecimiento que hoy te hago. A pesar de todo siempre te respeté por ser tan bueno en lo que haces, hoy por hoy, te agradezco tu oportuna disposición y ayuda para que culminar exitosamente este trabajo especial de grado. Me atrevo a escribir que unos años, serás el Luis García “*El papá de los helados*”, de la escuela de Ingeniería Química, lo recordarás.

A mis compañeros de clase, quienes no tuvieron participación en la realización de este trabajo especial de grado, pero que estuvieron allí, en las buenas en las malas, a lo largo de toda mi carrera, a Mayerling González, Saúl Ospino, Betty Gómez, José Gregorio, Álvaro Gil, Miguel Ardila, Diana Hidalgo, Kharlys Gragirena, Oswellin Guedez, Nataly Bernal, Bárbara Galindo y mucho más, que por razones de espacio no puedo nombrar.

A mis amigas, Jorgina Martínez, Verónica Russián, “*mi compañera*”, y Luisa Yánez, gracias chiquillas por su buena amistad, y por su incondicionalidad. Luisita, llegaste en el momento justo, y doy gracias a Dios por ello.

A Yaquelin Sarmiento, “*mi compañera de cuarto*”, gracias por haber hecho más fácil mi estadía en Caracas, por aliviar la carga que significó para mi, alejarme de mi familia, durante cuatro años, mis mejores cuatro años, fuiste un apoyo fundamental, Gracias mami por ello.

A Alba Román, *amiga*, ¿Cómo te agradezco todo lo que has hecho por mí en tres líneas?, parece imposible no?, bueno he aquí un resumen, Te quiero inmensamente, gracias por ser el hombro que me apoya en las buenas y malas de mi carrera y de mi vida personal, ah, y gracias también por la estadía, las veces que por cuestiones de esta tesis tuve que quedarme en Caracas.

A ti, Antonio Tovar, ¡Cómo no nombrarte!, mil gracias a ti, este triunfo también es tuyo, disfrútalo.

**Blanco T., Daniela V.**

**APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CONTROL  
ESTADÍSTICO PARA REDUCIR Y ESTABILIZAR LA  
VARIABILIDAD EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD EXIGIDO  
POR LA NORMA COVENIN 283:1994 EN EL PROCESO DE  
FABRICACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS SECAS**

**Tutor Académico: Prof. Andrés Rosales. Tutor Industrial: Ing. Yime Moreno.  
Trabajo Especial de Grado. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de  
Ingeniería Química. Año 2011, N° pág. (143).**

**Palabras Claves:** Control estadístico de procesos, pastas alimenticias, contenido de humedad, Norma Covenin 283:1994

**Resumen.** La calidad de los productos, es uno de los factores más importantes en las empresas. Por consiguiente, mejorar la calidad es un factor clave para las mismas. El control estadístico de procesos prosigue esa dirección; su objetivo es la reducción sistemática de la variabilidad en las características claves del producto. Es por ello que este trabajo aplicó herramientas de control estadístico, con la finalidad estabilizar la variabilidad del contenido de humedad exigido en el proceso de fabricación de pastas alimenticias. Para aplicar las herramientas estadísticas, se realizó un muestreo. Éste consistió en tomar 5 muestras de pastas cada cierto tiempo (subgrupos), por 25 veces hasta alcanzar un total de 125 unidades, para construir las gráficas de control y los diagramas de frecuencia pertinentes. Inicialmente todas las líneas se encontraron fuera de control con altos porcentajes de productos fuera de especificación, por lo tanto fue necesario identificar las causas que generaban tales variaciones, que fueron plasmadas en un diagrama causa efecto. Seguidamente, se confirmaron las causas que afectaban al problema, y se organizaron en un diagrama de Pareto. Posteriormente se implementaron las acciones correctivas necesarias. Al final del estudio, el comportamiento de las cuatro líneas de producción, mostraron síntomas de control estadístico por carecer de puntos fuera de los límites de control. Sin embargo, el proceso no fue capaz de cumplir con las especificaciones de diseño fijadas. Para lograr la continuidad de esta situación, se recomendó elaborar un plan de mantenimiento preventivo, realizar un segundo estudio estadístico, ajustando los límites de especificación, y además se debe capacitar al personal. De este estudio se puede concluir que la implementación del sistema de control estadístico de procesos, en las líneas de pastas alimenticias secas, permitió disminuir la variabilidad y las desviaciones del contenido de humedad.

**TABLA DE CONTENIDOS**

Lista de figuras.....	xiii
Lista de tablas.....	xvii
Lista de abreviaturas .....	xix
Introducción .....	1
Capítulo I. Fundamentos de la investigación .....	3
Planteamiento del Problema.....	3
Descripción de antecedentes .....	5
Objetivos .....	11
Objetivo General.....	11
Objetivos Específicos:.....	11
Capítulo II. Marco teórico.....	12
Secado .....	12
La humedad.....	13
Humedad Ligada .....	13
Humedad no Ligada .....	13
Psicrometría .....	13
Pastas alimenticias .....	14
Proceso de elaboración de pastas alimenticias secas .....	14
Humedad y granulometría de la sémola.....	18
Humedad del empaste .....	18
Características de los moldes .....	19
Condiciones de secado .....	19

Análisis comparativo entre las tecnologías existentes para la fabricación de pastas alimenticias y la tecnología que actualmente utiliza la empresa.....	23
Introducción a la calidad y al control estadístico de procesos .....	26
La variabilidad de los procesos industriales.....	27
Análisis de procesos mediante la distribución normal .....	28
Media: .....	29
Desviación Estándar:.....	30
Herramientas para mejorar la calidad .....	30
Histograma de frecuencias .....	30
Diagrama de Pareto .....	31
Diagrama causa – efecto .....	31
Cartas de Control .....	32
Estado de control.....	33
Un proceso está bajo control.....	33
Un proceso está fuera de control.....	33
Índice de capacidad del proceso.....	34
Capítulo III. Marco metodológico .....	37
Conocer el proceso de fabricación de pastas alimenticias y control de calidad aplicado en la planta de pastas MONACA.....	37
Realizar un análisis comparativo entre las tecnologías existentes para la fabricación de pastas alimenticias y la tecnología que actualmente utiliza la empresa. ....	38
Analizar la situación operacional actual para cada una de las líneas y sus respectivos formatos de producción, mediante cartas de control y diagramas de frecuencias. ....	39
Diagnosticar las causas existentes que generan fluctuaciones en el contenido de humedad de la pasta, haciendo uso de un diagrama causa- efecto.....	41
Identificar y proponer acciones correctivas que reduzcan y estabilicen la variabilidad del contenido de humedad, a partir de las causas atribuibles encontradas.....	42

Evaluar la efectividad de las acciones ejecutadas, revisando la variación de los parámetros estudiados mediante herramientas estadísticas.....	44
Capítulo IV. Resultados y análisis de los resultados .....	45
Analizar la situación operacional actual para cada una de las líneas y sus respectivos formatos de producción, mediante cartas de control y diagramas de frecuencias .....	45
Línea C-800.....	46
Línea Pavan.....	50
Línea C-900.....	54
Línea M-500.....	57
Diagnosticar las causas existentes que generan fluctuaciones en el contenido de humedad de la pasta, haciendo uso de un diagrama causa- efecto.....	58
Confirmación de la causa raíz de la variación del contenido de humedad en las pastas alimenticias secas .....	59
Identificar y proponer acciones correctivas que reduzcan y estabilicen la variabilidad del contenido de humedad, a partir de las causas atribuibles encontradas.....	72
Evaluar la efectividad de las acciones ejecutadas, revisando la variación de los parámetros estudiados mediante herramientas estadísticas.....	74
Línea C-800.....	75
Línea P-10 .....	78
Línea C-900.....	81
Línea M-500.....	84
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....	87
Conclusiones .....	87
Recomendaciones.....	88
Referencias bibliográficas.....	89
APÉNDICE.....	92
Apéndice N°1. Constantes de las cartas de control de promedio – rango.....	92

Apéndice N°2. Cálculo tipo sobre el cálculo de los parámetros de las cartas de control .....	92
Apéndice N° 3. Calculo de los parámetros del diagrama de frecuencias.....	97
Apéndice N°4. Tabla de confirmación de Juran.....	99
Apéndice N°5. Cronograma para ejecutar las acciones correctivas.....	101
Apéndice N°6. Carta de control a la salida del pre-secado de la línea C-800, operando con el molde B.....	103
Apéndice N°7. Diagrama de frecuencia a la salida del pre-secado de la línea C-800, operando con el molde B.....	103
Apéndice N°8. Carta de control de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde B .....	104
Apéndice N°9. Diagrama de frecuencias de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde B. ....	104
Apéndice N°10. Cartas de control de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde B .....	105
Apéndice N°11. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde B .....	105
Apéndice N° 12. Carta de control de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde B .....	106
Apéndice N°13. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde B. ....	106
Apéndice N°14. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea C-800 a la salida del pre-secado usando el molde B.....	107
Apéndice N°15. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea C-800 a la salida del enfriador usando el molde B. ....	108
Apéndice N°16. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del pre-secado usando el molde B .....	109
Apéndice N°17. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del enfriador usando el molde B.....	110
Apéndice N°18.. Diagrama de general de la línea Pavan 1000, P-10 .....	111
Apéndice N°19. Diagrama general de la línea Cobra 800, C-800.....	112

Apéndice N°21. Diagrama general de la línea Mabra 500, M-500 .....	114
Anexos .....	115
Anexo N°1. Diagrama psicométrico <sup>[1]</sup> .....	115
Anexo N°2. Esquema General de la prensa de una línea productora de pasta. <sup>[10]</sup>	116
Anexo N°3. Extendedora de una línea productora de pasta larga <sup>[11]</sup> .....	116
Anexo N°4. Cuchilla de una línea de pasta corta .....	117
Anexo N°5. Secador de una línea productora de pasta. <sup>[10]</sup> .....	117
Anexo N°6. Acúmulo de una línea productora de pasta. <sup>[10]</sup> .....	118
Anexo N°7. Diagrama de Frecuencias <sup>[19]</sup> .....	118
Anexo N°9 Diagrama Causa- efecto. <sup>(Blanco, 2011)</sup> .....	119
Anexo N°10. Carta de control <sup>(Blanco 2011)</sup> .....	120
Anexo N°11. Patrón natural de variación <sup>[23]</sup> .....	120
Anexo N°12. Patrones que indican la condición fuera de control.....	121
Anexo N°13. Pruebas de Juran <sup>[27]</sup> .....	122
Anexo N°14. Moldes y filtros <sup>[11]</sup> .....	123
Anexo N°16. Ciclos de secado para tecnologías de media temperatura. <sup>[24]</sup> .....	124
Anexo N°17. Diagrama de secado para líneas de alta temperatura. <sup>[24]</sup> .....	124

**LISTA DE FIGURAS**

Figura N° 1 Esquema de una línea continua para la producción de pastas alimenticias .....	14
Figura N° 2. Microprocesador MPF2.....	21
Figura N° 3. Porcentaje de muestras dentro de la Curva de Distribución Normal según la desviación estándar <sup>[20]</sup> .....	29
Figura N° 4. Carta de control de la línea C-800 a la salida del pre-secado utilizando el molde A (Situación inicial). .....	47
Figura N° 5. Diagrama de frecuencias de la línea C-800 a la salida del pre-secado, utilizando el molde A (Situación inicial) .....	48
Figura N° 6. Carta de control de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde A (Situación inicial) .....	49
Figura N° 7. Diagrama de frecuencias de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde A (Situación inicial) .....	49
Figura N° 8. Carta de control de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde A (Situación inicial) .....	51
Figura N° 9. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde A (Situación inicial) .....	52
Figura N° 10. Carta de control de la línea P-10 la salida del enfriador utilizando el molde A. (Situación inicial) .....	53
Figura N° 11. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde A (Situación inicial) .....	53
Figura N° 12. Carta de control de la línea C-900 a la salida del pre-secado produciendo codos. (Situación inicial).....	54
Figura N° 13. Diagrama de frecuencias de la línea C-900 a la salida del pre-secado produciendo codos. (Situación inicial).....	55
Figura N° 14, Cartas de control de la línea C-900 a la salida del enfriador produciendo codos. ....	56

Figura N° 15. Diagrama de frecuencias de la línea C-900 a la salida del enfriador produciendo codos. (Situación inicial).....	56
Figura N° 16, Carta de control de la línea M-500 a la salida del secador produciendo tornillos (Situación inicial).....	57
Figura N° 17. Diagrama de frecuencias de la línea M-500 a la salida del secador produciendo tornillos. (Situación inicial).....	58
Figura N° 18. Diagrama causa - Efecto.....	59
Figura N° 19. Diagrama de Pareto .....	73
Figura N° 20. Cartas de control y análisis de capacidad de la línea C-800 a la salida del pre-secado usando el molde A. (Situación posterior) .....	75
Figura N° 21. Cartas de control y análisis de capacidad para la línea C-800 a la salida del enfriador usando el molde A. (Situación posterior) .....	77
Figura N° 22. Cartas de control, y análisis de índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del pre-secado usando el molde A. (Situación posterior) .....	79
Figura N° 23. Cartas de control y análisis de índices de capacidad para la línea P-10 a la salida del enfriador usando el molde A. (Situación posterior).....	80
Figura N° 24. Cartas de control y análisis de índices de capacidad de la línea C-900 a la salida del pre-secado. (Situación posterior) .....	82
Figura N° 25. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea C-900 a la salida del enfriador. (Situación posterior) .....	83
Figura N° 26. Cartas de control y análisis de capacidad de la línea M-500, operando con el formato tornillos (Situación posterior) .....	85
Figura N° 27. Carta de control a la salida del pre-secado de la línea C-800, operando con el molde B. (Situación inicial).....	103
Figura N° 28. Diagrama de frecuencia a la salida del pre-secado de la línea C-800, operando con el molde B. (Situación inicial).....	103
Figura N° 29. Carta de control de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde B (situación inicial).....	104
Figura N° 30. Diagrama de frecuencias de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde B. (Situación inicial) .....	104
Figura N° 31. Cartas de control de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde B (Situación inicial) .....	105

Figura N° 32. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde B (Situación inicial) .....	105
Figura N° 33. Carta de control de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde B (Situación inicial) .....	106
Figura N° 34. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde B. (Situación inicial) .....	106
Figura N° 35. Cartas de control y análisis de loa índices de capacidad de la línea C-800 a la salida del pre-secado usando el molde B (Situación posterior).....	107
Figura N° 36. Cartas de control y análisis de loa índices de capacidad de la línea C-800 a la salida del enfriador usando el molde B. (Situación posterior) .....	108
Figura N° 37. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del pre-secado usando el molde B (Situación posterior).....	109
Figura N° 38- Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del enfriador usando el molde B. (Situación posterior) .....	110
Figura N° 39. Diagrama psicométrico.....	115
Figura N° 40. Esquema General de la prensa de una línea productora de pasta .....	116
Figura N° 41. Extendedora de una línea productora de pasta larga .....	116
Figura N° 43. Secador de una línea productora de pasta.....	117
Figura N° 42-A. Funcionamiento de una cuchilla en una línea de pasta corta. Vista frontal. <sup>[10]</sup> .....	1
Figura N° 44. Acúmulo de una línea productora de pasta.....	118
Figura N° 45. Diagrama de Frecuencias .....	118
Figura N° 46. Diagrama de Pareto .....	119
Figura N° 47. Diagrama Causa- efecto .....	119
Figura N° 48 Carta de control .....	120
Figura N° 49. Patrón natural de variación.....	120
Figura N° 50. Patrones que indican la condición fuera de control.....	121
Figura N° 51. Pruebas de Juran.....	122
Figura N° 52. Moldes y filtros.....	123

Figura N° 53. Ciclos de secado para tecnologías de baja temperatura.....	123
Figura N° 54. Ciclos de secado para tecnologías de media temperatura .....	124
Figura N° 55. Diagrama de secado para líneas de alta temperatura. <sup>[24]</sup> .....	124

**LISTA DE TABLAS**

Tabla N° 1 Semejanzas entre las recomendaciones de Juran y las investigaciones acerca de Control Estadístico de Procesos.....	10
Tabla N° 2. Comparación entre las tecnologías de pastificación.....	23
Tabla N° 3. Formato para confirmar causas.....	42
Tabla N° 4. Cronograma para ejecutar las acciones correctivas.....	43
Tabla N° 5. Duración de las etapas del proceso productivo, determinación de la frecuencia de muestreo.....	45
Tabla N° 6. Moldes de uso frecuente en la línea C-800.....	46
Tabla N° 7. Moldes de uso frecuente en la línea Pavan 10.....	50
Tabla N° 8. Humedad de la sémola.....	60
Tabla N° 9. Humedad del empaste.....	61
Tabla N° 10. Comparación de resultados entre la termobalanza y la estufa.....	63
Tabla N° 11. Influencia de la limpieza del molino.....	64
Tabla N° 12. Verificación de las tomas de muestras al azar y representativas.....	64
Tabla N° 13. Porcentajes de humedad cuando ocurre una parada de planta.....	66
Tabla N° 14. Peso de las cañas y distribución de la pasta en la línea C-800.....	69
Tabla N° 15. Comparación del %humedad en los flujos que alimentan al trabatto de la línea C-900.....	72
Tabla N° 16. Comparación de la situación inicial, y la situación posterior.....	78
Tabla N° 17. Comparación de la situación inicial y la situación posterior, para la línea P-10.....	81
Tabla N° 18. Comparación de la situación inicial y la situación posterior, para la línea C-900.....	84
Tabla N° 19. Constantes de las cartas de control de promedio – rango.....	92

Tabla N° 20. Datos experimentales obtenidos en la línea C-800 a la salida del pre-secado (Situación inicial) .....	93
Tabla N° 21. Tabla de confirmación de Juran.....	99
Tabla N° 22. Cronograma para ejecutar las acciones correctivas .....	101

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

- C-800: Línea de producción de pasta larga Cobra 800.
- C-900: Línea de producción de pasta corta cobra 900.
- CEP: Control Estadístico de Procesos.
- COVENIN: Comisión Venezolana de Normas Industriales.
- COVENIN 1013:1995: Norma COVENIN que regula los lineamientos para la elaboración de manuales de calidad.
- COVENIN 1946-82: Norma COVENIN que regula las características de la sémola.
- COVENIN 283:1994: Norma COVENIN que regula la fabricación de pastas alimenticias.
- Cp: Capacidad potencial del proceso.
- $C_{pk}$ : Capacidad real del proceso.
- M-500: Línea de producción de pasta corta Mabra 500.
- MONACA: Molinos Nacionales C.A
- MPF2: Microprocesador de control.
- NA: No aplica.
- P-10: Línea de producción de pasta larga Pavan 1000.

## **INTRODUCCIÓN**

En la sociedad existe cierta confusión sobre la mejora de la calidad; algunas personas siguen pensando que ésta significa dar un baño de oro a un producto o invertir más dinero para desarrollar un producto o proceso. La idea es equivocada. La mejora de la calidad significa la sistemática eliminación de desperdicio. Entre los ejemplos de desperdicio se incluyen los sobrantes, la repetición del proceso de manufactura, la inspección y la prueba, y el tiempo necesario para hacer las cosas otra vez debido a que no se hicieron bien la primera vez.

Un esfuerzo exitoso para la mejora de la calidad puede disminuir el desperdicio y conducir a costos menores, traducándose en mayor producción, mayor satisfacción del cliente, mayor reputación de la empresa, mayor competitividad en el mercado y, a fin de cuentas, ganancias más grandes para la compañía.

Los métodos estadísticos son vitales en la mejora y aseguramiento de la calidad. Constituyen los medios principales para muestrear, probar y evaluar un producto, y usar la información contenida en esos datos a fin de controlar y mejorar el proceso de fabricación.

El control estadístico de procesos detecta rápidamente la presencia de causas atribuibles o cambios en el proceso, a fin de que se pueda investigar y tomar acciones correctivas antes de la producción de piezas no conformes.

Es por ello que este trabajo especial de grado pretendió llevar a cabo la aplicación de herramientas de control estadístico de procesos, como lo son: histogramas de frecuencias, diagrama de Pareto, diagrama causa-efecto y cartas de control, a través de los cuales se logre reducir y estabilizar la variabilidad del

contenido de humedad exigido en el proceso de fabricación de pastas alimenticias secas.

La importancia de este proyecto radica en la necesidad de la empresa de identificar las causas asignables a la recurrente variabilidad en el contenido de humedad de la pasta, ya que ésta es la clave de calidad del producto, pues los estudios de la situación inicial en la planta arrojaron valores altamente desviados a lo especificados por la corporación, lo que se traduce en desperdicio y ajustes del proceso.

Este trabajo arrojó resultados importantes para la corporación, ya que la falta de hermetismo en los secadores, la frecuencia en el cambio de moldes, las fallas en el trabatto de las líneas de pasta corta, son fallas que representan las causas más comunes asociadas a la variación de este proceso y que en la mayoría de las veces no eran tomadas en cuenta o eran ignoradas, así como también se identificaron ciertos aspectos a los cuales se les debe dar más importancia, como el entrenamiento del recurso humano que está en contacto de lo que ocurre en el proceso productivo, y la ejecución de planes de mantenimiento preventivo.

Fue posible disminuir la variabilidad y alcanzar mayores niveles de productos fuera de especificación, sin embargo los análisis de índices de capacidad mostraron al proceso como no capaz, esto pudo deberse al estrecho rango de los límites de especificación, porque en el campo de trabajo las líneas operan eficientemente con los resultados obtenidos.

## **CAPÍTULO I**

### **FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En este capítulo son expuestos los fundamentos en los que se basa el proyecto, los mismos contemplan el planteamiento del problema, la descripción de los antecedentes y los objetivos, tanto generales como específicos.

#### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Molinos Nacionales C.A. (MONACA), planta pastas Maracay; tal y como su nombre lo indica, produce únicamente pastas alimenticias, bien sea larga o corta en dos presentaciones, Robín Hood y Flor de Trigo, y está conformada por cuatro líneas de producción, a saber: Cobra 800 (C-800), Pavan 1000 (P-10), Cobra 900 (C-900) y Mabra 500 (M.500); las dos primeras son las encargadas de producir pasta larga, mientras que las dos restantes producen pasta corta.

Para elaborar industrialmente la pasta se utiliza como materia prima la sémola de trigo dúrum. Ésta es amasada con agua, para hacer la extrusión; en esta etapa el empaste pasa a través de un molde para darle la forma deseada y después se envía al secador para ser sometido a un primer pre-secado, seguidamente la pasta pasa a la segunda sección de secado, y posteriormente va hacia a la etapa de estabilización o enfriamiento. Luego ésta pasa por los acúmulos (silos o pisos, según el tipo de línea) en espera del proceso de empaquetado, enfardado y distribución.

La calidad de la materia prima y los procesos de mezclado y extrusión tienen influencia en la calidad del producto final elaborado, el secado es otro el factor crítico en determinar la resistencia y calidad de la pasta.

Un proceso de desecación inadecuado, además de ocasionar contenidos de humedad fuera de especificaciones, fomenta la aparición de manchas blanquecinas que afectan la apariencia, disminuye la resistencia mecánica, causa la fractura del producto final durante y después de la cocción.

Desde hace unos meses atrás la operación de la planta presenta un desempeño que no permite obtener las especificaciones de calidad de secado requeridas; por lo que los productos finales elaborados presentan humedades por encima de lo establecido en la norma COVENIN 283:1994 o incluso puede llegar a quemarse durante las primeras etapas de secado en los equipos, lo que indica que los parámetros de dependencia del proceso relacionados con la variable señalada, como lo son: flujo de aire, temperatura del secador y tiempo, no están siendo controlados en forma adecuada, entre otras variables que podrían estar desviando al proceso y no han sido identificadas aún.

Tal situación causa pérdidas económicas importantes para la empresa, por la alta generación de desperdicio debido a los continuos ajustes del proceso, para alcanzar las especificaciones de secado.

Es por ello que la organización tuvo la necesidad de poner en práctica una serie de planes de ejecución de muestreo, con la finalidad de evaluar la variación del contenido de humedad en sus productos, para así verificar el cumplimiento de los estándares fijados y analizar sus posibles mejoras; con el fin de hacerse más rentable y competitiva, frente a una sociedad que cada día resulta ser más exigente con respecto a la calidad de los productos que consume.

Una herramienta útil que permite conocer como varían los procesos mediante la recolección, análisis e interpretación de datos es el control estadístico de procesos (CEP), éste ofrece una idea clara acerca del comportamiento del sistema productivo y ayuda a detectar las áreas críticas que se puedan presentar durante la elaboración de los productos; mediante la aplicación de fórmulas matemáticas, teorías estadísticas y

de un estudio minucioso, se determina las causas que conllevan a incumplir con las especificaciones de diseño y se logra la optimización del proceso.

Uno de los principales logros que desea alcanzar la empresa, es la prevención de defectos, mediante un control de proceso eficaz, para ellos, una solución ideal sería la disminución de productos de desecho. El control estadístico de proceso, aplicado en línea, son los medios básicos que permiten identificar las causas que generan variación, mediante la interpretación de los resultados arrojados por un proceso de muestreo, permitiendo así, alcanzar las metas propuestas, además de ofrecer mayor productividad y optimización de los costos generales de fabricación y servicio.

Es por ello que este trabajo especial de grado llevó a cabo la aplicación de herramientas de control estadístico de procesos, como lo son: histogramas de frecuencias, diagrama de Pareto, diagrama causa-efecto y cartas de control, ya que con la correcta aplicación e interpretación de estas herramientas se logra reducir y estabilizar la variabilidad del contenido de humedad exigido en el proceso de fabricación de pastas alimenticias secas.

## **DESCRIPCIÓN DE ANTECEDENTES**

En esta sección se realiza una breve introducción acerca de algunas publicaciones bibliográficas e investigaciones que sirvieron como referencia para el presente trabajo especial de grado.

Se describirán estudios relacionados al proceso de fabricación de pastas e investigaciones asociadas al control estadístico de procesos, por ser la base teórica fundamental de este trabajo.

En el proceso de fabricación de pastas se debe mantener en determinado valor de operación las variables del mismo, como lo son la temperatura, la humedad, la velocidad y el tiempo de secado; además de mantener la calidad del producto, en un nivel continuo y con un costo mínimo.

Es por ello que, la siguiente investigación sirve de base para el presente estudio, ya que refleja la importancia de tener bajo un estricto control las variables que forman parte del proceso de secado, ya que las éstas son imprescindibles para obtener un producto de calidad y homogéneo

En el año 2003, Ramírez Fabiola, diseñó un sistema de control para las variables de temperatura y humedad del aire de la etapa de secado en la producción de pasta corta, utilizando un controlador lógico programable (PLC), para lograr esto, realizó un estudio de ingeniería conceptual, donde analizó el sistema de control que estaba instalado en la empresa, para emitir un diagnóstico del mismo. Posteriormente y en función de lo anterior, realizó un trabajo de campo para determinar el estado actual de toda la línea de producción.

También desarrolló la disciplina de instrumentación tomando en cuenta los planos, instrumentos, diagramas, filosofías y estrategias de control. Seguidamente llevó a cabo las disciplinas de sistemas para seleccionar las señales que intervendrían en el nuevo sistema de control con su direccionamiento y la variable asociada, elaboró el programa para el control de la temperatura y la humedad relativa, así como el programa de comunicación entre el PLC y la consola de interfaz humana.

Finalmente especificó los pasos generales para la instalación del sistema. Obteniendo como resultado un sistema de control más automatizado, que genera resultados más confiables y eficientes, facilitando así la rápida detección y corrección de fallas. Concluyendo a su vez, que el nuevo sistema posee la ventaja de que en una misma pantalla de control pueden observarse los parámetros de interés con solo presionar un botón.

A continuación se exponen cuatro investigaciones que nacieron de la necesidad de controlar la inestabilidad en las características claves de un producto y que a su vez muestran al control estadístico de procesos como una herramienta útil que permite conocer como varían los procesos y detecta aquellas causas que generan la variabilidad, de modo que, puedan ser controladas al inicio del proceso, logrando así disminuir los defectos de producción y mejorando los estándares establecidos por las empresas.

En el año 2009, Pineda, Karlha, en su trabajo especial de grado diseñó un sistema de control estadístico de proceso para garantizar el cumplimiento del contenido neto declarado en los helados acorde a la ley de metrología. Para lograr esto, realizó un muestreo que consistió en tomar 5 unidades de helados cada 5 minutos, esto se hizo 30 veces hasta alcanzar un total de 150 unidades, con la finalidad de construir las gráficas de control pertinentes y evaluar la situación inicial de los productos, utilizando los parámetros establecidos por los operarios. Posteriormente, varió uno de los parámetros en estudio, dejando el otro constante, con el fin de analizar la influencia que tenía cada variable en el proceso, utilizando el mismo plan de muestreo. Una vez observado el parámetro que influyó más en la variabilidad lo cambió con el propósito de controlar el proceso. Las herramientas estadísticas utilizadas fueron las cartas de control, histogramas de frecuencias, diagramas de Pareto y diagrama causa-efecto. Realizado esto, logró concluir que la implementación del sistema de control estadístico de procesos contribuyó con la reducción de la variación del peso, y por ende con la reducción de los productos fuera de especificación. Identificando también a aquellas variables que afectan o no la producción para cada tipo de helado.

Al mismo tiempo, Steling, Sorely (2009), implementó un sistema de control estadístico de proceso, ante la necesidad de evaluar la variación de humedad y densidad en los cereales expandidos y hojuelas originales para así verificar el cumplimiento de los estándares fijados y analizar sus posibles mejoras. Para lograr esto diseñó varios métodos de ensayo, mediante los lineamientos exigidos por la

norma venezolana COVENIN 10013:1995, y los aplicó a todas las propiedades monitoreadas en el área de control de calidad de la empresa, una vez validados dichos métodos, realizó un muestreo de los productos involucrados recolectando muestras y organizándolas en subgrupos. El análisis de los datos se llevó a cabo aplicando gráficos de control y diagramas de Causa –Efecto. De esta manera diagnosticó las posibles causas que perturban el proceso, cómo prevenir dichas causas y por ende hacer las mejoras pertinentes, logrando así concluir que la implementación del sistema de control estadístico en la línea de cereales expandidos en formas de aros y en la línea de hojuelas de maíz original en la empresa, permitió disminuir la variabilidad de los productos de dichas líneas; y los porcentajes de las características de calidad para los cereales expandidos, presentaron una notable mejora con la implementación de dicho sistema.

Por su parte, Barrios, Mary (2007), elaboró un plan de acción para reducir y estabilizar la variabilidad de los principales parámetros fisicoquímicos, en el proceso de fabricación de la crema dental, en atención a la problemática expuesta realizó un estudio haciendo uso del diagrama causa efecto de cada parámetro fisicoquímico, a fin de conocer las causas que originaban dicha variabilidad. El método de trabajo de los operadores y la ineficiencia del sistema de enfriamiento, fueron dos de las causas atribuibles al estado fuera de control. Realizó un seguimiento al sistema de enfriamiento del agua, y reentrenó a los operadores, con la finalidad de tomar éstas acciones correctivas para mejorar la variabilidad del proceso. Para verificar el efecto de las acciones tomadas realizó los gráficos pertinentes y calculó los índices de capacidad, obteniendo que el pH, la gravedad específica, el contenido de triclosan y la viscosidad definieron al proceso capaz de cumplir con las especificaciones y bajo control estadístico, éste trabajo especial de grado permitió disminuir la variabilidad de los parámetros fisicoquímicos estudiados, concluyendo que el proceso de fabricación de crema dental es capaz de cumplir con las especificaciones de diseño y que la aplicación de las herramientas estadísticas contribuyó a la reducción de la

variabilidad, lo que se traduce en disminución de costos para la empresa y aumento de productividad.

De manera similar, pero en el año 2005, Ochoa, Yenia, empleó la estadística, con el fin de lograr el control de peso de una línea de pan. Para lograr esto realizó un análisis de las causas que afectan la variación de peso de los productos divididos y terminados, haciendo uso de herramientas estadísticas, como las cartas de control, histogramas de frecuencias, diagramas de Pareto y diagramas de causa – efecto; dicho análisis permitió idear cambios en los estándares o condiciones del proceso, que contribuyeron con la reducción de la variación del peso de los productos. A pesar que logró disminuir la variabilidad de los pesos, no todos los subgrupos estudiados se encontraron bajo control estadístico de proceso. La autora concluyó que las etapas intermedias entre el producto dividido y el empaçado afectan la variación de peso del producto terminado de pan, pero la aplicación de las herramientas estadísticas contribuyó a disminuir dicha variabilidad. Es por ello que este trabajo recomendó continuar con el análisis de las cartas de control para el producto dividido de pan y llevar un registro automático de los pesos del producto terminado, con el fin de reducir el nivel de desconfianza sobre los datos reportados en esta sección de la línea.

En base a lo antes mencionado, dichos antecedentes dan un indicio de que las herramientas estadísticas podrían generar resultados confiables, ya que las mismas utilizan una metodología similar con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados.

En los estudios expuestos anteriormente se lleva a cabo un marco metodológico similar para todas las investigaciones y que a su vez concuerda con lo que expone Juran en su libro “*Análisis y planificación de la calidad*” (1990), donde manifiesta que existen diversas técnicas para lograr los objetivos de calidad esperados por una corporación, en la tabla que se muestra a continuación se exponen las semejanzas entre ambas técnicas de trabajo.

**Tabla N° 1 Semejanzas entre las recomendaciones de Juran y las investigaciones acerca de Control Estadístico de Procesos.**

<b>Antecedentes</b>	<b>Juran</b>
Familiarizarse con el proceso.	Crear un órgano de dirección, para dirigir la investigación, definiéndolo y dotándolo de personal.
Evaluación de la situación actual, haciendo uso de Cartas de Control.	Organizar la obtención de información, definiendo los procesos para conseguir la información necesaria que les permita actuar.
Análisis de las causas, a través de un Diagrama Causa – Efecto.	Crear un mecanismo de diagnosis, que reúna y analice los hechos y recomiende la acción necesaria.
Planteamiento de acciones correctivas. Partiendo del principio del Diagrama Pareto.	Descubrir los pocos proyectos vitales, Determinando los problemas más importantes
Evaluación nueva situación. Nuevamente se hace uso de las Cartas de Control.	Analizar la influencia en la estructura, determinando el efecto de los cambios propuestos en el personal afectado, y descubriendo modos de vencer la resistencia al cambio.  Pasarse al nuevo nivel, llevando a la práctica el cambio.

Por último, es conveniente acotar que en base a los antecedentes, y en concordancia a la problemática abordada por esta investigación se establecieron una serie de objetivos, que se detallan a continuación.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

Reducir y estabilizar la variabilidad el contenido de humedad exigido por la norma COVENIN 283:1994 en el proceso fabricación de pastas alimenticias secas mediante la aplicación de herramientas de control estadísticos.

### **Objetivos Específicos:**

1. Conocer el proceso de fabricación de pastas alimenticias y control de calidad aplicado en la planta de pastas MONACA.
2. Realizar un análisis comparativo entre las tecnologías existentes para la fabricación de pastas alimenticias y la tecnología que actualmente utiliza la empresa.
3. Analizar la situación operacional actual para cada una de las líneas y sus respectivos formatos de producción, mediante cartas de control y diagramas de frecuencias.
4. Diagnosticar las causas existentes que generan fluctuaciones en el contenido de humedad de la pasta, haciendo uso de un diagrama causa-efecto.
5. Identificar y proponer acciones correctivas que reduzcan y estabilicen la variabilidad del contenido de humedad, a partir de las causas atribuibles encontradas.
6. Evaluar la efectividad de las acciones ejecutadas, revisando la variación de los parámetros estudiados mediante herramientas estadísticas.

## **CAPÍTULO II.**

### **MARCO TEÓRICO**

En el siguiente capítulo se presentan los fundamentos teóricos y los aspectos generales que argumentan al proyecto.

#### **SECADO** <sup>[7]</sup>

Este proceso es una operación de transferencia de masa de contacto Gas - Sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa.

El proceso de secado se caracteriza por tener dos fases, un primer contacto donde el sólido es expuesto a un aire ligeramente caliente con el objeto de evaporar el agua de la superficie. Y una reacción capilar, donde el agua en el producto puede pasar a la superficie solamente a través de la acción capilar. Como los capilares se contraen junto al producto, se debe considerar que, mientras más seco se vuelve el producto, más se contraen los capilares, reduciendo la velocidad de cesión de humedad del producto.

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

- Transmisión de calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa por humedad interna y líquido evaporado.

Hay tres factores que condicionan el secado de la pasta:

- Estado Plástico.

- Estado Rígido. (y elástico al mismo tiempo).
- Encostración.

La pasta en el secado atraviesa en determinado momento, del estado plástico a estado rígido a consecuencia de su endurecimiento por deshidratación Y la encostración, es un estado plástico total, pero demasiado rígido en la superficie, muy descompensada respecto al resto.

### **La humedad**

Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire, se expresa en gramos de agua por kilogramos de aire seco (g/Kg.) o gramos de agua por unidad de volumen (g/m<sup>3</sup>) o como presión de vapor (Pa. o Kpa. o mmHg.).

Existen dos tipos de humedad:

- Humedad Ligada: Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor que la del líquido puro a la misma temperatura.
- Humedad no Ligada: Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

### **PSICROMETRÍA <sup>[7]</sup>**

Es una rama de la ciencia que estudia las propiedades termodinámicas del aire húmedo y del efecto de la humedad atmosférica sobre los materiales. Este aire, conocido como aire húmedo está constituido por una mezcla de aire seco y vapor de agua. El aire seco es una mezcla de varios gases, siendo la composición general la siguiente: 77% de nitrógeno, 22% de oxígeno y 1% representado por dióxido de carbono y otros gases.

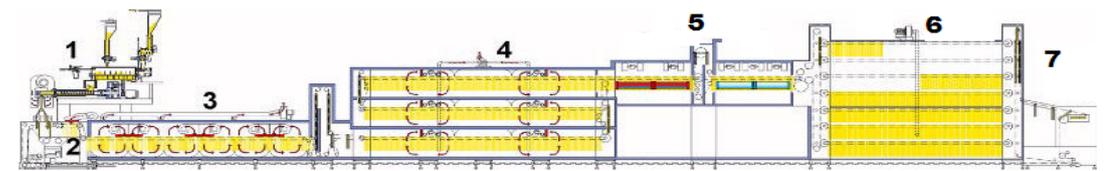
El aire tiene la capacidad de retener una cierta cantidad de vapor de agua en relación a su temperatura. A menor temperatura, menor cantidad de vapor; y viceversa; si se mantiene a una presión atmosférica constante. También se considera que es un método para controlar las propiedades térmicas del aire húmedo y se representa mediante el diagrama psicrométrico, que se puede visualizar en el anexo N°5 de este informe.

### **PASTAS ALIMENTICIAS <sup>[8]</sup>**

Según la norma COVENIN 283-1994, se denomina pasta al producto obtenido mediante el secado apropiado de las figuras formadas por el prensado de la masa preparada con sémola de trigo, harina de trigo o mezcla de ambos, agua potable y con la adición o no de otros ingredientes permitidos por la norma.

### **PROCESO DE ELABORACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS SECAS**

Las líneas destinadas a la fabricación de pastas alimenticias secas, presentan un esquema similar al mostrado en la siguiente Figura.



**Figura N° 1 Esquema de una línea continua para la producción de pastas alimenticias. <sup>[9]</sup>**

Donde:

1. Prensa,
2. Extendedora o cuchilla (Según el formato a producir)
3. Pre-secado
4. Secadero
5. Enfriador
6. Acúmulo
7. Área de Empaquetado

A continuación se resumen cada una de las etapas arriba mencionadas, es necesario precisar, que dichas etapas varían en pequeños detalles entre una línea y otra, sin embargo los lineamientos principales de la etapa son los mismos.

1.- Prensa: Es la parte de la máquina donde los elementos principales sémola-agua, entran en contacto; recibiendo una rápida mezcla bajo vacío. De esta manera ocurre una perfecta hidratación de la sémola, garantizando que cada gránulo de ésta entre en contacto con el agua de amasado.

La importancia de someter la mezcla a condiciones de vacío es prevenir la oxidación de los pigmentos, para garantizar un mejor color en la pasta, evitar el desarrollo de bloques de flora aeróbica bacteriana y mejorar la hidratación.

Una vez finalizado el proceso de amasado, el empaste pasa al distribuidor, que como su nombre lo indica distribuye la mezcla a los órganos de compresión llamados sin fines, para finalizar el proceso de moldeado.

En los sinfines, el empaste es sometido a altas presiones para darle el mejor rendimiento volumétrico posible, de allí pasa a los moldes donde recibe la forma deseada según el formato a producir, bien sea, pasta larga o corta. En esta etapa de compresión hay que verificar que la humedad del empaste se encuentre entre 28– 32 %, ya que si está demasiado seco y no homogéneo desarrollará mal el gluten y aumentará el esfuerzo del extrusor, dañando la resistencia y elasticidad y hará que el producto final tenga puntos blancos en su estructura. Si el empaste está demasiado húmedo, dará vuelta con el sinfín mismo y esto comprometerá la fase de extrusión.

La importancia de la prensa radica en que aquí es donde se prepara el empastado, de la precisión y calidad con que se realice esta etapa dependerá la calidad del producto final elaborado.

En el anexo N°6 (en la sección de anexos) se puede visualizar los principales componentes de la prensa de una línea productiva.

2.- **Extendedora o cuchilla (Según el formato a producir):** En las líneas de pasta larga, justo debajo de la prensa, se encuentra un elemento llamado extendedora, y está enlazado con el Pre-secado de la línea e inferiormente con el retorno de cañas.

Es necesario mencionar que a lo largo del proceso productivo la pasta larga es trasladada con una cuerda metálica para que la misma no se parta.

Para ilustrar el funcionamiento de la extendedora se muestra el anexo N°7.

A diferencia de las líneas de pasta larga, para la producción de pasta corta, no se utiliza la extendedora, ésta es sustituida por una cuchilla, que está ubicada debajo de la prensa (Específicamente debajo del molde) y es la encargada de cortar la pasta al tamaño preestablecido, según sea el formato a producir. En el anexo N°8, se ilustra el funcionamiento de una cuchilla.

Una vez culminado el proceso de prensado, se procede a someter al empaste a través de una serie de tratamientos térmicos (Pre-secado, secado y enfriado), que varían de acuerdo a la tecnología que se utilice.

Sin embargo, para la producción de pasta corta es necesario un tratamiento térmico específico. Esta etapa es conocida como el Trabbo. Este elemento es el encargado de realizar una preparación térmica a la pasta antes de que esta ingrese al Pre-secado, esta operación es con la finalidad de eliminar la pegajosidad que puede generar que la pasta se pegue entre sí, y su preparación para las fases térmicas posteriores.

**3.- Pre-secado:** El pre-secado provoca en la pasta una serie de fenómenos de naturaleza física que modifican internamente su estructura. El aspecto crítico de esta operación es que tiene que secar sin dañar mínimamente, ni durante ni después, el producto final. El estado físico de la pasta cambia en el transcurso del proceso de secado (de estado plástico a estado elástico) si se quiere proceder correctamente hay que tener en cuenta lo siguiente:

En el intervalo comprendido entre el 30% y el 18-20% de humedad hay que calentar lo más posible el aire que alimenta al secadero, con una humedad ambiental elevada. Hay que hacerlo de modo que la pasta no se seque en la superficie, sino que se mantenga porosa y plástica. Solo respetando este criterio el agua interna contenida por el producto podrá salir a la superficie y por ende evaporar. Es este el método correcto para pre-secar la pasta.

En la línea de producción de pasta larga Pavan 1000 (P-10), esta fase está seguida a un rototermo, éste es el aparato que realiza, por medio de planchas radiantes dispuestas en laberinto, tres funciones esenciales:

1. Separar el pre-secado del secado.
2. Hacer revenir la pasta, preparándola en las mejores condiciones para la sucesiva fase de secado.
3. Por último cumple una función bacteriostática.

En el rototermo el proceso dura aproximadamente diez minutos y el porcentaje de humedad de la pasta disminuye aproximadamente el 0,5%. A la salida del rototermo, la pasta debe estar muy caliente, recta, flexible y colorada.

**4.- Secado:** Aquí se cumple la segunda fase del proceso de secado. La pasta es secada lentamente, ya que la humedad presente es más difícil de retirar, y es lo que se llama humedad ligada al producto.

En esta etapa el intervalo a secar está comprendido entre el 20-18% al 12-13% de humedad, por ende se debe ventilar la pasta con aire moderadamente húmedo. De esta forma se provoca la evaporación de las micro-partículas de agua que migraron del interior a la superficie del producto.

En el anexo N°9, se muestra un secador típico para este tipo de proceso.

**5.- Enfriador:** Es el elemento final de secado, la pasta es enfriada y llevada a temperatura ambiente, esto es para evitar choque térmicos una vez que la pasta entre al acumulo. Es importante señalar que este tratamiento hace que la pasta sea

completamente estabilizada, robusta e inalterable a las distintas condiciones ambientales.

**6.- Acúmulo:** Es el almacén del producto terminado que está listo para ser empacado, el control de calidad en esta etapa es aún más riguroso porque debe existir una revisión cuidadosa de las cañas salientes, a fin de verificar que cumplen con las especificaciones establecidas. El anexo N°10, muestra una Figura ilustrativa de la sección del acúmulo.

Luego de revisar a nivel bibliográfico y algunos manuales operativos de las líneas se identificaron un grupo de variables que intervienen en las distintas etapas del proceso productivo, y que afectan directamente al contenido de humedad del producto, bien sea en el pre-secado o a la salida del enfriador, que su fundamento vale la pena detallar para entender los resultados que se presentan posteriormente.

### **Humedad y granulometría de la sémola**

En base a lo establecido en la norma COVENIN 1946-82, sémola de trigo, el porcentaje de humedad de la misma no debe ser mayor a 15,5%, en planta pasta Maracay, valores alrededor de 14,5% resultan bastante aceptables para el ingreso de ésta a los silos de materia prima.

Una granulación muy gruesa en la sémola hace que no se hidrate uniformemente durante el amasado y da lugar a manchas blancas y una superficie áspera en el producto final.

### **Humedad del empaste**

Se ha definido por varios pasteros que el porcentaje de humedad del empaste en la etapa de extrusión debe ser entre 28-32%, sin importar el tipo de línea y el

formato a prensar. La cantidad de agua para una hidratación homogénea está en promedio entre 27-35 litros/100 kg. sémola, teniendo esta última un contenido de humedad entre 14.5 – 15,5 %.

Para la medición del contenido de humedad en el empaste se puede tomar una muestra en la amasadora (Previo cumplimiento de las medidas de seguridad), sin embargo este valor también puede ser controlado verificando la presión que marque el manómetro de los tornillos sinfín de la prensa, ya que este manómetro refleja la fuerza que debe hacer el tornillo sinfín para empujar el empaste. Si la presión es alta, se debe agregar agua porque esto es indicativo de que el empaste está seco y el sinfín está haciendo un esfuerzo grande para empujarlo, y viceversa.

Para un porcentaje de humedad en el empaste entre 28-32%, la presión del tornillo sinfín debería estar entre 80-100 bar, esta relación así ha sido establecida en base a la experiencia en la planta.

### **Características de los moldes**

El molde es el aparato utilizado para darle forma a la pasta. Es importante adaptarse al grosor del formato, al peso de la caña (caso de líneas de pasta larga), al volumen (caso de pasta corta), para tener mejor control en el proceso de secado.

El anexo N°18, ofrece una vista ilustrativa de los moldes utilizados, y de los filtros que son colocados en la parte inferior de los mismos para prevenir el paso de cualquier material distinto al empastado apto.

### **Condiciones de secado**

Tal y como se nombró en el marco teórico, en la explicación del proceso productivo, es el pre-secado la etapa fundamental de este proceso, ya que en esta fase

es donde se retira la mayor cantidad de agua de la pasta, y a su vez se debe evitar el encostramiento del producto para que en la etapa de secado la humedad ligada pueda fluir a la superficie, y originar una distribución estable de humedad a lo largo de la de pasta.

Un control inadecuado de la temperatura del aire, humedad relativa, flujo o velocidad en el secador pueden contribuir a disminuir la resistencia del producto terminado, y causar inmediata o posteriormente la fractura total del producto final elaborado.

La temperatura del aire es controlada con el agua sobrecalentada que circula a través de las baterías dispuestas a lo largo del secador, la humedad relativa es fiscalizada por el delta psicrométrico y la velocidad en el secador depende de la velocidad de corte de la línea, y ésta a su vez pende del largo de la pasta, o del tamaño según el formato a producir de pasta corta.

La calibración de la instrumentación es fundamental para todo proceso, y a continuación se explica el funcionamiento de la misma en las líneas de tecnología Braibanti.

El control del proceso se lleva a cabo con un microprocesador de control integral (MPF2) que registra electrónicamente las variables: Temperatura, humedad relativa, delta, tal como lo se puede observar en la Figura N°3



Figura N° 2. Microprocesador MPF2. [Blanco 2011]

Con este procesador es posible leer los valores establecidos de operación (Set point, SP) y las variables de procesos (VP) para la temperatura, así como para el delta psicrométrico.

El delta psicrométrico representa la diferencia entre las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, cuando dicho valor se encuentra por encima del set point, quiere decir que el aire que circula en el secadero en ese determinado momento está seco, aún no ha alcanzado la saturación con respecto a las especificaciones, y por ende las compuertas (Dámper) ubicados en las galerías de secado deben estar cerradas para que ocurra la transferencia de humedad desde la pasta al aire caliente, cuando esto ocurre es necesario bajar la temperatura para evitar crear más calor de evaporación. Si por el contrario, el valor del delta psicrométrico es inferior al esperado, significa que el aire ya alcanzó su saturación, y que las compuertas deben

abrirse para dar paso al aire seco del ambiente y continuar con el proceso de secado correspondiente.

En la parte superior del MPF2 se observan dos relojes que indican el porcentaje de apertura de la válvula neumática que regula entrada-salida de agua caliente y aire, respectivamente.

Para facilitar el entendimiento de lo antes mencionado, a continuación se detalla el funcionamiento del proceso de secado en las líneas C-900, C-800 y M-500.

En este tipo de tecnología se calienta el aire seco dentro del secador impulsado por los ventiladores, por la acción de las baterías por donde circula el agua sobrecalentada que permiten alcanzar la temperatura dentro de esta zona. Cada zona del secador está equipada con una sonda que permite medir temperatura y humedad relativa del aire de secado.

En esta etapa el mantenimiento de la humedad en el justo porcentaje y la eliminación del agua superflua, poco a poco librada por la pasta, se efectúa con el sistema de recambio de aire. El recambio es llevado a cabo por los dämpers que no son más que compuertas colocadas para la entrada-salida de aire fresco-saturado a las galerías, respectivamente. Siendo necesario destacar que las condiciones de saturación se alcanzan respecto a las condiciones de proceso fijadas.

La cantidad de aire extraído está regulado con la finalidad de mantener el equilibrio térmico dentro del secador. La toma de aire viene desde el ambiente exterior.

Para la línea P-10, de tecnología Pavan se tiene que en la etapa de pre-secado el proceso de transferencia de masa y de calor es similar al que ocurre en las tecnología Braibanti.

Sin embargo, en la etapa de secado de la pasta es llevado a cabo bajo un proceso de intercambio de calor, ya que continuamente se alimenta agua caliente y

agua fría a la línea, la función de la primera es la de calentar el ambiente y hacer que las moléculas de agua contenidas en la pasta se liberen en forma de vapor de agua, y la segunda provoca la condensación de dicho vapor.

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES  
PARA LA FABRICACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS Y LA  
TECNOLOGÍA QUE ACTUALMENTE UTILIZA LA EMPRESA.**

A continuación se muestra una tabla comparativa de las tecnologías pasteras disponibles, en base a sus características generales, condiciones de proceso y diagramas de secado.

**Tabla N° 2. Comparación entre las tecnologías de pastificación**

<b>Características</b>	<b>Tecnologías de baja temperatura</b>	<b>Tecnologías de media temperatura</b>	<b>Tecnologías de alta temperatura</b>
<b>Temperaturas de trabajo</b>	Máx. 60°C	60-75°C	Mayores a 75°C. A partir de 75°C, no tiene sentido hablar de altísima temperatura.
<b>Capacidad de secado</b>	Requiere mayores cambios de aire	Menor cambio de aire debido a mayores temperaturas	Menor cambio de aire debido a mayores temperaturas
<b>Tiempos de secado</b>	Largos (Entre 14 – 20 horas)	Menor ( 7 – 10 horas)	Reducción del tiempo de secado de 2 a 5 horas.
<b>Calidad del producto</b>	Bajas calidad del producto	Mejor calidad del producto.	Producto de calidad superior. Permite el óptimo uso de las materias primas
<b>Requiere enfriamiento</b>	No requiere enfriamiento	Requiere de enfriamiento	Requiere de enfriamiento
<b>Tamaño del secador</b>	Grande, para poder retirar la humedad requerida	Reducción en las dimensiones de las maquinas. El proceso es más automatizado.	Reduce los requerimientos de espacios (Son más pequeños que las otras tecnologías)
<b>Capacidad de producción</b>	Baja	Incremento de la capacidad de producción.	Elevado nivel de automatización. Ahorro energético.

En planta pasta Maracay, las líneas C-800 y M-500 son líneas de baja temperatura, y la P-10 y C-900 son de media temperatura., puesto que se caracterizan por los largos períodos de secado, las condiciones de temperatura oscilan entre el rango establecido, y la etapa de enfriamiento no es crucial como en las tecnologías de altas temperaturas.

Esta comparación se realizó con la finalidad de estudiar más adelante la posibilidad de ajustar las condiciones de proceso existentes, es decir, retomar los principios que rigen esa tecnología y características según los lineamientos de secado.

Antes la calidad de la pasta estaba definida por la calidad de la materia prima empleada (Sémola), por eso es que las tecnologías no dependían de las altas temperaturas. Sin embargo hoy día la materia prima es de costo elevado y ha bajado su calidad por detalles de siembra, clima, suelos, entre otros. Es por ello que nace la necesidad de trabajar con variadas materias primas, y para ello se requiere de altas temperaturas que garanticen características organolépticas en la pasta lo más óptimas posibles, mejoran el color de la pasta y su resistencia mecánica.

Las tecnologías de altas temperaturas tienen la característica de mantener el producto en estado plástico hasta lograr, y superar, el valor de ley en lo que se refiere a contenido de agua. Lo que mejora considerablemente la calidad del producto final elaborado.

En las tecnologías de baja temperatura, el ciclo de secado es largo, suave, y las condiciones higrométricas fijas en casi todo el proceso.

Las rectificaciones que el pastero desea hacer tardan bastante en ser efectivas, y tienen un tiempo de respuesta lento. Pero gracias a la lentitud de este tipo de ciclo, igualmente cualquier problema de calor (Por ejemplo con las calderas o humedad en el aire) tarda mucho en manifestarse y afectar el rendimiento de la curva de secado y resultado final.

Secando a bajas temperaturas se juega con bastantes limitaciones, no solo por la baja temperatura en sí, pero también por los pocos medios a disposición ya que de hecho las líneas que secan a bajas temperaturas son obviamente antiguas y obsoletas sus controladores, ya que fueron construidos hace bastantes años. Todo se apoya en gran parte en la sensibilidad del pastero cuyos controles son, a falta de automatismo, en mayoría sensitivos. Es la experiencia del pastero la que le permite realizar ajustes al proceso según la tecnología

La tendencia de los ciclos de secado de las tecnologías de baja temperatura, se muestran en el anexo N°19 de la sección de anexos de este informe.

Por su parte las tecnologías de media temperaturas, presentan ciclos de secado más “dulces”. En las varias fases la pasta es estable y pierde humedad progresivamente. Por lo tanto no se debe acelerar el proceso en algún punto, hay que secar lento hasta el final, y esto queda ejemplificado en el anexo N°20 de este trabajo.

Finalmente, en las tecnologías de alta temperatura. Los diagramas de secado son más agresivos que a media temperatura. El estado plástico de la pasta se prolonga hasta muy adelantado el ciclo y por lo tanto el secado al revés de los anteriores ciclos a temperaturas más bajas, puede y debe, ser rápido. La tendencia de los diagramas de secado presentado por estas tecnologías se puede verificar en el anexo N°21 de este informe.

A pesar de que las distintas tecnologías presentan diferencias unas entre otras, el diagrama de secado, sigue en líneas generales el mismo comportamiento, las humedades de inicio y fin de la curva normalmente son de 28-32% a inicio de secado y 12,5% el punto de llegada. Según vaya avanzando el secado, las humedades de la pasta son progresivamente más bajas, pero su poder de evaporación no es sistemáticamente continuo.

En los diagramas de secado de las tecnologías antes expuestas (Anexos N°19-21) se verifica una fase inicial con mucha evaporación y como más adelante esta

misma se encuentra frenada y cuyo obstáculo mayor lo encuentra en el coeficiente de difusión del agua interna.

Entonces hay que plantear el secado para que sea vigoroso en fase “rápida” para sacar el máximo de agua aprovechando esa facilidad y emplearlo de manera más suave en el momento que la superficie de la pasta no alcance a recibir el agua interna. El momento del cambio depende de la temperatura (tipo de línea) empleada

En el proceso pastero gran parte de esa primera fase corresponde más o menos a lo que se conoce como pre-secado. *Mucho del secreto para secar bien es reconocer ese cambio.* Si el empuje de secado se reduce demasiado pronto, queda demasiada agua interna para la fase “lenta” y se corre el riesgo de no alcanzarla a eliminar toda. Esa agua interna deseará salir y creará fisuras. Si en cambio la evaporación se sobrepasa, formamos una costra aislante que al ser semi-seca puede más adelante secarse completamente y dar signos propios de quemado. Del otro lado actúa como barrera para el agua interior, que como siempre tarde o temprano deseará salir.

## **INTRODUCCIÓN A LA CALIDAD Y AL CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS**

Se define calidad como el conjunto de propiedades y características de un producto o servicio que le confieren su aptitud para satisfacer unas necesidades expresadas o implícitas. <sup>[6]</sup>

Por su parte el control de calidad es la actividad técnica y administrativa mediante la cual se miden las características de calidad de un producto, se comparan con especificaciones o requisitos y se toman acciones correctivas apropiadas cuando existe una discrepancia entre el funcionamiento real y el estándar. <sup>[18]</sup>

Para que un producto cumpla con los requerimientos del cliente, este debe fabricarse con un proceso que sea estable o repetible. Para ser más específicos, es

necesario que el proceso opere con poca variabilidad en las dimensiones, objetivos de las características de calidad del producto.

He allí donde el control estadístico de procesos, juega un papel importante, ya que éste permite tener una idea clara acerca del comportamiento de los procesos productivos y ayuda a detectar las áreas críticas que se puedan presentar durante la elaboración de los productos, mediante la aplicación de fórmulas matemáticas y teorías estadísticas.

La importancia del control estadístico de procesos para la calidad total es determinante, ya que en la medida que se tengan un control efectivo de los procesos, que se logren optimizar los costos operativos, los desperdicios de materia prima y los productos defectuosos, se estarán alcanzando niveles óptimos de beneficios, productividad y alta calidad de los productos, respectivamente, que en forma grupal llevan a la organización a una posición competitiva bastante aceptable.

### **LA VARIABILIDAD DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES**

El Dr. W. Shewhart de los laboratorios de Bell telephone desarrolló la teoría del control estadístico de la calidad. Analizó muchos procesos diferentes y llegó a la conclusión de que todos presentan variaciones. Identificó dos componentes: Uno fijo que parecía ser propio del proceso, y otro intermitente. Shewhart atribuyó la variación propia, habitualmente llamada variación aleatoria al azar a causas no identificables o comunes, y la variación intermitente a causas asignables. Concluyó que las causas asignables podían ser descubiertas o eliminables mediante un tenaz programa de diagnosis, pero que las causas aleatorias no podían ser económicamente descubiertas ni podían ser eliminadas sin hacer cambios básicos en el proceso.

Toda variabilidad tiene sus causas, y el hecho de que los pesos de dos productos fabricados por el mismo proceso sean distintos, es la consecuencia del desgaste de una máquina. La inadecuada aplicación de una norma de calidad, un conjunto materiales, entorno y operarios que intervienen en el proceso. La forma en que estas

variables repercuten sobre el proceso es llamada “las cinco emes”, y son, la materia prima, mano de obra, métodos, maquinaria y mediciones.

### **ANÁLISIS DE PROCESOS MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL**

Cuando se tiene un conjunto de datos provenientes de un proceso industrial, es importante reconocer si su comportamiento es o no normal, a fin de poder identificar causas comunes y causas asignables.

Una distribución normal proporciona un enfoque para determinar el valor promedio y la dispersión de un conjunto de datos. La distribución normal es quizás la más importante tanto en la teoría como en la aplicación de la estadística y su aspecto es el de una curva simétrica (unimodal) con perfil acampanado.

El control estadístico de proceso supone que si se estudia un grupo de datos y se encuentran que se ajustan a una distribución normal, entonces existen causas aleatorias, y se dice que el proceso está bajo control estadístico debido a que es posible pronosticar con alto grado de certeza su variabilidad. Por el contrario, cuando los datos obtenidos del proceso no se ajustan a dicha distribución, se dice que están actuando una o más causas asignables y que el proceso está fuera de control.

Las propiedades descriptivas de la curva de distribución normal, se enumeran a continuación, y se visualizan en la Figura N°2: <sup>[20]</sup>

1. Tiene una forma acampanada y es simétrica respecto de su media
2. La mediana y la moda coinciden
3. En el intervalo  $(\bar{x} \pm \sigma)$  deben caer el 68,27% de los datos muestrales, en el intervalo  $(\bar{x} \pm 2\sigma)$  deben caer el 95,45% de los datos muestrales, y en el intervalo  $(\bar{x} \pm 3\sigma)$  deben caer el 99,73% de los datos muestrales

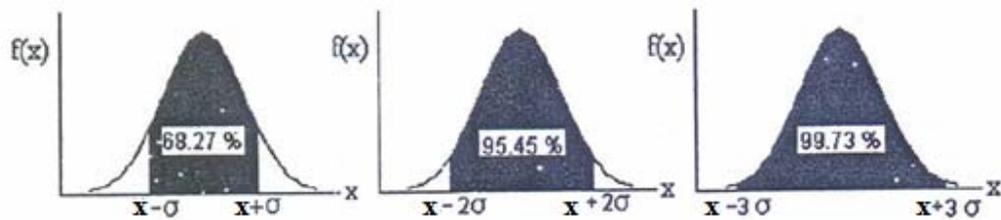


Figura N° 3. Porcentaje de muestras dentro de la Curva de Distribución Normal según la desviación estándar [20]

La curva de distribución normal es caracterizada por los siguientes parámetros: Media de la tendencia central ( $\bar{X}$ ), y la desviación estándar ( $\sigma$ ), que se definen a continuación.

Media: Se define como la suma de las observaciones realizadas dividida entre la cantidad de observaciones correspondientes. Se calcula mediante la ecuación (1). [29]

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

$\bar{X}$  : Media de la muestra

$X_i$ : Valores observados de las variables aleatorias

$n$  : Número de observaciones o tamaño de la muestra

Otro concepto importante que se debe mencionar, y que a pesar de no estar vinculado con la curva de distribución normal es muy utilizado a nivel de estadística y en el presente estudio, es el rango de valores, dada una serie de números, es la diferencia entre los valores u observaciones mayor y menor, según la ecuación (2)

$$R = X_S - X_I \quad (2)$$

Donde:

R: Rango

$X_S$ : Observación de mayor valor

$X_1$ : Observación de menor valor

Desviación Estándar: Es la medida de la variación de la dispersión de una distribución. La Desviación Estándar del grupo total o población que se estudia se representa con el símbolo Sigma ( $\sigma$ ) y se calcula según la ecuación (3):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

Donde:

$\sigma$ : Desviación estándar

### **HERRAMIENTAS PARA MEJORAR LA CALIDAD**

Las técnicas estadísticas consisten en un conjunto de herramientas que traducen el comportamiento de un grupo de datos, las cuales resultan ventajosas para visualizar y predecir de una forma más clara los procesos y tomar decisiones correctas.

Seguidamente se describirán las herramientas estadísticas a utilizar en este estudio.

#### **Histograma de frecuencias**

Es un diagrama de barras que representa la distribución de frecuencia o número de observaciones de una población cuyo valor cae dentro de un rango predeterminado.

La altura de cada rectángulo corresponde a la frecuencia de los valores de un parámetro determinado. El histograma es una representación visual de los datos, en la que pueden observarse más fácilmente tres propiedades: <sup>[6]</sup>

1. Forma.
2. Acumulación o tendencia central.

3. Dispersión o variabilidad.

Los pasos a seguir para elaborar histogramas de frecuencia se muestran en el apéndice N°3 del presente trabajo, y un diagrama de frecuencias ejemplo, se puede visualizar en la sección de anexos, anexo N°11.

**Diagrama de Pareto**

Se basan en el conocido principio de Pareto: “Pocos vitales y muchos triviales”, que aplicado al control de calidad significa que, generalmente, la mayoría de los defectos y el costo que éstos generan se deben a una pocas causas. De este modo, el diagrama de Pareto busca identificar y priorizar las principales causas de fallos.

Se construye listando las causas de un problema en el eje horizontal, empezando por la izquierda para colocar a aquellas que tienen un mayor efecto sobre el problema, de manera que vayan disminuyendo en orden de magnitud. El eje vertical se dibuja en ambos lados del diagrama: el lado izquierdo representa la magnitud del efecto provocado por las causas, mientras que el derecho refleja el porcentaje acumulado de efecto de las causas. En la sección de anexos se muestra un ejemplo del diagrama de Pareto, en el anexo N°11.

**Diagrama causa – efecto**

“Diagrama que muestra la relación entre una característica de calidad y los factores de producción”. Se trata de mostrar la estructura de las relaciones causa efecto que influyen en una determinada característica de la calidad.

No existen reglas fijas para su construcción, aunque podemos señalar que el primer paso es concretar el efecto o problema para el que se quieren identificar las causas. Posteriormente, se identifican los grandes factores de influencia. Para cada uno de éstos se realiza un listado de causas para, posteriormente, depurarlas y

jerarquizarlas. Por último, se representan las causas trazando espinas de primer orden y órdenes superiores (este diagrama también se conoce como diagrama de espina de pescado o de Ishikawa). El anexo N°12 de este informe, muestra un ejemplo de un diagrama causa- efecto.

### **Cartas de Control**

Es una herramienta estadística que detecta la variabilidad, consistencia, control y mejora de un proceso. La gráfica de control se usa como una forma de observar, detectar y prevenir el comportamiento del proceso a través de sus pasos vitales

Esta gráfica se caracteriza por tener una línea central que representa el valor medio de la característica de calidad, correspondiente al estado bajo control. En la gráfica se muestran también otras dos líneas horizontales, llamadas límite superior de control (UCL y límite inferior de control (LCL). Se escogen estos límites de manera que si el proceso está bajo control, casi la totalidad de los puntos de la muestra se les halle entre ellos. Las características de una carta de control, se pueden verificar en el anexo N°13 de este trabajo.

Para construir una gráfica de control, es importante distinguir el tipo de datos a graficar pueden ser. Datos continuos, datos discretos. Es por ello que estas gráficas se clasifican en gráficas de variables, y de atributos.

Los Límites de Especificación de un producto son fijados voluntariamente por el cliente, por el fabricante o por alguna norma. Estos límites constituyen un requisito a cumplir por el producto y no deben confundirse en ningún caso con los límites de control o con los límites de tolerancia natural del proceso.

Los límites de especificación no se deben colocar en la carta de control. Las especificaciones usualmente representan el mínimo de lo que es deseado y

corresponden a los valores individuales, en cambio, los límites de control son para los promedios e intentan estimar lo que es actualmente posible. No hay conexión entre ellos.

Los pasos para elaborar una carta de control se muestran en el apéndice N°2 de este trabajo.

## **ESTADO DE CONTROL**

### **Un proceso está bajo control**

Una vez eliminadas las causas atribuibles, al grado en el que los puntos graficados permanecen dentro de los límites de control, se dice que el proceso está en estado de control.

En este patrón natural de variación se distingue lo siguiente:

- El 34% de los puntos graficados están dentro de una banda imaginaria de ancho de una desviación estándar a ambos lados de la línea central.
- Aproximadamente 13,5% de los puntos graficados se encuentran dentro de una banda imaginaria situada entre una a dos veces la desviación estándar a ambos lados de la línea central.
- Aproximadamente 2,5% de los puntos graficados se ubican dentro de una banda imaginaria entre dos y tres veces la desviación estándar a ambos lados de la línea central

El comportamiento de un proceso en estado de control, debería tener un comportamiento como el mostrado en el anexo N°15 de este trabajo.

### **Un proceso está fuera de control**

Una carta de control, puede indicar una condición fuera de control cuando uno o más puntos se localizan fuera de los límites de control, o bien cuando los puntos graficados presentan algún patrón de comportamiento no aleatorio en apariencia.

La presencia de estos patrones puede deberse a la falta de experiencia del operario, mayor variación en el material de entrada, también suelen corresponderse a desgaste o deterioro gradual de alguna herramienta o de algún otro componente crítico del proceso; pueden ser resultado de causas humanas o influencias estacionales, entre otros.

Juran sugiere un conjunto de reglas o pruebas de decisión para detectar patrones no aleatorios en las cartas de control, las cuales se visualizan en la Figura N°16; para ejecutar dichas pruebas es necesario dividir la carta de control en seis bandas de ancho igual a una desviación estándar e identificarlas con las letra A, B y C, desde los límites de control superior (LCS) e inferior (LCI). Cuando se detecta alguno de los patrones enumerados en siguiente figura es necesario tomar alguna acción para corregir el problema, ya que el proceso está fuera de control. <sup>[6]</sup>

Algunos ejemplos de patrones fuera de control y las reglas de Juran, se encuentran en la sección de anexos, anexo N°16 y N°17, respectivamente.

## **ÍNDICE DE CAPACIDAD DEL PROCESO**

El índice de capacidad del proceso (Cp), es una medida de la habilidad del proceso para fabricar productos que cumplan con las especificaciones; otra manera de definirlo, es que este parámetro muestra la habilidad potencial que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones del diseño. <sup>[18]</sup>.

Entonces el índice de Capacidad de Proceso queda definido como sigue en la ecuación (4):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 * \sigma} \quad (4)$$

Donde

$C_p$ : Índice de capacidad (adimensional)

$LSE$  : Límite superior de especificación (adimensional)

$LIE$  : Límite inferior de especificación (adimensional)

Este valor es interpretado de la siguiente manera:

- $C_p = 1,33$  el proceso es capaz
- $1 < C_p < 1,33$  el proceso es medianamente capaz
- $0,8 < C_p < 1$  el proceso es marginal
- $C_p < 0,8$  el proceso es no capaz

El índice de capacidad de proceso no toma en consideración donde se localiza la media del proceso respecto de las especificaciones. El  $C_p$  simplemente mide la extensión de las especificaciones en comparación con la dispersión seis sigmas del proceso. Esta situación puede reflejarse con mayor precisión definiendo un nuevo índice de capacidad que tome en consideración el centrado del proceso, este nuevo parámetro está definido como,  $C_{p_k}$  y muestra la habilidad real que tiene el proceso. <sup>[18]</sup>, esto se ve reflejado en la ecuación (05)

$$C_{p_k} = \min \left[ \frac{LIE - \bar{X}}{3 * \sigma}, \frac{LSE - \bar{X}}{3 * \sigma} \right] \quad (5)$$

Donde

$C_{p_k}$ : Índice de capacidad real del proceso (adimensional)

*mín* :Valor mínimo.

En general, si, el proceso está centrado en el punto medio de las especificaciones  $C_{p_k} = C_p$ , y cuando  $C_{p_k} < C_p$  el proceso está descentrado. La magnitud de  $C_p$  es una medida directa de que tan apartado del centro está operando el proceso <sup>[18]</sup>

:

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

Para alcanzar los objetivos específicos planteados, se desarrolló la siguiente metodología.

#### **CONOCER EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS Y CONTROL DE CALIDAD APLICADO EN LA PLANTA DE PASTAS MONACA.**

Para llevar a cabo este objetivo se realizaron recorridos por las diferentes áreas de la planta, con la finalidad de conocer los equipos que conforman las líneas de producción, sus funciones, la manera en la que operan y las etapas que se desempeñan en la fabricación de las pastas alimenticias; para ello se contó con el apoyo del personal capacitado.

Se realizaron visitas al laboratorio de control de calidad, a fin de conocer las actividades concernientes a dicha área, tales como: Análisis de la materia prima (Sémola, Dúrum-fina), en este recorrido también se conoció lo relacionado al manejo de los equipos existentes en el mismo, como lo son: La termobalanza (Equipo utilizado para la determinación de la humedad en la pasta y materias primas), estufa, simulador.

Para ampliar el conocimiento obtenido en planta, se recopiló información tanto a nivel bibliográfico como a nivel industrial; para este último caso se revisó la información concerniente al proceso de fabricación de pastas; así como también los

manuales de los equipos, a fin de comprender el proceso y funcionamiento de la maquinaria empleada en el mismo.

Estas acciones permitieron adquirir información preliminar, que resultó indispensable para tener una visión general del funcionamiento de la planta y de la interrelación entre los factores que intervienen en las distintas etapas del proceso de elaboración de pastas alimenticias secas.

**REALIZAR UN ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS EXISTENTES PARA LA FABRICACIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS Y LA TECNOLOGÍA QUE ACTUALMENTE UTILIZA LA EMPRESA.**

Para lograr este objetivo se llevó a cabo un trabajo de investigación con la finalidad de identificar las condiciones en las que operan las nuevas tecnologías de fabricación de pastas y así comparar con la tecnología disponible en la empresa.

Se realizó una tabla comparativa para cada una de las tecnologías de pastificio y se compararon en base a sus características generales, condiciones de proceso y curvas de secado que la caracterizan.

La revisión bibliográfica abarcó conceptos relacionados con: proceso de secado, psicrometría, transferencia de masa y calor, control de procesos, ciclos de secado, tecnologías de pastificio de baja, media y altas temperaturas, entre otros.

En este objetivo se analizaron los fenómenos de transferencia de masa y calor asociados al proceso que permitan identificar las variables importantes que afectan directamente a la etapa de secado. Se consultó con especialistas en el área, para hacer un estudio sistemático de las variables involucradas.

Con la culminación de este objetivo, se tuvo una base teórica sobre las principales variables que afectan el proceso productivo, y como se pudieron mejorar aplicando correctamente algunas técnicas de secado de pastas ya establecidos.

**ANALIZAR LA SITUACIÓN OPERACIONAL ACTUAL PARA CADA UNA DE LAS LÍNEAS Y SUS RESPECTIVOS FORMATOS DE PRODUCCIÓN, MEDIANTE CARTAS DE CONTROL Y DIAGRAMAS DE FRECUENCIAS.**

Implicó un trabajo de campo, que consistió en la lectura de las condiciones de proceso en los respectivos instrumentos de medición, y en la toma de muestras, para determinar el contenido de la humedad de la pasta con el uso de la termobalanza, con la finalidad de hacer seguimiento a las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo el proceso de fabricación, y así conocer su estado actual.

La planta cuenta con cuatro (04) líneas de producción, a saber, Pavan 1000 y Cobra 800, que son las encargadas de producir pasta larga; Cobra 900 y Mabra 500 que producen pasta corta.

Se realizó un estudio que proporcionó el tiempo de duración del proceso productivo en cada de las líneas, esto permitirá tener un control sobre la cantidad de producto en proceso que deberá ser abarcado durante los procesos de muestreo.

Este estudio fue llevado a cabo de la siguiente manera:

- En las líneas de pasta larga, era necesario conocer cuánto tiempo duraba la pasta en ser trasladada de una etapa a otra dentro de la línea de producción, para ello, se decidió a hacer marcas distintivas a varias cañas seguidas en los distintos pisos, de modo tal que a la salida del siguiente piso se pudiese distinguir fácilmente. Este procedimiento arrojaría el tiempo que tarda cada fase del proceso, y junto a la velocidad de corte de la línea fue posible determinar la cantidad de producto en proceso, o lo que sería lo mismo decir, la población en estudio.
- Algo semejante ocurrió en las líneas de pasta corta, sólo que esta vez, se colocaba cierta cantidad de pasta en una bolsa, y se dejaba caer en el proceso de producción, la misma era trasladada a lo largo del proceso mediante los movimientos vibrantes característicos de dicha máquina, al salir esta bolsa, (Que se distinguía fácilmente de las demás), se podía determinar el tiempo que duraba cada etapa de la línea productiva.

Posteriormente y en función de lo anterior se establece la frecuencia de muestreo para cada una de las líneas conformado por veinticinco subgrupos de cinco

muestras cada uno. La razón por la cual se escogió esta cantidad se debe a que una cantidad menor no ofrecería la cantidad necesaria de datos que permita el cálculo exacto de los límites de control, y una cantidad mayor demoraría la obtención de la gráfica de control. [23]

Los puntos de recolección de ejemplares variarán en cada una de las líneas. Para las máquinas Pavan 1000, Cobra 800 y Cobra 900 se analizaron muestras a la salida del pre-secado y a la salida del enfriador.

En la Mabra 500, se analizarán las muestras a la salida del secador.

La importancia de realizar análisis intermedios en cada una de las líneas radica en el hecho de que estas etapas intermedias son fundamentales para el proceso de pérdida de humedad que le ocurre a la pasta a lo largo de todo el proceso productivo.

Para lograr un muestreo de selección bastante aceptable, los ejemplares de pasta larga se tomaron a lo largo de la caña, y en las líneas de pasta corta el muestreo si se realizó al azar sin un orden específico.

A las muestras tomadas en esta etapa del estudio se les determinó el contenido de humedad con el uso de la termobalanza. Dichas humedades se registraron en un formato de Excel<sup>®</sup>, donde se tienen todas las especificaciones concernientes a cada tipo de pasta. Esta información se exportará a un programa estadístico, llamado Minitab Statistical Software; el cual permitirá obtener las cartas de control del proceso e histogramas de frecuencias, estas dos herramientas estadísticas se utilizan en esta etapa, a fin de verificar la tendencia central y la variabilidad de los datos en estudio, con la finalidad de verificar cuán fuera de control está el proceso.

**DIAGNOSTICAR LAS CAUSAS EXISTENTES QUE GENERAN  
FLUCTUACIONES EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA PASTA,  
HACIENDO USO DE UN DIAGRAMA CAUSA- EFECTO.**

A partir del diagnóstico de la situación actual se identificaron los puntos críticos o deficiencias que conllevan a incumplir el contenido de humedad exigido por la norma COVENIN en el proceso de fabricación de pastas.

El equipo de trabajo que estará conformado por: La gerencia y superintendencia de la planta, jefes de los departamentos: Mantenimiento, calidad producción, y la autora.

Se realizaron observaciones sistemáticas de todo el proceso, luego se realizó una “tormenta de ideas” para analizar las posibles causas atribuibles del problema.

Las ideas generadas fueron plasmadas en un diagrama Causa-Efecto, mejor conocido como “espina de pescado”, para encontrar la relación entre las características (los resultados del proceso) y aquellas causas que, por razones técnicas se considere que ejercen un efecto sobre el proceso, y que posiblemente sea la causa raíz del problema.

En dicho diagrama se evaluaron las siguientes fuentes: Mano de obra, métodos, máquinas y materia prima.

En este objetivo se emplearon las tablas de confirmación de causas de Juran, mostrada en la tabla N°2, la cual permite llevar un registro sobre las causas confirmadas y los resultados obtenidos (afecta o no el problema).

**Tabla N° 3. Formato para confirmar causas**

 <b>Tabla de confirmación de causas de Jurán</b>				
Departamento	Área	Responsable	Equipo de trabajo	Fecha
Causa Seleccionada	Método de Confirmación	Fecha	Resultados Obtenidos	

El formato mostrado en la tabla anterior fue llenado mediante la variación de algunas características del proceso, es decir, se tomaron muestras para evaluar el contenido humedad en las distintas líneas y formatos de pasta, variando una a una las causas posibles del problema, que fueron plasmadas en el diagrama “espina de pescado”, para así observar el efecto que ejercen sobre la humedad de la pasta.

Las causas antes estudiadas, fueron analizadas en un diagrama de Pareto a fin de identificar y priorizar las principales causas de fallo, y a partir de allí se organizó el orden de como se llevaron a cabo las acciones correctivas.

**IDENTIFICAR Y PROPONER ACCIONES CORRECTIVAS QUE REDUZCAN Y ESTABILICEN LA VARIABILIDAD DEL CONTENIDO DE HUMEDAD, A PARTIR DE LAS CAUSAS ATRIBUIBLES ENCONTRADAS.**

Nuevamente el equipo de trabajo seleccionado para este proyecto se reunió para una sesión de “tormenta de ideas”, con el fin de plantear acciones correctivas que solucionaron o mejoraron las causas confirmadas.

Dichas acciones correctivas se generaron teniendo como base, la teoría de secado, pastificación e instrumentación que rige el proceso de elaboración de pastas alimenticias secas.

A partir de cada causa identificada se planteó la acción correctiva correspondiente que asegure el control estadístico del proceso.

Dichas alternativas se implementaron en orden, de acuerdo a los resultados obtenidos en el diagrama de Pareto.

Para llevar a cabo las acciones correctivas se realizó una planificación, que se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla N° 4. Cronograma para ejecutar las acciones correctivas**

 Cronograma de acciones correctivas				
Departamento	Área	Responsable	Equipo de trabajo	Fecha
Causa confirmada	Acción correctiva	Responsable	Período de Evaluación	Resultados Obtenidos

Con la tabla arriba mostrada se organizaron las acciones a llevar a cabo, el responsable y los resultados obtenidos.

**EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LAS ACCIONES EJECUTADAS,  
REVISANDO LA VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS  
MEDIANTE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.**

A medida que se ejecutaron las acciones correctivas, se verificaron los avances obtenidos (disminución o desaparición del problema), mediante la recolección nuevamente de los datos.

Para cumplir con este objetivo específico se realizó un histograma de frecuencias y gráficos de control de las variables estudiadas para valores obtenidos después de la ejecución de las acciones correctivas, con el fin de analizar los resultados posteriores a dichas propuestas.

Una vez validada la información, se implementaron los procedimientos como parte de la estrategia operacional de la empresa.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

En el siguiente capítulo se presentan los resultados obtenidos en este Trabajo Especial de Grado, con su respectiva interpretación o análisis.

#### **ANALIZAR LA SITUACIÓN OPERACIONAL ACTUAL PARA CADA UNA DE LAS LÍNEAS Y SUS RESPECTIVOS FORMATOS DE PRODUCCIÓN, MEDIANTE CARTAS DE CONTROL Y DIAGRAMAS DE FRECUENCIAS**

Para determinar la frecuencia de muestreo a utilizar, se realizó un estudio de capacidad de la línea, a fin de determinar la cantidad de producto contenidas en ellas (población de interés), y así escoger un muestreo que abarque tal población. Aplicando la metodología planteada para alcanzar este objetivo, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla N° 5. Duración de las etapas del proceso productivo, determinación de la frecuencia de muestreo.**

<b>Línea</b>	<b>Velocidad de corte (seg.)</b>	<b>Duración del proceso productivo</b>		<b>Frecuencia de muestreo</b>	
		<b>Pre-secado</b>	<b>Secado</b>	<b>Pre-secado</b>	<b>Secado</b>
<b>C-800</b>	59-62	1:30 Hrs	5:00 Hrs	Cada 30 minutos	Cada 1 hora
<b>P-10</b>	30-32	1:30 Hrs	3:30 Hrs	Cada 30 minutos	Cada 40 minutos
<b>C-900</b>	NA	01:00 Hr.	02:00 Hrs.	Cada 20 minutos	Cada 40 minutos
<b>M-500</b>	NA	NA	05:00 Hrs	NA	Cada 1 hora

Para facilitar el análisis de las cartas de control y proceder con el estudio que sugiere Juran para este tipo de gráficos, se subdividió la misma en seis bandas de ancho igual a una desviación estándar, desde los límites de control superior e inferior.

Para las cartas de control que se mostrarán a continuación, la interpretación de los datos mostrados es la siguiente.

- $\bar{x}$ : Representa el valor de la media de los datos experimentales
- $\pm 1-2-3 SL$ : Representan las subdivisiones de la carta de control, y se obtienen a partir de la fórmula  $\bar{x} \pm 1-2-3 \sigma$ , respectivamente, donde  $\sigma$  es la desviación estándar resultante del proceso de muestreo.
- Los límites inferior y superior de control, corresponden a los valores de  $\bar{x} \pm 3\sigma$ , es decir,  $\pm 3SL$ .

Los límites de especificación, tal y como su nombre lo indican, son establecidos por la empresa, en base a la experiencia de funcionamiento de la línea ante un molde en particular y el tipo de tecnología.

Por otra parte, en la sección de anexos del presente trabajo especial de grado, se realizó un cálculo tipo que ejemplifique la obtención de los resultados mostrados en los gráficos que se mostrarán más adelante.

### Línea C-800

La línea opera frecuentemente con dos tipos de moldes, cuyas características se detallan en la siguiente tabla y su comportamiento es analizado posteriormente.

Tabla N° 6. Moldes de uso frecuente en la línea C-800

Tipo de molde	Insertos	Hilos	Diámetro (mm)
A	282	6	1.7
B	310	7	1.6

A pesar de que uno de los molde presenta un menor diámetro, es compensado con un mayor número de hilo por insertos.

A continuación se muestra el comportamiento inicial de la línea C-800 operando con el molde A. Las condiciones de proceso a las que se tomaron las muestras fueron omitidas por ser información confidencial de la empresa, no obstante el muestreo se hizo en un lapso determinado considerando como representativo del producto en sí, y lo subgrupos fueron lo más homogéneos entre sí, es decir, misma línea, molde y condiciones de proceso.

Los límites de especificación para la salida del pre-secado, operando con el molde A, se encuentran entre 18-19% de humedad de la pasta, por lo tanto el proceso se encuentra desplazado por encima de lo esperado, según lo que indica la carta de control que se muestra a continuación.

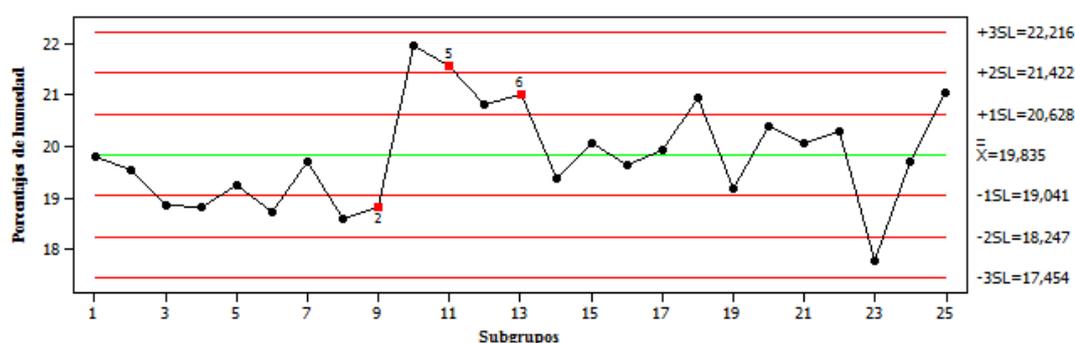
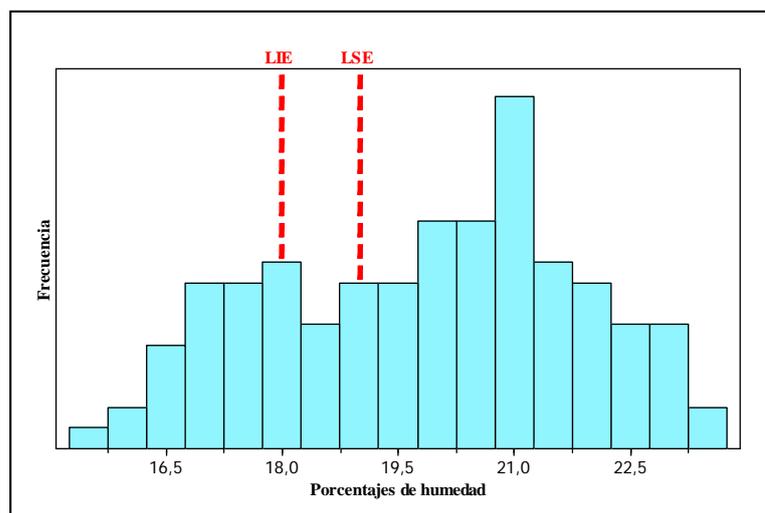


Figura N° 4. Carta de control de la línea C-800 a la salida del pre-secado utilizando el molde A (Situación inicial).

Se observa en la Figura anterior que no se encuentra ningún punto fuera de los límites de control, porque éstos presentan una amplitud considerable (de 5 % de humedad aproximadamente), sin embargo, eso no implica una situación en estado bajo control, ya que dentro de la gráfica se distingue que la aleatoriedad de los puntos no cumple con las pruebas 2, 5 y 6 de Juran.

La carta de control falló al tener nueve puntos seguidos en la zona +1SL, (Queda evidenciado en el subgrupo 9); además presenta dos puntos consecutivos en

la zona que va entre +2SL y +3SL (subgrupo 11), y 4 de 5 puntos graficados están en esa misma área de la gráfica.



**Figura N° 5. Diagrama de frecuencias de la línea C-800 a la salida del pre-secado, utilizando el molde A (Situación inicial)**

Asimismo, la figura anterior muestra una alta dispersión de los datos, el 85% del producto a la salida del pre-secado se encuentra fuera de especificación. La frecuencia mayor de los datos se encuentra entre el 20-21,5% de humedad de la pasta, desplazando al proceso por encima de lo esperado.

En el mismo orden de ideas, pero a la salida del enfriador, la carta de control presenta un punto fuera de los límites de control, (Prueba 1 de Juran), 2 de 3 puntos consecutivos están a +2SL en un lado de la línea central (Subgrupos 19 y 21), y por último existen 4 de 5 puntos seguidos a -1SL en un mismo lado de la gráfica (Prueba 6 de Juran)

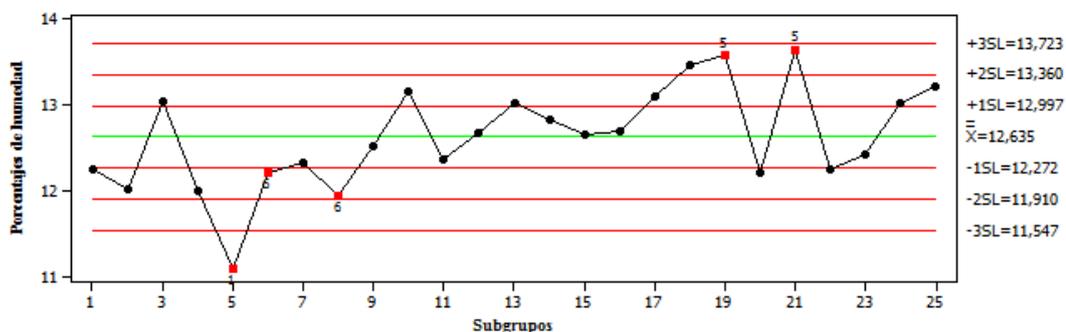


Figura N° 6. Carta de control de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde A (Situación inicial)

El diagrama de frecuencias muestra una menor variabilidad, más no existe un comportamiento normal alrededor de la media de los datos, y aún así, existe un alto porcentaje de productos cuyas humedades están fuera de los límites de especificación, 12-13% de humedad, (65% aproximadamente).

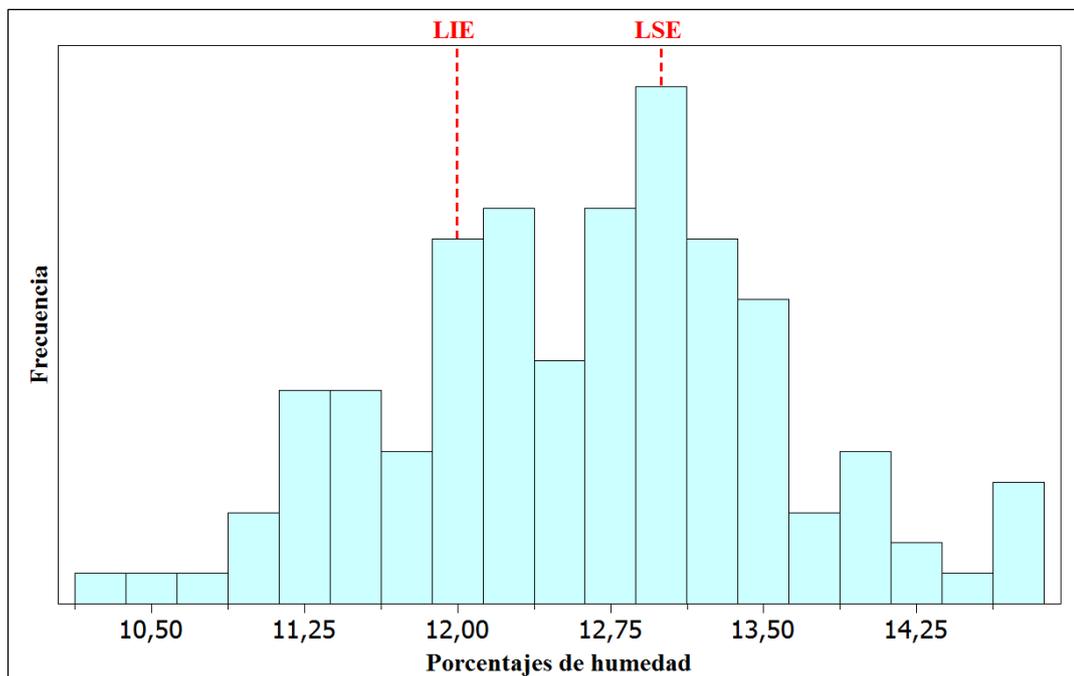


Figura N° 7. Diagrama de frecuencias de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde A (Situación inicial)

Las tendencias mostradas por el molde B, son similares, en el pre-secado y se enfriador, en ambos casos. Las cartas de control y diagramas de frecuencias se pueden visualizar, en la sección de apéndices, desde el apéndice N°6 – N°9.

### **Línea Pavan**

De modo similar a la operación de la línea C-800, ésta máquina también trabaja con dos moldes de uso frecuente, cuyas características se muestran en la tabla N°7. Las condiciones de operación fueron omitidas por ser información confidencial de la empresa.

**Tabla N° 7. Moldes de uso frecuente en la línea Pavan 10.**

<b>Tipo de molde</b>	<b>Insertos</b>	<b>Hilos</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
<b>A</b>	342	7	1.7
<b>B</b>	196	14	1.6

A continuación se presentan los resultados de esta línea utilizando el molde A.

La carta de control que se muestra en la Figura N°8, corresponde a los resultados obtenidos a la salida del pre-secado de esta línea. Los límites de especificación para esta etapa se encuentran entre 16-17% de humedad de la pasta, son valores relativamente bajos, pero por ser la línea Pavan más automatizada y con mejor rendimiento térmico, se espera de ella, un mayor provecho de la primera fase de secado y a su vez, un producto más estable microbiológicamente y con mejor apariencia a la salida de la misma.

Los límites de control obtenidos por el muestreo, se encuentran muy por encima de lo esperado, generando grandes cantidades de producto húmedo, lo que se resume a que no se está obteniendo el mejor provecho posible de esta línea Pavan.

En referencia al estado fuera de control y en base a lo mostrado en la siguiente gráfica, se tiene que, el 32% de los puntos graficado se encuentran fuera de los límites

de control; el 24% de los subgrupos fallaron en la prueba 5 de Juran, al presentarse 2 de 3 puntos a dos desviaciones estándar de la línea central. Adicional a esto la prueba 6 tampoco se cumplió.

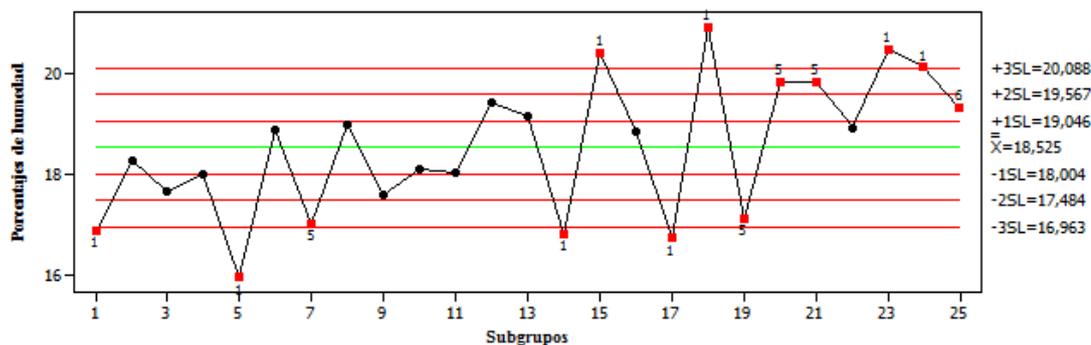


Figura N° 8. Carta de control de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde A (Situación inicial)

Con el propósito de facilitar el entendimiento al lector, en los gráficos de control mostrados hasta ahora, y los que se verán más adelante, muestran en color rojo los puntos que fueran de control, y a su vez, señalan el número asociado a la prueba de Juran que están incumpliendo.

A continuación se visualiza el diagrama de frecuencias de la línea P-10, a la salida del pre-secado usando el molde A.

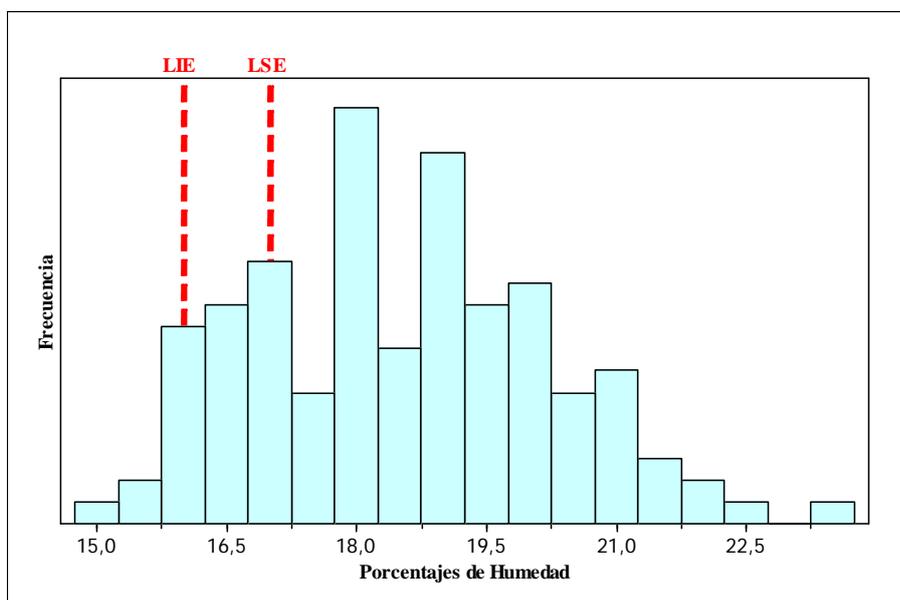


Figura N° 9. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde A (Situación inicial)

La figura anterior refleja una alta variabilidad aceptable de los datos, pero estos están en su mayoría fuera de lo esperado para este tipo de máquina.

Ahora bien, en la carta de control a la salida del enfriador (Siguiendo figura), se tiene que los límites de especificación se encuentran entre 11-12% de humedad, al compararlo con los límites de control, 10,96-12,93%, los resultados no presentan una alta desviación. A pesar, de que estos resultados son aceptables, en cuanto a lo establecido en la norma COVENIN; es preferible trabajar con porcentajes de humedad pequeños en el producto final elaborado, que garanticen una estabilidad microbiológica en el tiempo. La línea Pavan, cuenta con la tecnología suficiente para garantizar estos contenidos de humedad a la salida del proceso y esto debe ser aprovechado.

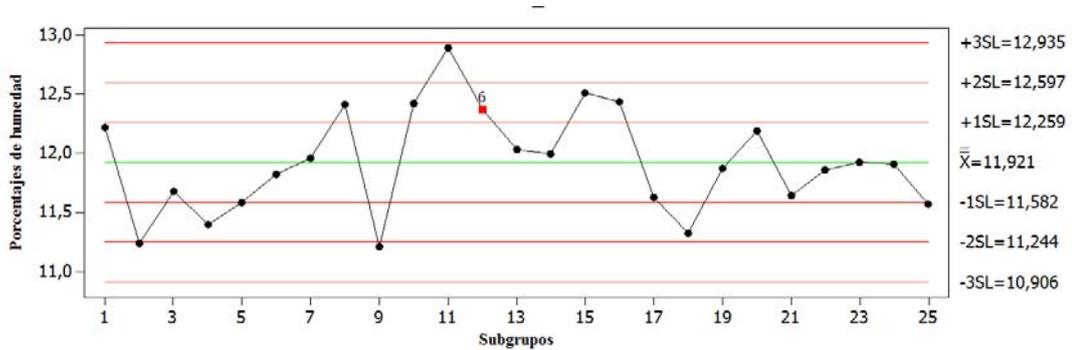


Figura N° 10. Carta de control de la línea P-10 la salida del enfriador utilizando el molde A. (Situación inicial)

La carta de control, antes mostrada a pesar de que los 25 puntos graficados se encuentran dentro de los límites de control, incumple con la prueba 6 de Juran, por tener 4 de 5 punto seguidos en la zona +2SL y más allá.

Asimismo, en el diagrama de frecuencias, queda evidenciada la alta variabilidad de los resultados obtenidos, donde sólo el 40% aproximadamente de los datos se encuentran dentro de los límites de especificación.

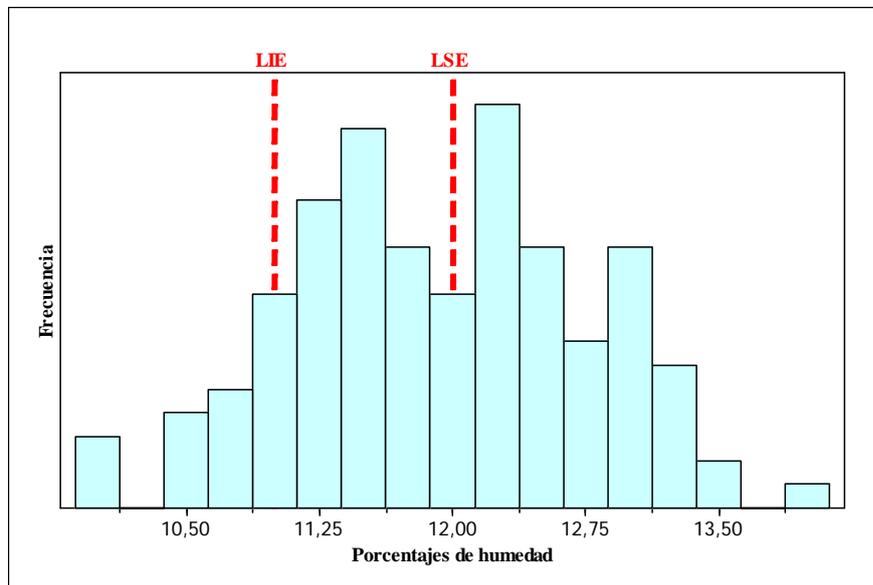


Figura N° 11. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde A (Situación inicial)

En cuanto al molde B, a la salida del pre-secado y enfriador ocurre la misma tendencia explicada para el molde A, por lo tanto la carta de control y su diagrama de frecuencia se encuentran en la sección de apéndices, apéndices N°10 y N°11 corresponden a la etapa de pre-secado y apéndice N°12 y N°13, corresponde al comportamiento a la salida del enfriador.

### Línea C-900

En este aparato se producen pastas cortas de tipo plumas y codos, siendo éste último el molde más utilizado. Y por ello se analizó en este estudio.

A la salida del pre-secado, los resultados obtenidos, se visualizan en la siguiente figura.

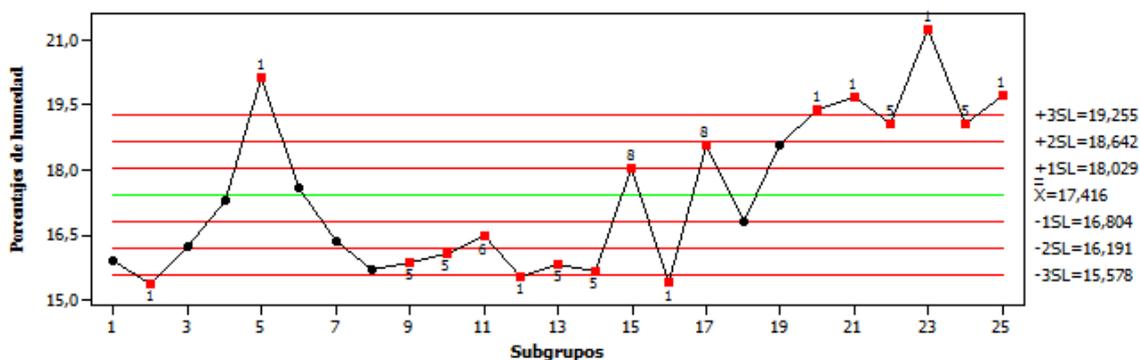


Figura N° 12. Carta de control de la línea C-900 a la salida del pre-secado produciendo codos. (Situación inicial)

En esta representación se evidencia que el conjunto de datos tomados para las muestras no presentan un comportamiento natural, por lo que el proceso no se encuentra en estado bajo control. Se observa un 32% de los puntos graficados fuera de los límites de control a una distancia mayor a tres desviaciones estándar; y un 48% falla a la prueba 5 de Juran (Dos de cada tres puntos seguidos en la zona +1SL o más allá).

No obstante, las pruebas 6 y 8 también son reprobadas para la carta de control anterior. Queda esto evidenciado al observar que el 44% de los subgrupos graficados, tienen la tendencia de que cuatro de cada cinco puntos seguidos están en la +2SL y más allá y el 16% presenta ocho puntos consecutivos a ambos lados de la media.

En el histograma de frecuencias es más fácil visualizar la dispersión mostrada en la carta de control, se verifica además que el proceso se encuentra desplazado por encima de la especificación (15-16% de humedad).

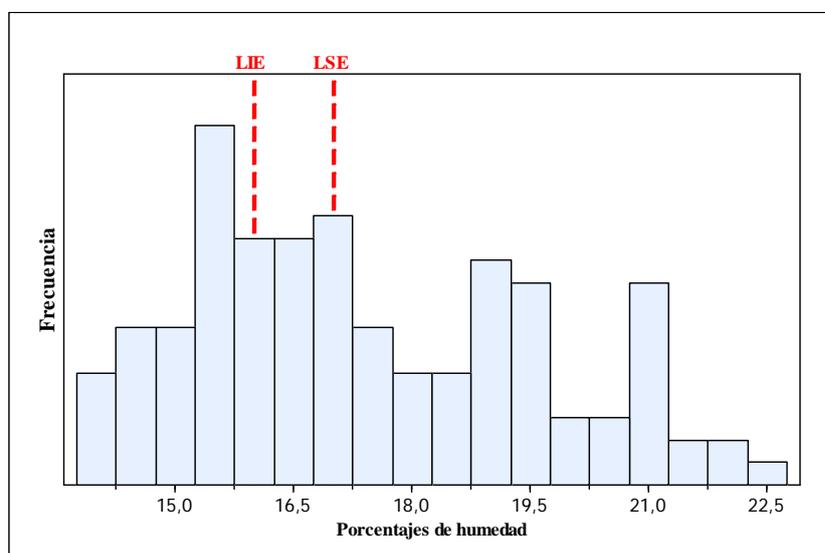


Figura N° 13. Diagrama de frecuencias de la línea C-900 a la salida del pre-secado produciendo codos. (Situación inicial)

Cuando una de características se ajusta a un patrón normal, las fluctuaciones punto a punto son impredecibles y no sistemáticas. Si el patrón se vuelve predecible ya no es natural y debe tener una causa asignable. El patrón indica así la presencia de una variable sistemática que afecta al proceso, y esto es lo que ocurre a la salida del secador de esta línea, la carta de control presenta un patrón de cambio sistemático, lo que indica una condición fuera de control. Los límites de especificación para esta etapa se encuentran en el intervalo comprendido entre 12-13% de humedad.

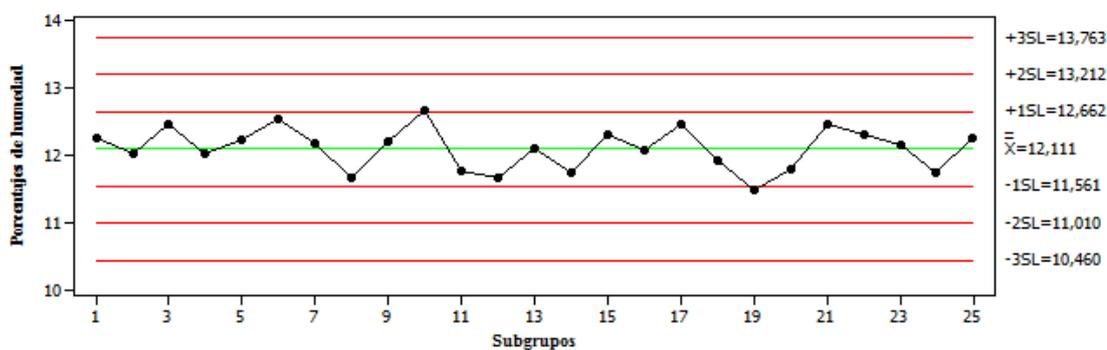


Figura N° 14, Cartas de control de la línea C-900 a la salida del enfriador produciendo codos.

El diagrama de frecuencias, se encuentra desplazado hacia la izquierda, el 70% de los resultados obtenidos están fuera de especificación.

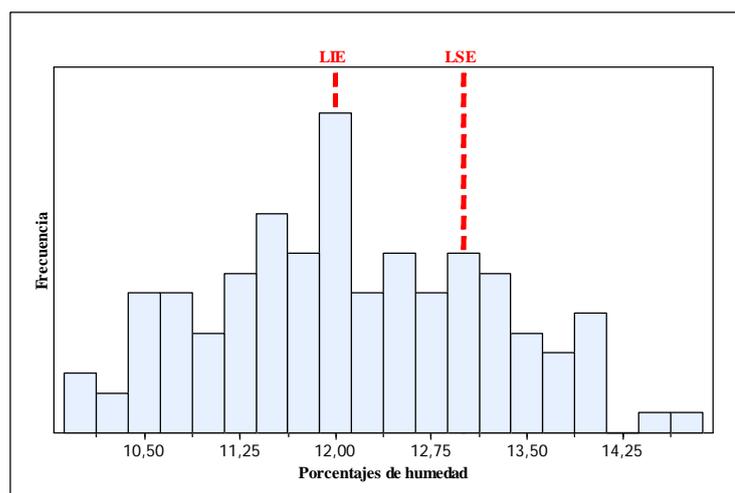


Figura N° 15. Diagrama de frecuencias de la línea C-900 a la salida del enfriador produciendo codos. (Situación inicial)

### Línea M-500

En esta línea se fabrican pastas cortas del tipo cortaditos, fideos y tornillos, siendo éste último el molde más utilizado en la línea, y por ende, se estudia a continuación, la siguiente Figura refleja la carta de control para etapa del estudio.

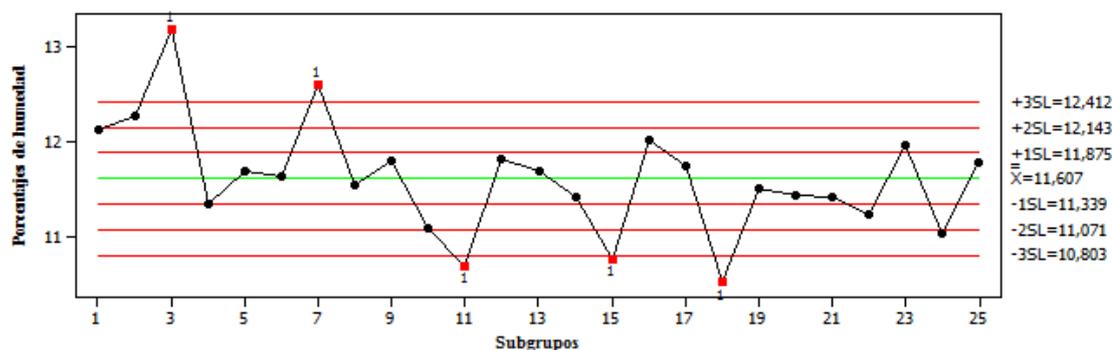


Figura N° 16, Carta de control de la línea M-500 a la salida del secador produciendo tornillos (Situación inicial)

Con respecto al producto terminado de la línea M-500, el muestreo representado en la figura permite identificar la situación como fuera de control, ya que el comportamiento de los porcentajes de humedad de la pasta es inestable por presentar subgrupos fuera de los límites de control determinados. Adicional a esto el subgrupo 4 no cumple con la regla 5 de Juran, por tener dos de tres puntos consecutivos en la zona +1SL.

En el diagrama de frecuencias es constatable que la mayoría de los puntos se encuentran por debajo de los límites de especificación (12-13% de humedad), lo que indica que esta línea está produciendo un producto más seco de lo esperado, a sabiendas de que puede alcanzar mayores porcentajes de humedad y aun así ofrecer un producto de alta calidad.

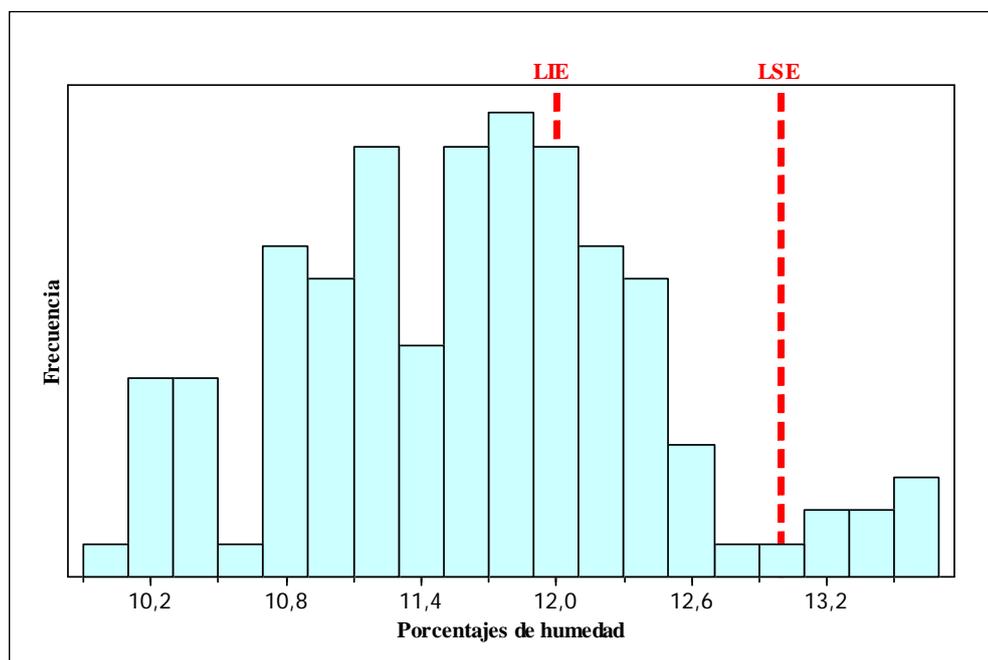


Figura N° 17. Diagrama de frecuencias de la línea M-500 a la salida del secador produciendo tornillos. (Situación inicial)

**DIAGNOSTICAR LAS CAUSAS EXISTENTES QUE GENERAN FLUCTUACIONES EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DE LA PASTA, HACIENDO USO DE UN DIAGRAMA CAUSA- EFECTO**

Las desviaciones identificadas en la sección anterior con el uso de las cartas de control y los diagramas de frecuencias, se deben a variadas causas, las cuales se ilustran en el diagrama causa efecto que se muestra a continuación, vale la pena destacar que las ideas plasmadas en dicho diagrama resultaron de un proceso de “tormenta de ideas” por el equipo de trabajo escogido para llevar a cabo este estudio. En la siguiente Figura N°18 se muestra el diagrama Causa – Efecto, en el cual se exponen las causas de la variación del contenido de humedad de la pasta.

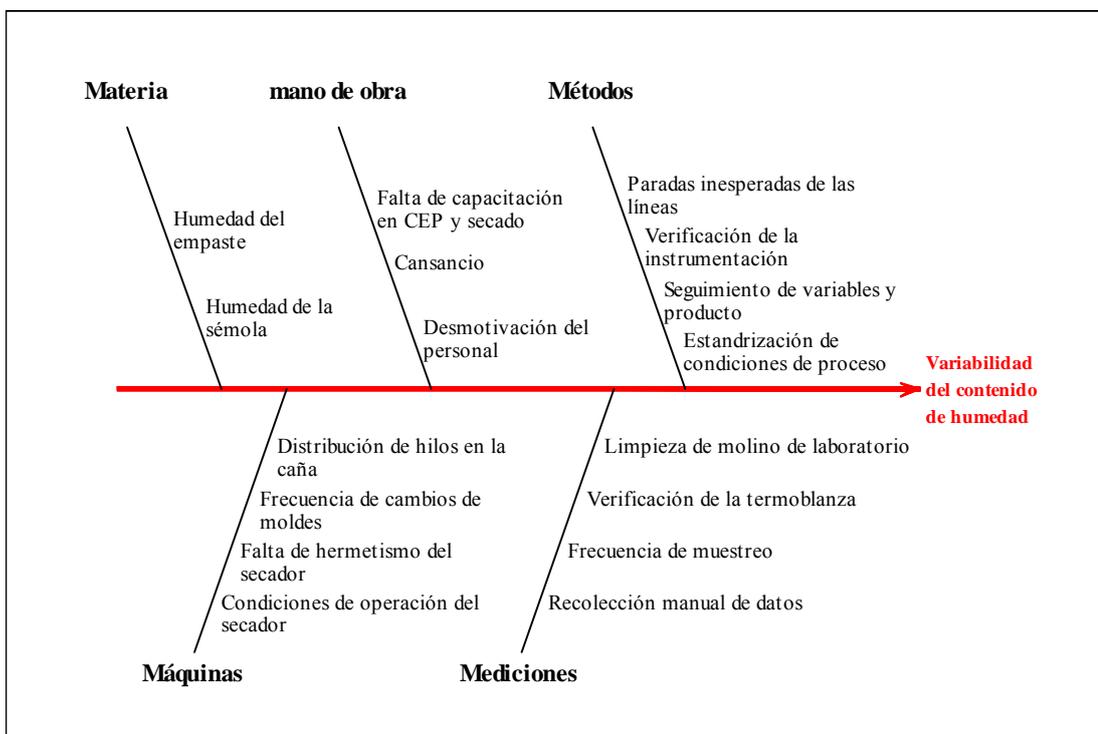


Figura N° 18. Diagrama causa - Efecto

Seguidamente se procede a analizar dichas causas, con la finalidad de determinar el nivel de afectación que tienen sobre la variable señalada, y priorizarlas en un diagrama de Pareto, con la finalidad de atacar aquellas causas principales. Partiendo del principio de que el 80% de los defectos de un problema se deben al 20% de las causas involucradas.

### Confirmación de la causa raíz de la variación del contenido de humedad en las pastas alimenticias secas

Para esta fase del estudio se llenó un formato denominado, tabla de confirmación de Juran que se muestra en el apéndice N°4, allí se resume lo descrito a continuación.

La confirmación de causas se realizó de dos maneras, análisis cuantitativos y cualitativos, éstas últimas se detectaron observando y palpando el producto.

1.- Materia prima:

Humedad de la sémola: La sémola para ser ingresada a los silos de materia prima debe tener un contenido de humedad alrededor del 14-15,5%. A continuación se muestran algunos de los valores de humedad de la materia prima.

**Tabla N° 8. Humedad de la sémola**

<b>Muestra</b>	<b>Porcentaje de humedad (%)</b>	<b>Muestra</b>	<b>Porcentaje de humedad (%)</b>
<b>1</b>	14,78	<b>6</b>	15,10
<b>2</b>	15,35	<b>7</b>	15,28
<b>3</b>	14,98	<b>8</b>	14,63
<b>4</b>	15,00	<b>9</b>	14,61
<b>5</b>	14,89	<b>10</b>	15,29

La tabla anterior refleja que los porcentajes de humedad de la sémola se encuentra dentro de especificación y por ende se puede concluir que este factor no influye negativamente en la variabilidad del contenido de humedad de los productos finales.

Humedad del empaste: Se debe encontrar entre 28-32% de humedad, independientemente de la línea en que se trabaje y molde a utilizar. Es por ello que en la siguiente tabla se presentan los valores obtenidos al tomar muestras del empaste desde la tina de amasado (Prensa) y el valor de presión del manómetro del tornillo sinfín, esta tabla contiene resultados de muestras tomadas aleatoriamente para todas las líneas.

**Tabla N° 9. Humedad del empaste**

<b>Muestra</b>	<b>Humedad del empaste (%)</b>	<b>Presión del tornillo sinfín (bar)</b>	<b>Muestra</b>	<b>Humedad del empaste (%)</b>	<b>Presión del tornillo sinfín (bar)</b>
<b>1</b>	28,12	98	<b>5</b>	29,70	100
<b>2</b>	32,00	90	<b>6</b>	31,64	90
<b>3</b>	31,12	88	<b>7</b>	28,30	98
<b>4</b>	29,78	100	<b>8</b>	30,91	88
<b>5</b>	30,45	92	<b>10</b>	31,37	100

Con base a lo mostrado en la tabla anterior se puede inferir que la humedad del empaste no afecta el contenido de humedad del producto final, porque se cumplen con los valores de especificación exigidos para esta etapa del proceso. Los valores leídos en el manómetro de los tornillos sinfín concuerdan con lo esperado según el porcentaje de humedad obtenido, es decir se cumple con la relación establecida en la planta.

2.- Mano de obra: El personal encargado de la fabricación de las pastas trabaja durante 24 horas al día, distribuido en tres turnos diarios que son cubiertos por cuatro grupos rotativos.

La falta de capacitación en control estadístico de procesos y secado, la desmotivación, el cansancio y la forma de trabajo juegan un papel importante en la obtención del producto final, porque es el operador quien está continuamente en contacto con lo que ocurre durante el proceso.

La contabilización de este parámetro en la influencia o no de la variabilidad en el contenido de humedad no pudo realizarse por la duración del proceso productivo; ya que lo que se prensa en un turno, representa el producto terminado de los siguientes turnos (Caso de las líneas de pasta larga); a las líneas de pasta corta se le pudiese realizar este análisis, pero no se cuenta con el comportamiento de humedades durante el segundo y tercer turno, porque los análisis más frecuentes son realizados

durante el turno central, y muy escasas veces es ejecutado por los supervisores de producción rotativos.

Sin embargo, y muy cualitativamente se puede inferir, que la mano de obra afecta directamente la variabilidad del contenido de humedad, porque no llevan un procedimiento de trabajo establecido, los operadores por lo general no hacen seguimiento a las condiciones de proceso y muy pocas veces analizan sensitivamente el producto que se está originando. Además continuamente suelen modificar los parámetros de los tableros de control, sin la supervisión adecuada, y con un conocimiento “vago” al respecto.

Las fallas de los operarios identificadas en este estudio se pueden clasificar:

- Falta de pericia: El operario sin intención falla, y no puede cumplir. Se da cuenta de los errores cuando los comete, pero es incapaz de eliminarlos. Carece de suficiente pericia.
- Errores voluntarios: El operario, deliberadamente, no cumple. Podría cumplir, pero no tiene intención de hacerlo.
- Inadvertencia: No solamente el error es sin intención, el operario incluso no se da cuenta de que ha cometido el error.

En concordancia a lo antes expuesto, esta causa deberá ser analizada entre las acciones correctivas que se plantearán en la próxima sección.

**3.- Mediciones:** Las mediciones no afectan al contenido de humedad de la pasta, puesto que no está relacionado con el proceso productivo, pero si algún equipo de medición está fallando o la toma de muestra no es correcta, se estarán analizando resultados sesgados, y de allí la importancia de verificar estos componentes.

Verificación de la termobalanza: El contenido de humedad de las muestras de pastas se cuantifica en una termobalanza, por lo tanto, es de vital importancia verificar que el funcionamiento de la misma sea regular, y esto se logra llevando a cabo las calibraciones periódicas por parte del proveedor.

La calibración de este equipo se realiza mensualmente, y esto fue verificado en el tiempo que transcurrió este trabajo, sin embargo, en el laboratorio de control de calidad también existe una estufa, que es calibrada con mayor periodicidad, sin embargo no se usa con frecuencia, ya que tarda una hora treinta minutos (1:30hrs) en contabilizar el porcentaje de humedad de la muestra, a diferencia de la termobalanza que sólo le lleva doce minutos (0:12 hrs).

Con la finalidad de verificar los resultados obtenidos con la termobalanza se realizaron dos montajes simultáneos, uno en la estufa y otro en la termobalanza, y los resultados fueron los siguientes:

**Tabla N° 10. Comparación de resultados entre la termobalanza y la estufa**

<b>Muestra</b>	<b>Termobalanza (%)</b>	<b>Estufa (%)</b>	<b>Diferencia (%)</b>	<b>Muestra</b>	<b>Termobalanza (%)</b>	<b>Estufa (%)</b>	<b>Diferencia (%)</b>
<b>1</b>	13,36	13,42	0,06	<b>6</b>	12,06	12,56	0,5
<b>2</b>	12,93	12,95	0,02	<b>7</b>	13,58	13,29	0,29
<b>3</b>	12,96	12,13	0,83	<b>8</b>	12,92	12,86	0,06
<b>4</b>	12,91	12,91	0,00	<b>9</b>	12,60	12,45	0,15
<b>5</b>	12,91	12,82	0,09	<b>10</b>	13,71	13,73	0,02

Hay que mencionar, que las muestras nombradas en la tabla anterior corresponden a todas las líneas aleatoriamente, al final del proceso, pues lo que se quiere verificar es la confiabilidad de los datos obtenidos en el laboratorio.

Y efectivamente, queda verificada tal confiabilidad puesto que la diferencia entre un valor y otro, son muy pequeñas.

De allí pues queda descartada la posibilidad de obtener valores erróneos en el laboratorio e incluso se confirma que una calibración mensual es suficiente para este equipo.

Limpieza del molino: Para hacer la medición del contenido de humedad, la muestra de pasta debe ser molida, es necesario que el analista, o quien vaya a hacer la medición, realice una limpieza previa del molino, porque si no lo hace, se pudiesen

estar desplazando gránulos de la muestra anterior, y esto altera el valor obtenido. Un ejemplo de esto, se resume a continuación,

**Tabla N° 11. Influencia de la limpieza del molino**

<b>Muestra</b>	<b>Análisis de humedad previo</b>	<b>Análisis con el molino limpio</b>	<b>Análisis con el molino sucio</b>
<b>1</b>	18,98	12,28	12,45
<b>2</b>	20,02	13,25	13,93
<b>3</b>	19,36	12,85	13,01
<b>4</b>	17,19	10,67°	11,26
<b>5</b>	18,10	12,59	12,94

Se verifica entonces, que al analizar muestras húmedas (como en el ejemplo es puesto en la tabla N°11), y luego examinar muestras más secas, la humedad de esta última se ve alterada, por lo tanto debe considerarse su implementación como procedimiento a seguir al momento de analizar los ejemplares.

Recolección manual de los datos (Aplica únicamente para las líneas de pasta larga): Por lo general, el analista de calidad, al tomar muestras de pastas a lo largo de la caña lo hace al azar, a continuación analizan los resultados obtenidos de tomar tres muestras diferentes a lo largo de la caña (extremos y parte central), para verificar que una muestra tomada a lo largo de la caña sea representativa.

En la siguiente tabla se muestran los promedios de las tres muestras y se comparan con el ejemplar tomado al azar.

**Tabla N° 12. Verificación de las tomas de muestras al azar y representativas.**

<b>Muestra</b>	<b>Promedio de 3 muestras (%)</b>	<b>Muestra al azar (%)</b>	<b>Diferencia (%)</b>
<b>1</b>	10,87	10,92	0,05
<b>2</b>	12,33	12,45	0,12
<b>3</b>	11,73	11,89	0,16
<b>4</b>	11,65	11,89	0,24
<b>5</b>	13,44	13,17	0,27

Queda verificado entonces, que tomar una muestra al azar, representa el comportamiento de toda la caña, razón por la cual esta causa se descarta del estudio de variabilidad.

#### 4.- Métodos:

Paradas no programadas de las líneas: En planta pasta Maracay, suceden varias paradas al día con una duración variable, esto genera cambios bruscos en el producto que está en proceso porque el tiempo de residencia del mismo es mayor al que está acostumbrado. Y en la mayoría de las paradas cortas, los operadores no suelen apagar la ventilación de la línea, lo que se traduce en un sometimiento del producto a un proceso de secado mayor.

El análisis de la situación inicial fue llevado a ciertas condiciones de proceso, más sin embargo cuando existían paradas durante el día estas mediciones no se tomaban en cuenta para ese estudio, sin embargo, en esta sección, ese muestreo juega una importancia mayor, ya que reflejará el comportamiento de humedad, antes, durante y después de una parada en la línea.

Si apelamos a un símil, usaremos los datos mostrados en la tabla N°13, allí está reflejado el muestreo cuando existió una parada en la línea, estos datos corresponden a la línea C-800 a la salida del secador utilizando el molde B.

**Tabla N° 13. Porcentajes de humedad cuando ocurre una parada de planta**

Duración de la parada	Porcentaje de humedad antes de la parada (%)		Porcentaje de humedad durante la parada (%)		Porcentaje de humedad después de la parada (%)		Observaciones
<b>1 hora</b>	13,30	12,5	12,4	12,20	11,45	11,22	Producto muy seco, apariencia aceptable
<b>3: 30 Hrs</b>	12,28	13,4	12,32	11,98	11,42	12,01	Producto seco, con señales de craqueo
<b>7 horas</b>	13,65	12,98	12,42	11,7	11,5	11,28	Producto seco, en su mayoría con señales de craqueo, el empaque se realizará con una debida selección de producto

Es notorio como ocurre una pérdida de humedad cuando ocurre una parada, aquí se reflejó el comportamiento para la línea C-800, sin embargo para todas las líneas la tendencia es la misma, lentas pérdidas de humedad durante esta situación, que se traducen en producto no apto porque al no tener un secado constante se encostra con más facilidad.

En conclusión, las paradas de las líneas, son influyentes en la variabilidad del contenido de humedad y en la apariencia del producto.

Verificación de la instrumentación: Según el instrumentista de la planta, la calibración de la instrumentación se realiza con una frecuencia semanal, aleatoriamente y para cada una de las líneas se modificaban los parámetros de control del microprocesador para observar si su comportamiento era el indicado ante la situación.

El parámetro que se cambiaba era el delta psicrométrico, por dos razones, la principal era que se podía verificar fácilmente, y segundo por la importancia de este valor en el proceso de secado, ya que es el encargado de producir los recambios en este equipo, y son estos recambios los encargados de secar la pasta.

Esta manipulación se realizaba presionando al mismo tiempo los botones + y - del microprocesador, (tal y como se puede ver en la Figura N°18), con esto se pasaba el controlador a la función manual, permitiendo así la modificación de los set point establecidos.

Posteriormente y en función de lo anterior, se apretaba la tecla  $\Delta$ , y oprimiendo los botones + ó -, se modificaba los set point, se colocaba este valor por debajo de la variable de proceso en ese instante, si se interpreta eso, quiere decir que el ambiente dentro del secador aún no ha alcanzado la saturación y por ende los dámetros deben estar cerrados, si esto ocurría, se podía verificar el correcto funcionamiento de la instrumentación, o viceversa, y a su vez se verificaba el posicionamiento del servomotor en base a la presión de trabajo y/o prueba y la válvula asociada.



**Figura N°18. Microprocesador MPF2** (Blanco 2011)

Este procedimiento era realizado aleatoriamente para cada una de las líneas, y se encontraba que la instrumentación estaba funcionando, por ende este factor, no afecta a la variabilidad en el contenido de humedad.

Seguimiento de las variables y producto y la estandarización del proceso: En un proceso de fabricación todas las variables tienen una responsabilidad específica para la obtención de un producto homogéneo y con alta calidad, es de suma importancia que se verifiquen continuamente las condiciones de proceso, porque si bien, la etapa de secado es muy importante, la única forma de secar correctamente el producto es respetar el conjunto de parámetros que sirven para que se llegue a centrar y respetar el diagrama de secado en todos sus valores de humedad.

Por ello se sugiere la creación de formatos de llenado para la verificación de variables.

La estandarización de las condiciones de proceso se alcanzará al implementar las acciones correctivas sobre las condiciones de operación del secador.

#### 5- Equipos:

Falta de hermetismo del secador: Entre las recomendaciones generales de secado, se tiene que el secador debe estar completamente hermético para evitar pérdidas de calor o el ingreso de aire fresco que altere las condiciones internas de operación que resten eficiencia al proceso de secado.

En la línea C-800, es constatable que las compuertas del secadero están en deterioradas condiciones que facilitan la fuga de calor, además en el interior del mismo, faltan algunas secciones (parte inferior) que ayudan a que no se mantenga un ambiente de secado óptimo.

Algo similar ocurre en la línea P-10, pero en menor proporción, en esta línea las manillas que permiten la apertura del secador están deterioradas, y en algunos casos ausentes.

Ésta es la causa que más impacto tiene en el estudio, se debe garantizar obligatoriamente las condiciones del secador, dada la importancia de esta etapa. Y a su vez, es fundamental la necesidad de crear conciencia en la mano de obra, ya que la mayoría de las veces, dejan abiertas las compuertas de los secadores, lo que facilita la pérdida de condiciones en el mismo.

Peso de las cañas y distribución de la pasta (Aplica par la línea C-800, únicamente): La línea C-800 se caracteriza por ingresar a la línea 2 cañas al mismo tiempo en un solo corte, cualitativamente era palpable que la distribución de hilos de pastas entre dos cañas seguidas no era similar, esto generó dudas al respecto, porque el hecho de que una caña esté más pesada (o más poblada) que la otra, indica que no hay un repartimiento equitativo dentro del secador. Al momento de realizar el muestreo sólo se toma en cuenta una de las dos cañas, como eso es así, resulta lógico esperar alta dispersión en los resultados, pues una de las cañas siempre generará una pasta más húmeda.

Por eso es fundamental verificar dicha distribución, los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla N° 14. Peso de las cañas y distribución de la pasta en la línea C-800**

<b>Muestra</b>	<b>Primera caña (Kg)</b>	<b>Segunda caña (Kg)</b>	<b>Diferencia (Kg)</b>
<b>1</b>	7,885	7,140	0,745
<b>2</b>	7,745	6,915	0,830
<b>3</b>	7,505	7,000	0,505
<b>4 *</b>	6,170	5,392	0,778

Resulta evidente la diferencia de pesos en las cañas a la salida del molde, incluso a la salida del enfriador (Muestra 4\*). Es necesario realizar las reparaciones correspondientes a la campana distribuidora de hilos, a fin de resolver tal situación.

Frecuencia de cambio de los moldes: En las líneas de pasta corta esta causa no tiene tanto nivel de afectación, porque estas líneas producen variados formatos de pasta, lo que ocasiona que frecuentemente se realicen cambios de moldes en estas líneas.

Sin embargo en las líneas de pasta larga esto no ocurre, por lo general son usados dos tipos de moldes con características diferentes.

Los cambios de filtros y moldes se realizan semanalmente, resulta que, en la medida que transcurre este tiempo, éstos se llenan continuamente de “empaste no apto y recorte fresco”, y eso impide la salida oportuna del hilo de pasta, y para contrarrestar esto, los operadores suelen aumentar la velocidad de corte, para que la línea tenga tiempo suficiente de generar un hilo de pasta con el largo requerido, evitando así la generación de pasta descompensada, (se da este término a aquella pasta que no presenta un largo uniforme en la caña). Lo que trae como consecuencia que el rendimiento de la línea disminuya, ya que este valor es inversamente proporcional a la velocidad de corte de la línea, véase la ecuación (5).

$$\text{Rendimiento} = \frac{3600(\text{seg})}{\text{Velocidad de Corte}(\text{seg})} \times \text{peso de la caña}(\text{kg}) \times \text{caña por corte} \quad (5)$$

La velocidad de corte de esta línea se encuentra entre 58-62 seg, considerando un peso promedio de la caña seca de 5,50Kg (caso molde de diámetro fino), la máquina es capaz de producir entre 682,75-638,70 kg/Hr, con rendimiento de 80-85%.

Si se aumenta la frecuencia de cambio de filtro y moldes:

- Cambio de filtro cada 48 horas (2 días)

- Cambio de molde cada 96 horas (4 días)

Con esta frecuencia se puede disminuir la velocidad de corte a 55 seg, (ya que para el tiempo propuesto de cambio de filtros y moldes, la línea es capaz de generar un hilo de pasta consistente, es decir de 110cm. de largo), aumentando así el rendimiento de la línea a 720KgHr, un aumento del 5% con respecto al anterior.

Igual sucede para la línea P-10, la velocidad de corte varía entre 30-32 segundos, y se genera una caña por cada corte. Implementando la misma frecuencia de cambio de moldes y filtros, este valor puede disminuir a 29 segundos.

Considerando que el peso promedio de una caña seca en la P-10 es de 8 Kg, el rendimiento aumentaría de 900kg/hr a 994Kg/hr.

Condiciones de operación del secador: En la sección anterior se analizó la situación de las líneas, encontrándose que en todas ellas los valores promedios se encontraban fuera de especificación.

En muchos casos, estos valores eran aceptables según lo establecido en la norma COVENIN, (Contenido máximo de humedad permitido es 13,5%), sin embargo, cada línea tiene una tecnología de secado diferente.

Entre las medidas correctivas implementar es realizar un pequeño ajuste de las condiciones del secador, bajo la filosofía de que en el pre-secado se debe tener una alta temperatura y humedad relativa, y en el secado, se disminuye la temperatura y se aumenta la humedad relativa, para alcanzar un equilibrio de humedad en la pasta.

Estos ajustes fueron bajo la filosofía de secado de cada línea, y observando el comportamiento de la línea; en las próximas secciones se reflejan los resultados de esta acción.

En este apartado es necesario mencionar que en la línea C-900 se detectó una falla en el trabatto. Tal y como se puede verificar en el anexo N°3 de este informe, la

línea C-900 a la salida del molde cuenta con dos corrientes que alimentan al trabatto, se detectó que en el lado derecho se presentaban porcentajes de humedad menores en comparación al lado izquierdo, esto resulta extraño ya que son sometidas al mismo tiempo y a las mismas condiciones, pues es un mismo equipo, alimentado por dos corrientes con condiciones de alimentación similares.

Esta diferencia de humedades es mostrada en la siguiente tabla.

**Tabla N° 15. Comparación del %humedad en los flujos que alimentan al trabatto de la línea C-900**

Muestra	Humedad del empaste (%)		Humedad del trabatto (%)	
	Flujo derecho	Flujo izquierdo	Flujo derecho	Flujo izquierdo
<b>1</b>	31,06	31,54	26,08	28,21
<b>2</b>	29,90	29,53	24,15	27,46
<b>3</b>	30,62	30,81	25,35	28,42
<b>4</b>	30,07	30,12	24,33	27,68
<b>5</b>	30,95	30,81	25,46	28,19

Es identificable la diferencia de humedades en los flujos, por lo que se hace necesario una revisión del trabatto, pues aparte de generar resultados con gran variación, la pérdida de humedad en esta etapa con respecto a lo que se recomienda

**IDENTIFICAR Y PROPONER ACCIONES CORRECTIVAS QUE REDUZCAN Y ESTABILICEN LA VARIABILIDAD DEL CONTENIDO DE HUMEDAD, A PARTIR DE LAS CAUSAS ATRIBUIBLES ENCONTRADAS.**

Luego de haber analizado las posibles causas a las que se debían la variación constante del contenido de humedad en los diferentes productos, se obtuvo que unas no tenían impacto negativo sobre las mismas, y que incluso hay causas que tienen impacto variable (mayor o menor) sobre la variable en estudio. El diagrama que se

muestra a continuación en la Figura N°19, ayudará a organizar la ejecución de las acciones correctivas.

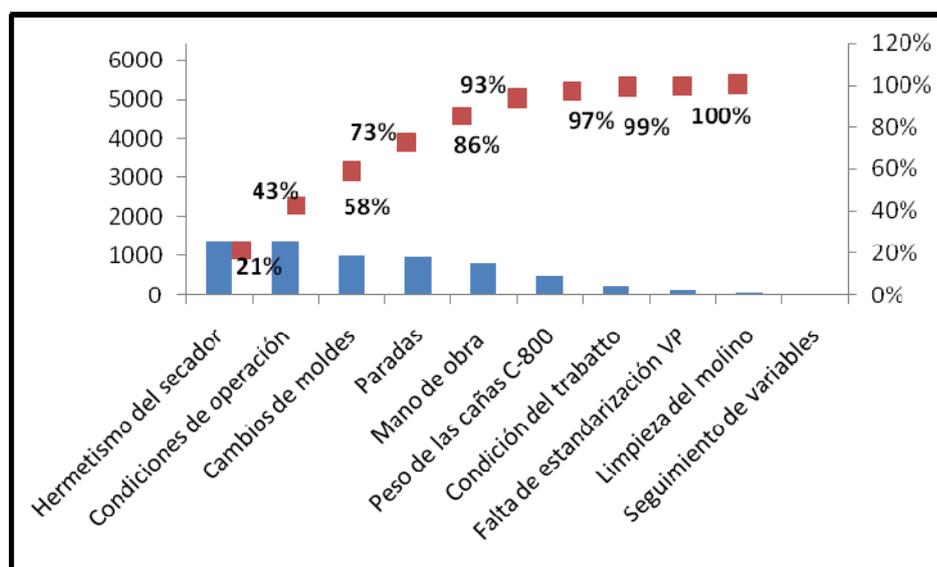


Figura N° 19. Diagrama de Pareto

Con este diagrama se tiene que solventando las primeras 4 causas identificadas (Falta de hermetismo en el secador, mejora de las condiciones de operación del secador, establecimiento de frecuencia de cambio de moldes y disminución de las paradas), se estarían resolviendo las principales causas de la variación. Las acciones correctivas generadas de una tormenta de ideas se resumen a continuación y se detallan en el apéndice N°5 del presente informe.

La falta de hermetismo en el secador, el acondicionamiento de las condiciones de proceso, y el cambio de frecuencia en los moldes de las líneas de pasta larga, fueron las acciones que se implementaron durante la ejecución de este estudio. La reparación de la campana distribuidora de hilos en la línea C-800, y la reparación del trabatto también se llevó a cabo. Sin embargo, hasta que no se implemente un programa de mantenimiento preventivo estas dos fallas no serán solventadas en su totalidad, ya que si no se realiza el mantenimiento respectiva, es posible que se vuelvan a materializar en el tiempo.

Igual sucede con el re-entrenamiento de la mano de obra, cuya implementación formará parte de las recomendaciones de este trabajo.

La estandarización y el seguimiento de las variables, es solventado implementando las acciones correctivas de levantamiento de las condiciones de proceso.

**EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LAS ACCIONES EJECUTADAS,  
REVISANDO LA VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS ESTUDIADOS  
MEDIANTE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS.**

Ahora bien, con un secador más hermético; líneas de pasta larga con mejores rendimientos, se procedió a realizar los ajustes necesarios a las condiciones de proceso.

La adecuación de dichas condiciones se realizaron basados en los lineamientos de secado que rigen a estas tecnologías, y con el correcto análisis de los valores experimentales y teóricos (Con el uso de la carta psicrométrica), se cambiaban las operaciones y se analizaba cuidadosamente la marcha de la línea y el gradiente de humedad de la misma. A continuación se muestra el comportamiento del conjunto de valores que arrojaron los resultados más ajustados a la especificación, y que fueron repetitivos en el tiempo.

Las condiciones exactas del proceso se omiten, sin embargo se hace mención a la variación que sufrieron.

Línea C-800

Inicialmente, los resultados a la salida del pre-secado de esta línea estuvieron por encima de la especificación (Para ambos moldes). Los ajustes realizados fueron: Aumentar la humedad relativa dentro del pre-secado, o lo que es lo mismo decir, disminuir el delta psicrométrico del controlador MPF2, para aumentar los recambios de aire. Mientras que en el proceso de secado se disminuyó el porcentaje de humedad relativa de los pisos del secador, aumentando el delta psicrométrico. Las nuevas condiciones del secador son omitidas, por ser información confidencial para la empresa. Sin embargo se puede mencionar que las variaciones de los valores del delta psicrométrico, variaron entre 1-2 valores respecto a la set point pre-fijado. A continuación se analizan los resultados obtenidos, luego de la implementación de las acciones correctivas en la línea C-800, utilizando el molde A, a la salida del pre-secado, haciendo uso de la Figura N°20.

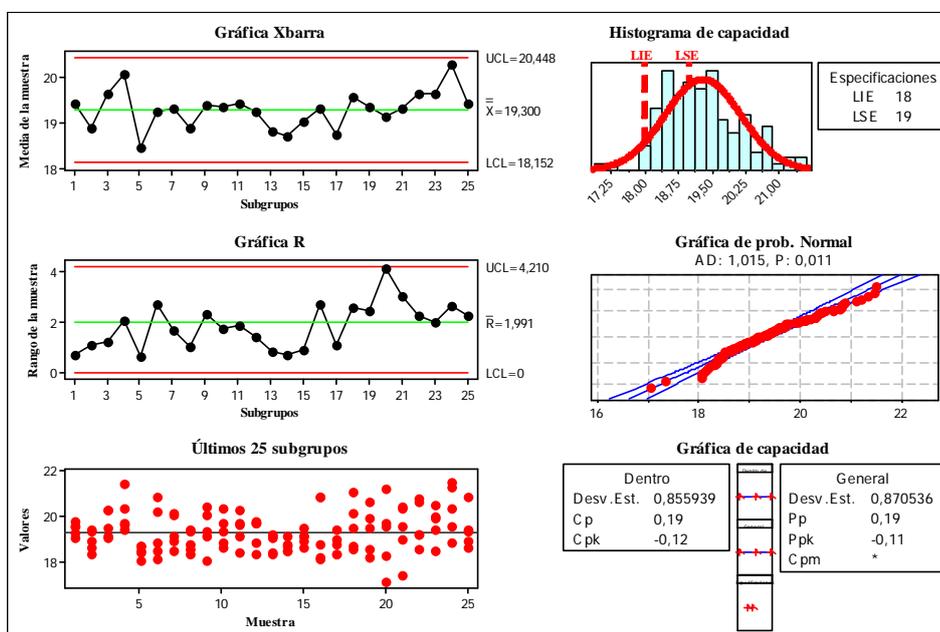


Figura N° 20. Cartas de control y análisis de capacidad de la línea C-800 a la salida del pre-secado usando el molde A. (Situación posterior)

La línea C-800, no sufrió considerables variaciones respecto a sus condiciones de proceso iniciales, sin embargo, con la puesta en marcha de las acciones correctivas se mejoró la variabilidad en el contenido de humedad.

A la salida del pre-secado, y operando con el molde A, la línea C-800 se encuentra bajo control estadístico, y así lo refleja las cartas de control de medias y rangos. Los datos se ajustan a una distribución normal, pero se encuentran desplazados hacia la derecha del proceso, es decir por encima de lo esperado según especificaciones ya establecidas. Es por esto, que los índices de capacidad ( $C_p$  y  $C_{pk}$ ) son valores de pequeñas magnitudes, pues reflejan lo antes dicho, un proceso controlado pero que no es capaz de cumplir con las especificaciones.

A pesar de que existe una alta dispersión de los datos y que el porcentaje de productos fuera de especificación sea del 39%; el porcentaje de producto fuera de especificación disminuyó respecto a la situación inicial, los valores obtenidos son bastante aceptables, porque con porcentajes de humedad del pre-secado alrededor del 19%, se puede obtener un producto final elaborado estable y de buena calidad. Y eso se verifica a continuación, cuando se muestra el comportamiento de los resultados a la salida del enfriador.

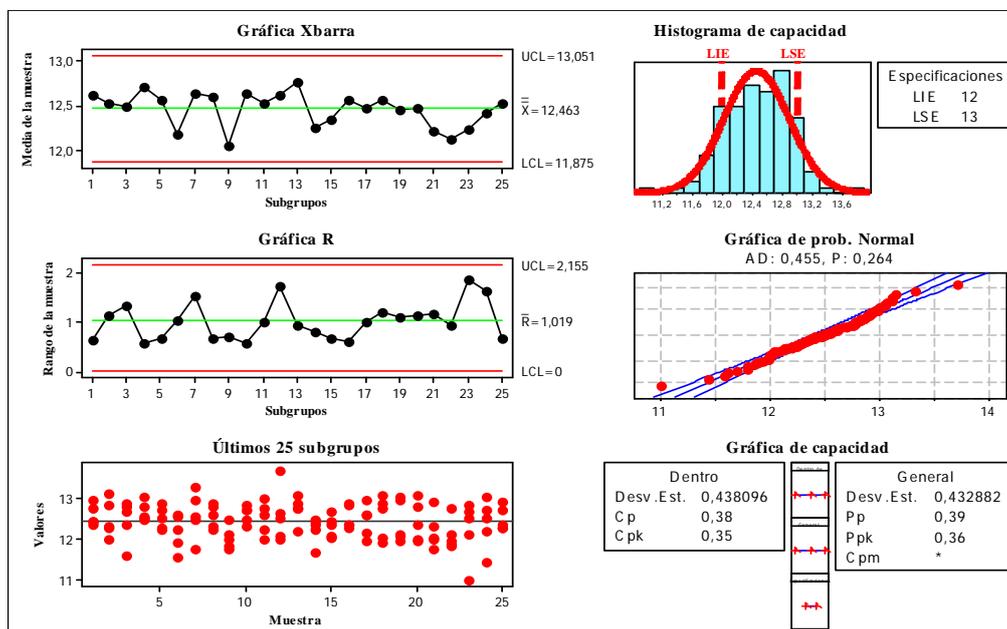


Figura N° 21. Cartas de control y análisis de capacidad para la línea C-800 a la salida del enfriador usando el molde A. (Situación posterior)

Efectivamente, a la salida del enfriador, la línea presenta mejor comportamiento. Se verifica como los puntos están bajo control estadístico, tanto en el gráfico de medias o de rangos. Los datos se ajustan bien a la distribución normal, y es simétrico respecto a la media (Lo corroboran los valores de  $C_p$  y  $C_{pk}$ ). El diagrama de frecuencias muestra dicha simetría, y arroja un 20% de producto fuera de especificación.

Por otra parte, el  $C_p$  resultó ser 0,38, mientras que el  $C_{pk}$  0,35. Es decir, se tiene un producto controlado no capaz.

A pesar de que en el pre-secado los productos fuera de especificación son bastante altos, los resultados para esta etapa si se ajustan a lo esperado teóricamente.

De modo idéntico, al análisis realizado para el molde A, ocurrió con el molde B, los resultados obtenidos a la salida del pre-secado y enfriador se muestran en los apéndices de este informe (Apéndice N°14 y 15).

Vale la pena mencionar que los índices de capacidad, mostraron al proceso como no capaz, sin embargo fue notoria la mejoría que tuvieron los datos frente a la situación analizada inicialmente. Desde el punto de vista de la autora, los objetivos para esta línea fueron alcanzados, no se logró eliminar la variabilidad pero si se disminuyó en grandes porcentajes. Y eso queda reflejado en la siguiente tabla.

**Tabla N° 16. Comparación de la situación inicial, y la situación posterior.**

<b>Línea C-800</b>	<b>Productos fuera de especificación</b>	
	<b>Situación inicial (%)</b>	<b>Situación final (%)</b>
<b>Molde A, salida del pre-secado</b>	70	39
<b>Molde A, salida del enfriador</b>	65	20
<b>Molde B, salida del pre-secado</b>	85	34
<b>Molde B, salida del secador</b>	70	27

### **LÍNEA P-10**

Inicialmente, los resultados a la salida del pre-secado de esta línea estuvieron por encima de la especificación (Para ambos moldes). Los ajustes realizados fueron: Aumentar la humedad relativa dentro del pre-secado, para favorecer las condiciones de recambio de aire. Mientras que en el proceso de secado se disminuyó el porcentaje de humedad relativa de los pisos del secador.

A continuación se describe el comportamiento de la línea P.10, utilizando el molde A, a la salida del pre-secado.

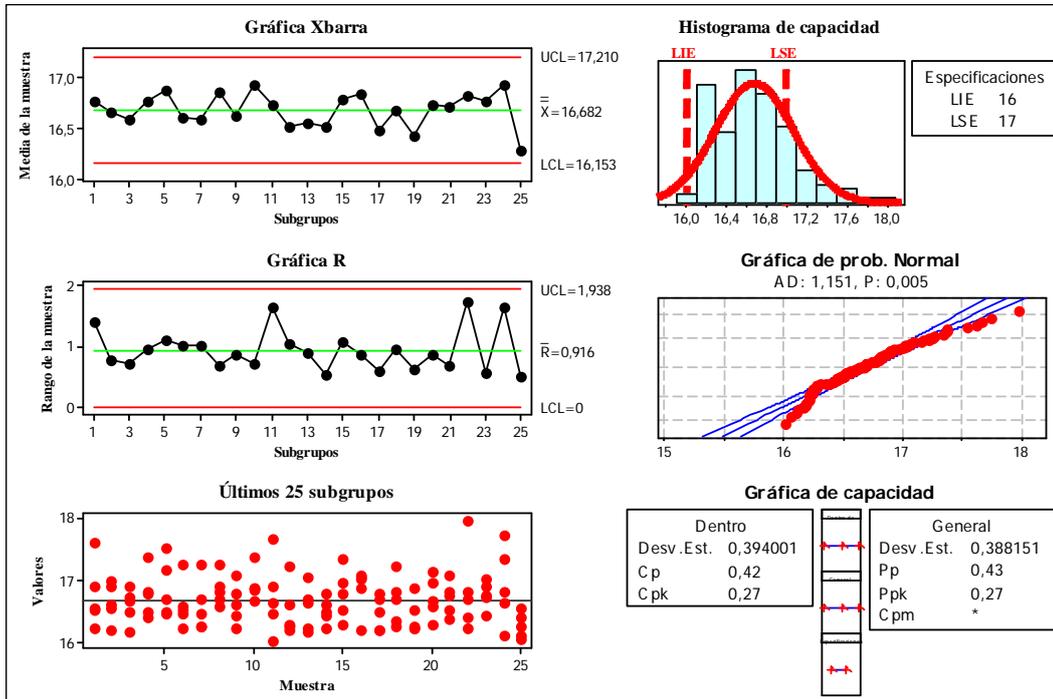


Figura N° 22. Cartas de control, y análisis de índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del pre-secado usando el molde A. (Situación posterior)

Se puede ver en la Figura anterior, resultados de un proceso uniforme, cuyos puntos están dentro de los límites de control y cuyos productos presentan contenidos de humedad que están dentro de los parámetros establecidos. Para certificar la gran mejora del proceso, se presenta el histograma correspondiente a esta situación, donde se confirma que la mayoría de los resultados están dentro de lo esperado por la corporación, (80% para ser preciso), lo que indica que el proceso mejoró sustancialmente.

Los resultados se ajustan a una distribución normal, por lo tanto se le pudo realizar el análisis de índices de capacidad, obteniendo que el Cp y Cp<sub>k</sub>, son iguales a 0,42 y 0,27 respectivamente, lo que quiere decir que el proceso se considera controlado pero que aún debe mejorar para alcanzar mayores niveles de productos dentro de especificación. Por otra parte, los valores tanto del Cp como del Cp<sub>k</sub> son diferentes, y por lo tanto el proceso no está centrado en su media, sino desplazada a la

derecha. En el mismo orden de ideas, se presentan los resultados de la línea P-10 a la salida del secador, operando con el molde A.

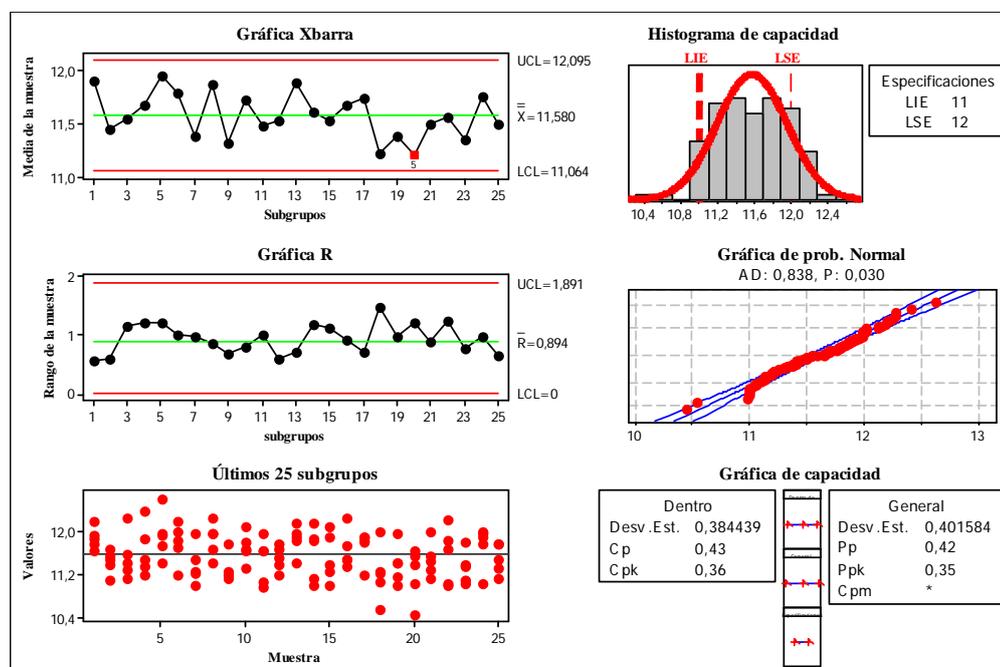


Figura N° 23. Cartas de control y análisis de índices de capacidad para la línea P-10 a la salida del enfriador usando el molde A. (Situación posterior)

En la Figura anterior se observa la distribución del contenido de humedad de las muestras analizadas en la corrida del producto, por medio del histograma de frecuencia. La carta de control de medias y rangos arroja tendencias para un proceso que se encuentra bajo control estadístico.

El conjunto de datos muestra un buen ajuste con respecto a la línea recta en la prueba probabilística, el cual se puede apreciar gráficamente.

Analizando el diagrama de frecuencias, se observa que la media no se encuentra centralizada. El estudio de capacidad indica que los índices Cp y Cpk son menores a 1,33, por lo cual el proceso está en control, pero no es capaz.

Los resultados para el molde B, en el pre-secado y enfriador se muestran en el apéndice N°16 y N°17, respectivamente.

Los índices de capacidad, mostraron al proceso como no capaz, sin embargo fue notoria la mejoría que tuvieron los datos frente a la situación analizada inicialmente. Desde el punto de vista de la autora, los objetivos para esta línea fueron alcanzados, no se logró eliminar la variabilidad pero si se disminuyó en grandes porcentajes. Y eso queda reflejado en la siguiente tabla.

**Tabla N° 17. Comparación de la situación inicial y la situación posterior, para la línea P-10**

<b>Línea P-10</b>	<b>Productos fuera de especificación</b>	
	<b>Situación inicial (%)</b>	<b>Situación final (%)</b>
<b>Molde A, salida del pre-secado</b>	72	29
<b>Molde A, salida del enfriador</b>	60	15
<b>Molde B, salida del pre-secado</b>	75	25
<b>Molde B, salida del enfriador</b>	65	28

### **Línea C-900**

Inicialmente, los resultados a la salida del pre-secado de esta línea estuvieron por encima de la especificación. Los ajustes realizados fueron: Aumentar la humedad relativa dentro del pre-secado, o lo que es lo mismo decir, disminuir el delta psicrométrico del controlador MPF2, para aumentar los recambios de aire.

Asimismo, durante el proceso de secado, en el análisis inicial, el producto tuvo una tendencia más seca de lo esperado. Por lo tanto, se aumentó el porcentaje de humedad relativa, disminuyendo el delta psicrométrico. Las nuevas condiciones del secador son omitidas, por ser información confidencial para la empresa. Sin embargo se puede mencionar que el delta sufrió cambios en las condiciones del pre-secado y secado de 1-2 puntos, respectivamente. Sin embargo, ante la reparación del trabatto, se espera que los resultados sean notorios, ya que se eliminó la alta variación inicial de esta etapa, y la alta pérdida de humedad que existía aquí. Para verificar el

comportamiento a la salida del pre-secado, utilizando el formato de codos, se tiene lo mostrado en la Figura N°24.

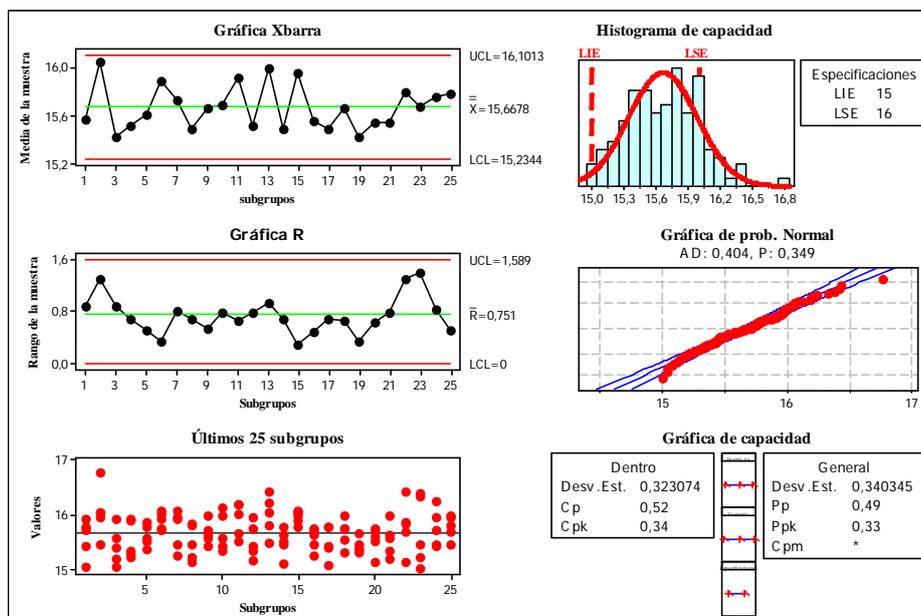


Figura N° 24. Cartas de control y análisis de índices de capacidad de la línea C-900 a la salida del pre-secado. (Situación posterior)

En la Figura anterior no se evidencian puntos fuera de los límites de control, ni patrones no aleatorios que le dan al proceso inestabilidad.

Adicionalmente, y en esta misma Figura, se expone el valor del índice de capacidad del proceso, tanto real ( $C_{pk}$ ) como potencial ( $C_p$ ). Los valores reportados por estos parámetros indican que el proceso no es capaz de cumplir con las especificaciones estipuladas o tolerancia (15-16 %).

La tendencia mostrada por los resultados es desplazada hacia la derecha del proceso, es decir, por encima del límite superior de especificación. El porcentaje de productos que incumplen con lo establecido se encuentra alrededor del 14%, representando esto un valor bajo, con respecto al que se tenía inicialmente. Al mismo

tiempo, se realizaron los análisis a la salida del secador de esta línea, y se obtuvo lo mostrado a continuación.

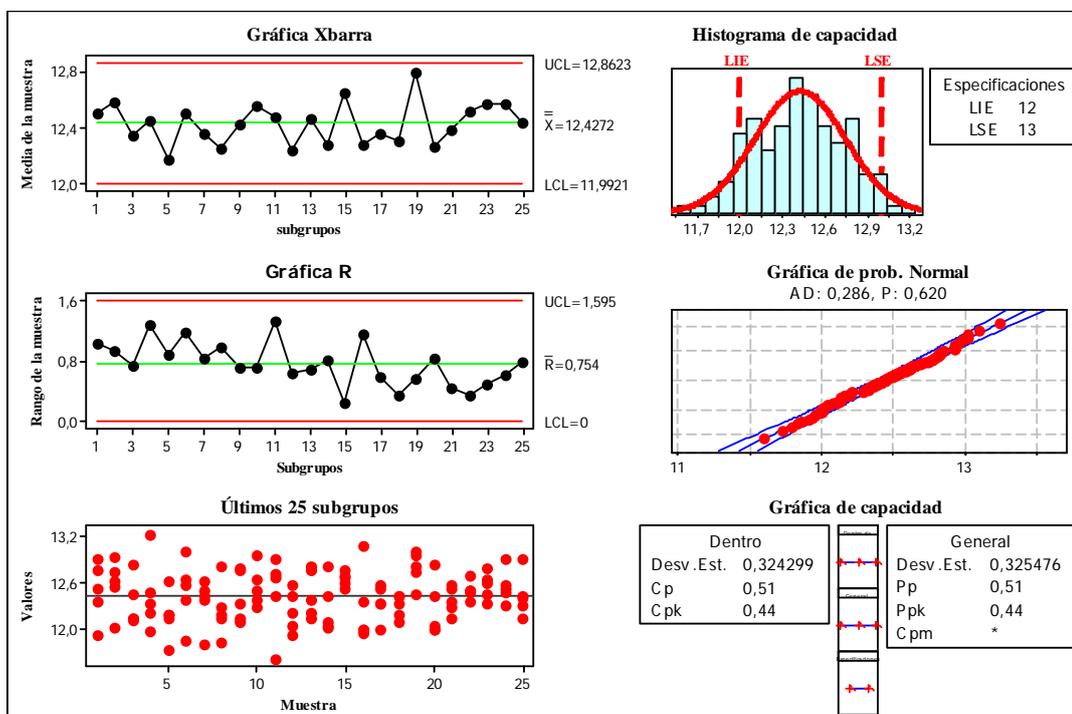


Figura N° 25. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea C-900 a la salida del enfriador. (Situación posterior)

A diferencia de lo obtenido inicialmente, los productos para esta corrida estuvieron más centrados en la media de especificación, y a su vez las cartas de control de medias y rangos muestran un comportamiento aleatorio sin puntos fuera de los límites de control, lo que se traduce al comportamiento de un proceso bajo control estadístico.

El porcentaje de productos fuera de lo esperado teóricamente disminuyó al 10%, a pesar de que éste es un valor bastante aceptable en el campo de trabajo, a nivel estadístico no lo es, puesto que los valores de los índices de capacidad se

muestran bastante alejados del estándar (1,33), lo que señala al proceso como no capaz.

Como se ha venido mencionando al final del análisis de todas las líneas, hasta ahora estudiadas, los índices de capacidad muestran al proceso como no capaz, por presentar índices de capacidad por debajo de 0,8, sin embargo, los objetivos fueron cumplidos, se disminuyó la variabilidad, se centraron los datos, y a su vez, e indirectamente se aumento el rendimiento de esta línea, generando un producto más húmedo que el obtenido inicialmente, pero dentro de especificación. En la siguiente tabla se muestra la comparación de las situaciones estudiadas, que corroboran los acá expuesto.

**Tabla N° 18. Comparación de la situación inicial y la situación posterior, para la línea C-900.**

<b>Línea C-900</b>	<b>Productos fuera de especificación</b>	
	<b>Situación inicial (%)</b>	<b>Situación final (%)</b>
<b>Salida del pre-secado</b>	81	14
<b>Salida del enfriador</b>	70	10

### **Línea M-500**

Inicialmente la línea M-500, se caracterizó por presentar valores muy secos a lo esperado por especificación, sin embargo, a pesar de que estos valores son totalmente aceptables en la operación de la planta, en este estudio se trató de alcanzar mayores valores del porcentaje de humedad en el producto terminado, para mejorar así el rendimiento de la línea.

Los ajustes realizados a las condiciones de proceso fueron: Disminuir la temperatura en 3°C y disminuir el delta psicrométrico en un punto, esto con la finalidad de aumentar el contenido de humedad del producto a la salida de la línea.

A continuación se muestran los resultados obtenidos.

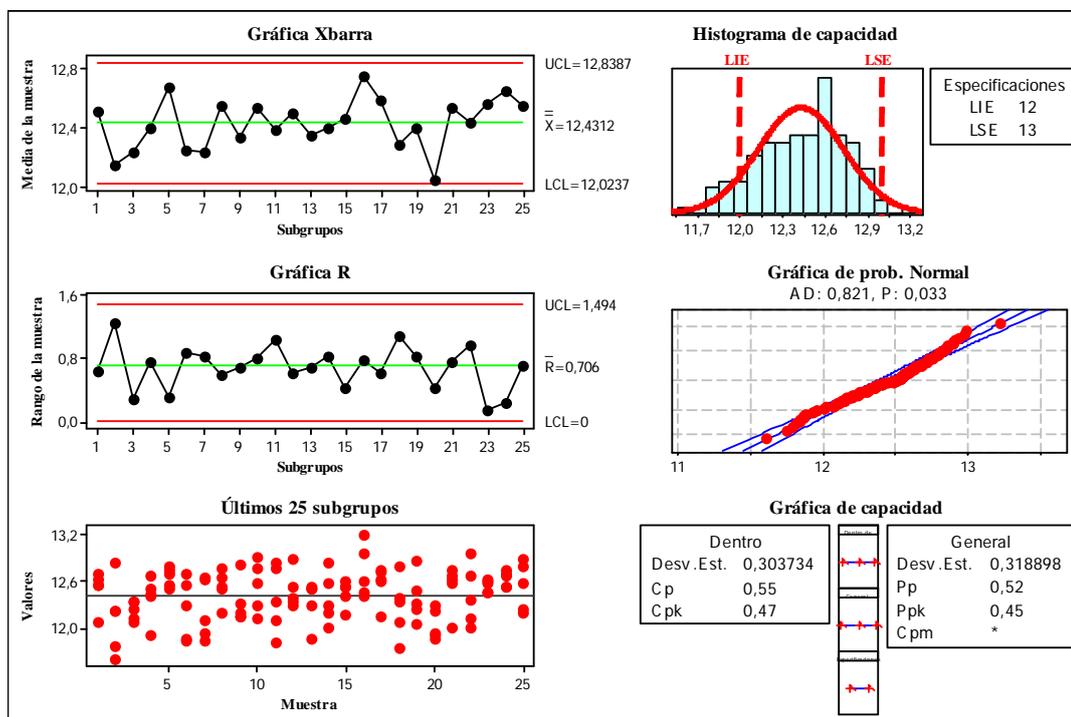


Figura N° 26. Cartas de control y análisis de capacidad de la línea M-500, operando con el formato tornillos (Situación posterior)

Como se puede observar el proceso mejoró notablemente con estos parámetros, se eliminaron los puntos fuera de los límites de control y las tendencias existentes. Se nota, un comportamiento medianamente aleatorio, que se puede visualizar mejor en el Histograma de Frecuencia

Por otra parte, se observa que el porcentaje de productos fuera del rango de las tolerancias representa el 12%, muy por debajo del 75% obtenido inicialmente. De igual manera, los valores del Cp y del Cpk fueron 0,55 y -0,47, respectivamente. Esto quiere decir, que el proceso está bajo control más no es capaz, así que es necesario el ajuste de los límites de especificación del producto, aparte de la gran diferencia que existe entre el Cp y el Cpk, queda comprobado que no es tan acorde a la realidad, ya que por un lado, el proceso está dentro de los límites de control, mientras que por el otro lado cumplen con los límites de especificación de diseño preestablecidos.

Ya para terminar; se obtuvo que para ninguna de las líneas el proceso fue capaz (a pesar de encontrarse bajo control estadístico), quizás lo valores de los índices de capacidad por debajo del estándar se deban al estrecho rango de los límites de especificación. Sin embargo, con esta pequeña variabilidad la planta puede funcionar sin contratiempos.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se mencionan las conclusiones de este trabajo especial de grado, y una serie de recomendaciones que permitirán darle continuidad y mejorar los resultados en la empresa.

#### **CONCLUSIONES**

- La implementación del sistema de control estadístico de procesos, en las líneas de pastas alimenticias secas, permitió disminuir la variabilidad del contenido de humedad de los productos de dichas líneas.
- Los porcentajes de contenido de humedad dentro de especificación (Tanto en el pre-secado como en el secado) para las pastas alimenticias secas, presentaron una notable mejora con la implementación del sistema de control estadístico.
- La mayoría de los productos, se encontraban fuera de especificación (más húmedo de lo esperado) por la falta de hermetismo en los secadores, y la incorrecta adecuación de las condiciones de proceso, siendo éstas las principales causas de la variabilidad.
- Los índices de capacidad, se ven afectados por el estrecho rango establecido en los límites de especificación.
- El cumplimiento de las condiciones de operación planteadas en los procedimientos es importante para el control estadístico del proceso.

### **RECOMENDACIONES**

- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos que conforman las cuatro líneas de producción de la planta de pasta MONACA.
- Realizar un segundo estudio estadístico, ajustando los límites de especificación que existen actualmente para cada uno de las líneas, y verificar los índices de capacidad de las mismas.
- Realizar la formación directa de control estadístico de procesos, y del proceso de secado de pastas alimenticias secas en planta, incluyendo a los supervisores, operadores prensas, personal de mantenimiento y calidad
- Aumentar la frecuencia de seguimiento de las variables del proceso (no solo las condiciones del secador), y de comportamiento de humedad.
- Proyectar la figura de un pastero de control central, formado y desarrollado en planta, con conocimientos en control estadístico y secado de pastas.
- Entrenamiento en la aplicación directa de metodología de arranque y parada de acuerdo a las tecnologías existentes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ramírez, Fabiola (2003). **Control de la temperatura y de la humedad de una línea de producción de pasta corta.** Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
2. Pineda, Karlha (2009). **Diseño de un sistema de control estadístico de proceso para garantizar el cumplimiento del contenido neto declarado en los helados acorde a la ley nacional de metrología.** Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
3. Steling, Sorely (2009). **Elaborar un sistema de control estadístico de humedad y densidad en las líneas de cereales para una empresa manufacturera de alimentos con la finalidad de optimizar la producción.** Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
4. Barrios, Mary (2007). **Elaboración de un plan de acción para reducir y estabilizar la variabilidad de los principales parámetros físico-químicos, en el proceso de fabricación de la crema dental.** Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
5. Ochoa, Yenia (2005). **Diseño e implementación de un sistema de control estadístico de proceso para la variable peso en la línea de pan de bimbo de Venezuela, C.A., planta Guarenas.** Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
6. Jurán, J.M., (s.f.). **Análisis y planeación de la calidad.** 3ª Edición. México, McGraw – Hill.
7. Perry, R. (1992). **Manual del Ingeniero Químico.** 7ma. Edición Volumen II, México, McGraw Hill, Pp. 12-3 a 12-103
8. **Pastas Alimenticias (2da. Revisión).** (1994, Abril 13). Norma Venezolana COVENIN 283: 1994.
9. Grandes Molinos de Venezuela. (2001). **Formación de operadores para la máquina Pavan.** Aragua: Moreno, Yime
10. Di Filippo (2009, noviembre 30). **Manual de Pastificación.** Ponencia presentada en la Escuela Latinoamericana de Molinería, Taller de Pastificación. (Pp 6-10). Puerto Cabello, Venezuela.

11. Moldes y equipos de pastas. **Procesos discontinuos para la producción de pastas alimenticias secas** (s.f). Obtenida el 20 de diciembre de 2009. De <http://www.molpasta.com/>
12. Grandes Molinos de Venezuela. (1998). **Manual Operativo de la Línea Pavan de Pasta Corta**. Aragua: Moreno, Yime.
13. Grandes Molinos de Venezuela. (1998). **Manual Operativo de la Línea Bühler de Pasta Larga**. Aragua: Moreno, Yime.
14. Cervantes, R., Fiorentini, L. (1995). **Empleo del aislado de proteína de soya en la elaboración de una pasta alimenticia**. Tesis de Licenciatura. Universidad La Salle. México.
15. De Temmerman, J y otros. (2008). **Design of an estimator for the prediction of drying curves**. Science direct [Revista en línea]. Disponible en: [www.elsevier.com/locate/conengprac](http://www.elsevier.com/locate/conengprac). [Consulta: 2009, noviembre 30].
16. Di Filippo (2009, noviembre 31). **La pasta**. Ponencia presentada en la Escuela Latinoamericana de Molinería, taller de pastificación. (Pp 15-20). Puerto Cabello, Venezuela.
17. Pavan. **Línea mecanizada de pasta larga**. Italia.
18. Montgomery, D. (1991). **Control Estadístico de la Calidad**. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
19. Grima, P y Martorell, J. (1995). **Técnicas para la Gestión de la Calidad**. España: Ediciones Díaz De Santos, S.A. 350 p
20. Prat Bartés, Albert, y otros (2004). **Métodos estadísticos. Control y mejoras de la calidad**. Ediciones UPC, España. 376 págs.
21. Freud, J. (1990). **Estadística Matemática con Aplicaciones**, 4<sup>ta</sup> ed. México: Prentice Hall Hispanoamericana. 350 p.
22. Hitoshi, K. (2002). **Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad**. Bogotá: Grupo Editorial Norma.
23. Besterfield, D. (1994). **Control de Calidad**. 4<sup>a</sup> edición. México, Prentice Hall Hispanoamericana. 340 p
24. Di Filippo (2009, noviembre 30). **Evaluación de la calidad de las pastas**. Ponencia presentada en la Escuela Latinoamericana de Molinería, características de calidad de las pastas alimenticias. (Pp 1-10). Puerto Cabello, Venezuela.

25. Pavan (1990, Abril 4). **Manual de manutención**. Ponencia presentada para Detmold RFA. Italia.
26. González, Carlos (s.f.). **Control Estadístico de Calidad**. Obtenida el 20 de mayo de 2010. De: <http://www.slideshare.net/puntofla/control-estadistico-de-procesos>.
27. Rayo, D. (s.f). **Control estadístico de la calidad**. Obtenida el 25 de mayo de 2010. De [www.vclm.es/profesorado/dverastegui/DOCUMENTOS/calidad.pdf](http://www.vclm.es/profesorado/dverastegui/DOCUMENTOS/calidad.pdf)
28. Kauffman, R (2009). **Estadística básica para supervisores aplicada al control de procesos**. Obtenida el 25 de mayo de 2010. De <http://www.mailxmail.com/curso-estadistica-basica-supervisores-aplicada-control-procesos/control-estadistico-procesos-cep>.
29. Torres, H. (s.f). **Control estadístico de la calidad**. Consultado el 20 de mayo de 2010. De <http://www.monografias.com/trabajos30/control-estadistico-calidad/control-estadistico-calidad.shtml>
30. Gutiérrez, L. (2008). **Seis Sigmas**. Consultado el 01 de Junio de 2010. De [www.aedem-virtual.com/articulos/126565926700.pdf](http://www.aedem-virtual.com/articulos/126565926700.pdf).
31. Arvelo, A. (1998). **La capacidad de los procesos industriales. Métodos estadísticos exigidos por las normas ISO 9000**. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas.
32. Hitoshi, K. (1992). **Herramientas básicas para el mejoramiento de la calidad**. Bogotá: Grupo Editorial Norma. 350 p.

APÉNDICE

Apéndice N°1. Constantes de las cartas de control de promedio – rango <sup>[26]</sup>

Tabla N° 19. Constantes de las cartas de control de promedio – rango

Tamaño de la Muestra	A <sub>2</sub>	E <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>
2	1,88	2,66	0	3,27	1,128
3	1,02	1,77	0	2,57	1,693
4	0,73	1,46	0	2,28	2,059
5	0,58	1,29	0	2,11	2,326
6	0,48	1,28	0	2	2,534
7	0,42	1,11	0,08	1,92	2,704
8	0,37	1,05	0,14	1,86	2,847

Apéndice N°2. Cálculo tipo sobre el cálculo de los parámetros de las cartas de control

1.- El cálculo del promedio para cada subgrupo, se observa en la ecuación (5).

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (5)$$

Donde:

$\bar{X}$ : Promedio del subgrupo

X<sub>i</sub>: Valor de cada subgrupo

n :Tamaño de cada subgrupo

$$\bar{X}_1 = \frac{18,04 + 18,76 + 19,26 + 18,6 + 18,76}{5} = 18,684$$

A continuación se muestran los datos experimentales obtenidos en esta etapa del estudio, donde las filas representan las muestras de los subgrupos y las columnas corresponden a los 25 días que duró este muestreo

**Tabla N° 20. Datos experimentales obtenidos en la línea C-800 a la salida del pre-secado  
(Situación inicial)**

Subgrupos	1	2	3	4	5	Media
Día 1	18,04	18,76	19,26	18,6	18,76	18,684
Día 2	19,07	21,37	21,48	20,66	19,08	20,332
Día 3	19,07	19,38	18,92	19,47	19,32	19,232
Día 4	19	19,13	18,79	20,49	18,91	19,264
Día 5	18,84	18,64	18,29	18,56	19,62	18,79
Día 6	19,18	19,98	18,34	18,19	19,65	19,068
Día 7	18,08	17,61	17,51	18,84	17,6	17,928
Día 8	18,76	19,32	18,87	19,67	18,87	19,098
Día 9	18,3	19,08	18,87	19,96	18	18,842
Día 10	19,01	19,07	18,5	18,85	18,64	18,814
Día 11	18,39	18,86	19,8	19,31	19,35	19,142
Día 12	17,93	17,91	18,16	17,99	17,93	17,984
Día 13	18,96	18,97	19,43	18,82	18,5	18,936
Día 14	18,3	19,78	19,38	18,01	18,04	18,702
Día 15	18,82	19,2	19,3	19,45	20,1	19,374
Día 16	18,6	19,2	20,21	18,15	19,1	19,052
Día 17	18,76	18,96	17,9	18,02	18,4	18,408
Día 18	18,7	18,07	18,5	18,95	18,65	18,574
Día 19	21,37	19,2	20,85	19,14	19,02	19,916
Día 20	19,38	19,04	18,96	18,77	18,58	18,946
Día 21	17,92	18,5	18,87	19,41	19,13	18,766
Día 22	17,2	18,01	17,5	17,98	18,1	17,758
Día 23	19,02	20,01	19,95	19,1	19,32	19,48
Día 24	20,01	19,9	19,55	19,42	19,35	19,646
Día 25	19,81	19,04	21,58	21,1	16,9	19,686

2.-En la ecuación (2) se muestra la forma de calcular el promedio bruto  $\bar{X}$ .

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k X_i}{k} \quad (6)$$

Con los valores de las medias mostrados en la tabla anterior se calcula el promedio bruto que representa el valor central de la gráfica de control de medias.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{18,684 + 20,332 + 19,232 + \dots + 19,686}{25} = 18,977$$

Donde:

$\bar{\bar{x}}$ : Promedio bruto

$k$ : Número total de subgrupo

3.- Para calcular el rango para cada subgrupo, se utiliza la ecuación (3)

$$R = X_S - X_I \quad (7)$$

Donde:

R: Rango

$X_S$ : Observación de mayor valor

$X_I$ : Observación de menor valor

$$R_1 = 19,26 - 18,04 = 1,22$$

Y así sucesivamente se debe calcular el rango para las muestras tomadas diariamente, en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos

**Tabla N° 20. Datos experimentales obtenidos en la línea C-800 a la salida del pre-secado  
(Situación inicial)**

Subgrupos	1	2	3	4	5	Rango
Día 1	18,04	18,76	19,26	18,6	18,76	1,22
Día 2	19,07	21,37	21,48	20,66	19,08	2,41
Día 3	19,07	19,38	18,92	19,47	19,32	0,55
Día 4	19	19,13	18,79	20,49	18,91	1,7
Día 5	18,84	18,64	18,29	18,56	19,62	1,33
Día 6	19,18	19,98	18,34	18,19	19,65	1,79
Día 7	18,08	17,61	17,51	18,84	17,6	1,33
Día 8	18,76	19,32	18,87	19,67	18,87	0,91
Día 9	18,3	19,08	18,87	19,96	18	1,96
Día 10	19,01	19,07	18,5	18,85	18,64	0,57
Día 11	18,39	18,86	19,8	19,31	19,35	1,41
Día 12	17,93	17,91	18,16	17,99	17,93	0,25
Día 13	18,96	18,97	19,43	18,82	18,5	0,93
Día 14	18,3	19,78	19,38	18,01	18,04	1,77
Día 15	18,82	19,2	19,3	19,45	20,1	1,28
Día 16	18,6	19,2	20,21	18,15	19,1	2,06
Día 17	18,76	18,96	17,9	18,02	18,4	1,06
Día 18	18,7	18,07	18,5	18,95	18,65	0,88
Día 19	21,37	19,2	20,85	19,14	19,02	2,35
Día 20	19,38	19,04	18,96	18,77	18,58	0,8
Día 21	17,92	18,5	18,87	19,41	19,13	1,49
Día 22	17,2	18,01	17,5	17,98	18,1	0,9
Día 23	19,02	20,01	19,95	19,1	19,32	0,99
Día 24	20,01	19,9	19,55	19,42	19,35	0,66
Día 25	19,81	19,04	21,58	21,1	16,9	4,68

4.- El cálculo del promedio del Rango se realiza a través de la ecuación (4)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{k} \quad (8)$$

Donde:

$R_i$ : Valor de rango para cada subgrupo

$\bar{R}$ : Rango promedio

$$\bar{R} = \frac{1,22 + 2,41 + 0,55 + \dots + 0,66 + 4,68}{25} = 1,411$$

5.- Cálculo de los límites de Control.

El límite de control superior de la gráfica de promedios se calcula a través de la ecuación (5)

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{X} \pm A_2 * \bar{R} \quad (9)$$

Donde

$UCL_{\bar{x}}$ : Límite de control superior de la gráfica de promedios

$A_2$ : Constante de la carta de control de promedio (Ver apéndice N°1)

$$UCL_{\bar{x}} = 18,977 + 0,58 * 1,411 = 19,791$$

El límite de control inferior de la gráfica de promedios, se calcula a través de la ecuación (6)

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{X} - A_2 * \bar{R} \quad (10)$$

Donde

$LCL_{\bar{x}}$ : Límite de control inferior de la gráfica de promedios

$$LCL_{\bar{x}} = 19,977 - 0,58 * 1,411 = 18,16$$

El límite de control superior de la gráfica de rangos, se calcula a través de la ecuación (11)

$$UCL_R = D_4 * \bar{R} \quad (11)$$

Donde

$UCL_R$ : Límite superior de control de la gráfica de rangos

$D_4$ : Constante de la carta de control de rangos (Ver apéndice N°1).

$$UCL_R = 2,11 * 1,411 = 2,98$$

El límite de control inferior de la gráfica de rangos, se calcula a través de la ecuación (12).

$$LCL_R = D_3 * \bar{R} \quad (12)$$

Donde

$LCL_R$ : Límite inferior de control de la gráfica de rangos

$D_3$ : Constante de la carta de control de rangos (Ver Apéndice N°1)

$$LCL_R = 0 * 1,411 = 0$$

### Apéndice N° 3. Calculo de los parámetros del diagrama de frecuencias

1. Cuento el número de datos “N” de la muestra.

Para 25 subgrupos de 5 muestras cada uno, el total de número de datos es de 125.

2. Determine el rango.

Ya fue determinado en el cálculo de los parámetros de la carta de control.

3. Determine el número de clases “Nc”, a través de la ecuación (13)

$$Nc = \sqrt{n} \quad (13)$$

Donde:

$n$ : Número de observaciones o tamaño de la muestra

$$N_c = \sqrt{5} = 2,23$$

4. Determine el intervalo, amplitud o ancho de clase “Ac”

$$Ac = \frac{R}{N_c} \quad (14)$$

$$Ac = \frac{1,441}{2,23} = 0,64$$

5. Determine los límites, comenzando con el valor menor como límite inferior de la primera clase.

El valor inferior de los datos es 16,9

Los rangos serán:  $16,9+0,64= 17,54$

$$17,54+0,64= 18,18$$

Y así sucesivamente hasta llegar a

$$20,94+0,64= 21,58$$

**Apéndice N°4. Tabla de confirmación de Juran**

**Tabla N° 21. Tabla de confirmación de Juran**

 <b>Tabla de confirmación de causas de Juran</b>			
Departamento	Área	Responsable	Equipo de trabajo
Producción	Producción	D. Blanco	-
Causa Seleccionada	Método de Confirmación	Resultados Obtenidos	
Paradas de planta	Realizar toma de muestras cuando la línea está parada y compararla con los resultados obtenidos cuando la línea se encuentra operativa	Afecta al contenido de humedad, generando productos con porcentajes de humedad bajos, e incluso con señales de quemado y "venas"	
Calibración de la instrumentación	Manipulación de los parámetros del microprocesador de control, y verificar el comportamiento del mismo	No afecta el contenido de humedad, porque se encuentra calibrada.	
Condiciones del secador	Manipular los parámetros de temperatura y humedad relativa, y observar los cambios en el comportamiento de humedades	Afecta el porcentaje de humedad de la pasta	

**Tabla N° 21. Tabla de confirmación de Juran (Continuación)**

 <b>Tabla de confirmación de causas de Juran</b>			
Departamento	Área	Responsable	Equipo de trabajo
Calidad	Laboratorio	Analista de calidad	-
Causa Seleccionada	Método de Confirmación	Resultados Obtenidos	
Calibración de la termobalanza	Verificar que se lleve a cabo la calibración de la misma por parte del proveedor	La termobalanza arroja valores confiables, y la frecuencia de calibración es suficiente para garantizar esto.	
Limpieza del molino	Se debe asegurar la limpieza del molino de muestras entre una medición y otra	Altera el valor obtenido, si el molino se encuentra sucio, o con rastros de la muestra anterior.	
Humedad de la sémola	Toma de muestras del camión cisterna que suministra la materia prima	No afecta el contenido de humedad, porque se cumple con los parámetros exigidos por la misma.	
Humedad del empaste	Se toman muestras del empaste en la tina de amasado, y se les mide el contenido de humedad, a su vez se debe anotar el valor de la presión del tornillo sinfín	No afecta el contenido de humedad del producto final, porque se cumplen con los valores de especificación exigidos para esta etapa del proceso. Los valores mostrados en los tornillos sinfín concuerdan con lo esperado según el porcentaje de humedad obtenido, es decir se cumple con la relación establecida en la planta	
Recolección de datos	Se toman muestras a lo largo de la caña (extremos y parte central), y se compara con una muestra tomada aleatoriamente de la misma caña	Efectivamente, una muestra al azar, es representativa, del promedio de humedad presente en los hilos de pasta que están a lo largo de la caña.	

Tabla N°21. Tabla de confirmación de Juran (Continuación)

 <b>Tabla de confirmación de causas de Juran</b>			
Departamento	Área	Responsable	Equipo de trabajo
Mantenimiento	secador C-800 y P-10	Mantenimiento	-
Causa Seleccionada	Método de Confirmación	Resultados Obtenidos	
Falta de hermetismo en el secador	Al colocarse en las líneas de pasta larga, se hace notorio las pérdidas de humedad originadas por la falta de hermetimo	Afecta en gran cantidad el contenido de humedad del producto final, por ser el secador la parte fundamental de este proceso.	
Peso de las cañas, distribución de hilos	Medición de dos cañas seguidas a la salida del molde, y a la salida del secador	Afecta al contenido de humedad del producto final elaborado, pues los hilo de pasta no se encuentran bien distribuidos.	

## Apéndice N°5. Cronograma para ejecutar las acciones correctivas

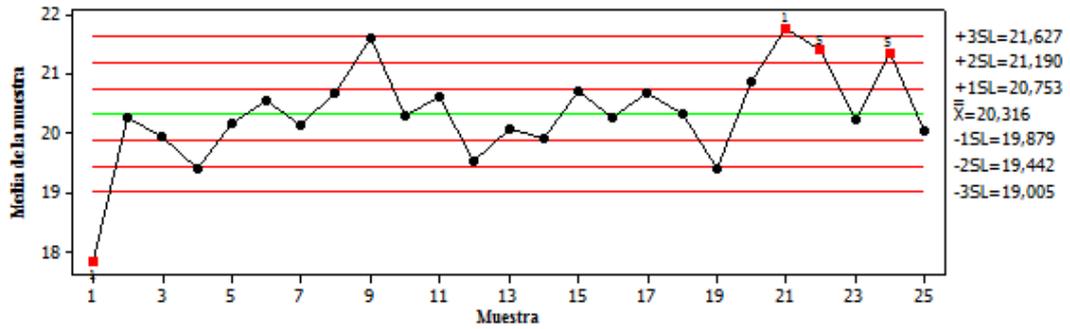
Tabla N° 22. Cronograma para ejecutar las acciones correctivas

 <b>Cronograma de acciones correctivas</b>				
Departamento	Área	Responsable	Equipo de trabajo	Fecha
Mantenimiento	Secador	Mecánico, turno central	-	-
Causa confirmada	Acción correctiva	Responsable	Período de Evaluación	Resultados Obtenidos
Falta de hermetismo en el secador C-800	Reparación de compuertas del secadero de la línea C-800, desde las manillas que permiten la apertura de las compuertas, hasta los ventanales de las mismas, que están rotos.	Dpto. de Mantenimiento	-	Se colocó tiro plomo a las ventanillas del secador como medida de mantenimiento temporal. Se colocaron unas tablas en el interior del secadero para llenar el espacio que había en él
Falta de hermetismo del secador de la línea P-10	Reparación o sustitución de las manillas que permiten la apertura de los pisos del secadero	Dpto. De mantenimiento	-	Se sustituyeron las manillas defectuosas
Disminución de las paradas no programadas	Implementación de un sistema de mantenimiento preventivo centrado en confiabilidad.	Dpto. de Mantenimiento	-	No alcanzó a implementarse en su totalidad durante la ejecución de este trabajo. De lograrse se estaría disminuyendo los tiempos muertos, generados a partir de frecuencias paradas de corta duración, e indirectamente se contribuiría a la disminución de producto final elaborado fuera de especificación
Mala distribución de hilos en dos cañas seguidas de la línea C-800	Reparación y posterior verificación de la campana distribuidora de hilos de esta línea	Dpto. Mantenimiento	-	Distribución apropiada de los hilos a lo larg de la caña. Generando cañas con un peso promedio similar.
Condición del trabatto de la línea C-900	Reparación del sistema de calentamiento de este equipo	Dpto. Mantenimiento	-	Los ajustes en el trabatto, permitieron disminuir la variabilidad del contenido de humedad de los flujos salientes del mismo. Asimismo se logró que no existiera una pérdida de humedad tan elevada en esta etapa del proceso.

Tabla N°22. Cronograma para ejecutar las acciones correctivas (Continuación)

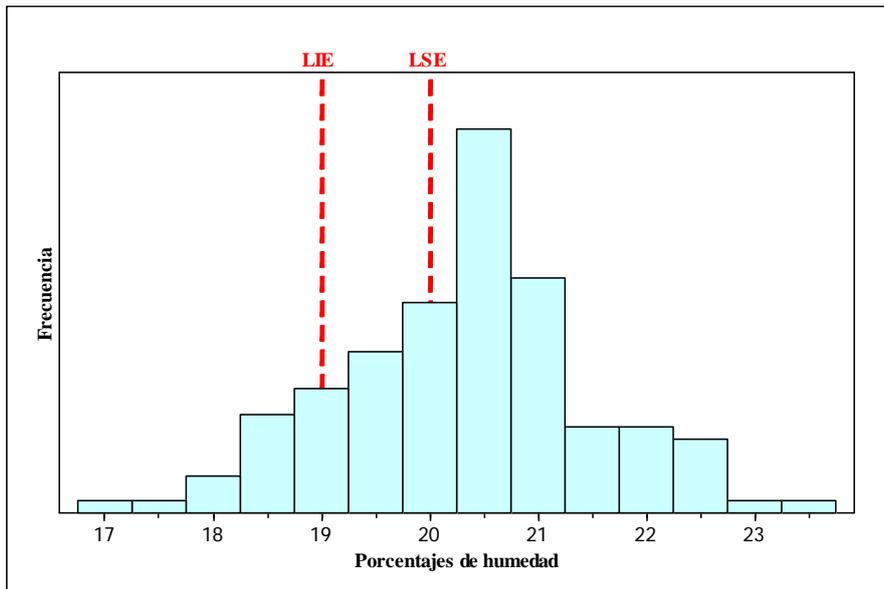
 <b>Cronograma de acciones correctivas</b>				
Departamento	Área	Responsable	Equipo de trabajo	Fecha
Producción	Líneas C-800, P-10, M-500, C-900	R. Vega	D. Blanco, R. Vega, Y. Moreno	-
Causa confirmada	Acción correctiva	Responsable	Período de Evaluación	Resultados Obtenidos
Levantamiento de condiciones de operación y diagramas de secado	Análisis de las condiciones actuales de operación, en cuanto a lo obtenido en el estudio de la situación inicial, y en base a ello y las teorías de secado realizar los ajustes que se consideren necesarios. El tanteo, se aplicará en esta fase.	R. Vega	-	Estandarización de las condiciones de proceso, en especial de las condiciones del secador, menos cantidad de producto fuera de especificación
Frecuencia de cambio de moldes	Establecimiento del cambio de filtros cada 48 horas, y cambio de moldes cada 96 horas en las líneas de pasta larga. Supervisión en el cumplimiento de la misma	R. Vega , D. Blanco	-	Mejoras del rendimiento de las líneas de pasta larga. Estandarización de las condiciones de proceso, ya que se evita el constante cambio de los set point de las mismas
Mano de obra	Formación directa de CEP y proceso de secado de pastas alimenticias secas en planta del recurso humano, incluye a los supervisores, operadores prensas, personal de mantenimiento y calidad.	Y. Moreno	-	No se implementó durante la ejecución de este trabajo. Sin embargo, con esto se lograría reducir la influencia negativa del operador en el proceso productivo, además de generar motivación y mejor desenvolvimiento de estos en su respectiva área de trabajo.

**Apéndice N°6. Carta de control a la salida del pre-secado de la línea C-800, operando con el molde B.**



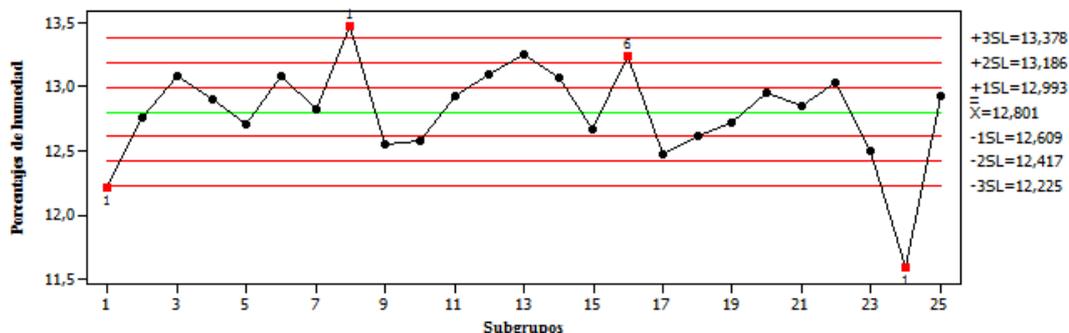
**Figura N° 27. Carta de control a la salida del pre-secado de la línea C-800, operando con el molde B. (Situación inicial)**

**Apéndice N°7. Diagrama de frecuencia a la salida del pre-secado de la línea C-800, operando con el molde B.**



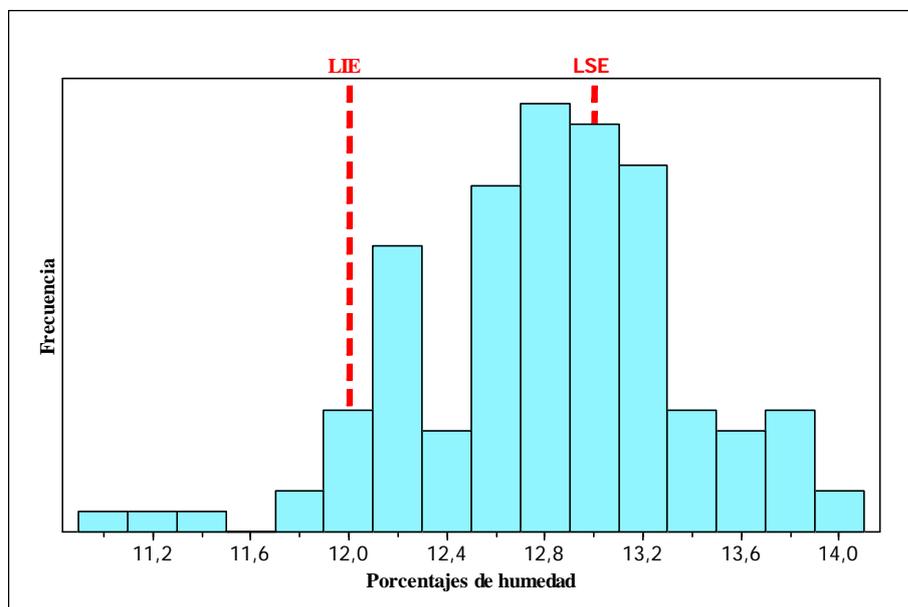
**Figura N° 28. Diagrama de frecuencia a la salida del pre-secado de la línea C-800, operando con el molde B. (Situación inicial)**

**Apéndice N°8. Carta de control de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde B**



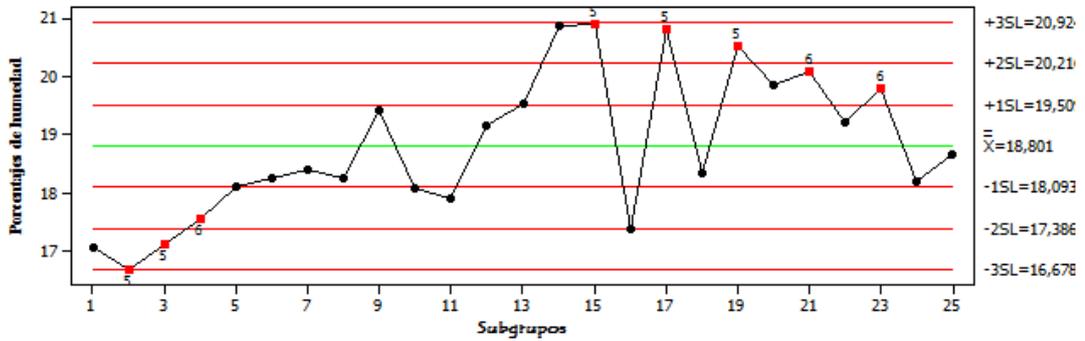
**Figura N° 29. Carta de control de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde B (situación inicial)**

**Apéndice N°9. Diagrama de frecuencias de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde B.**



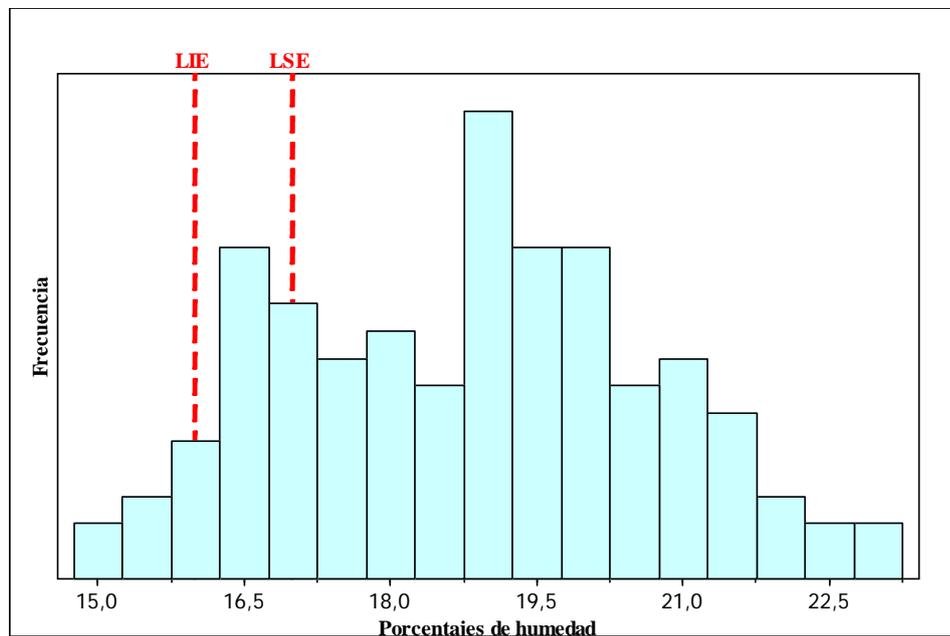
**Figura N° 30. Diagrama de frecuencias de la línea C-800 a la salida del enfriador utilizando el molde B. (Situación inicial)**

**Apéndice N°10. Cartas de control de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde B**



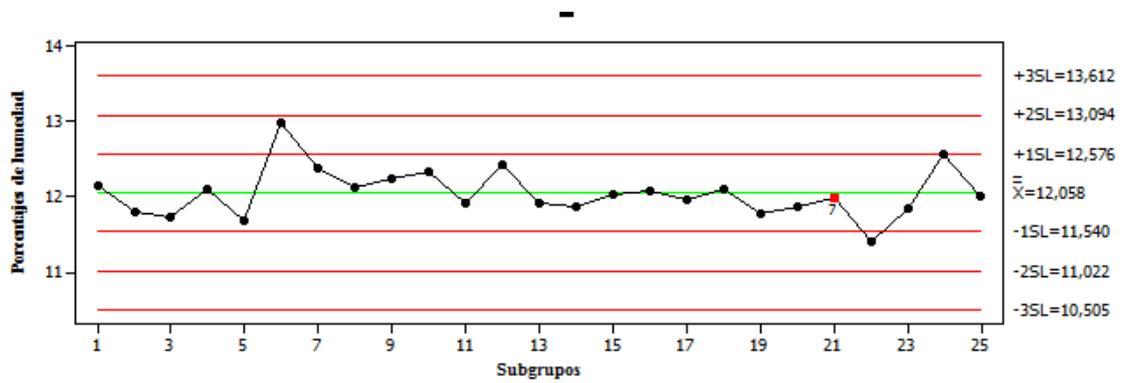
**Figura N° 31. Cartas de control de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde B (Situación inicial)**

**Apéndice N°11. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde B**



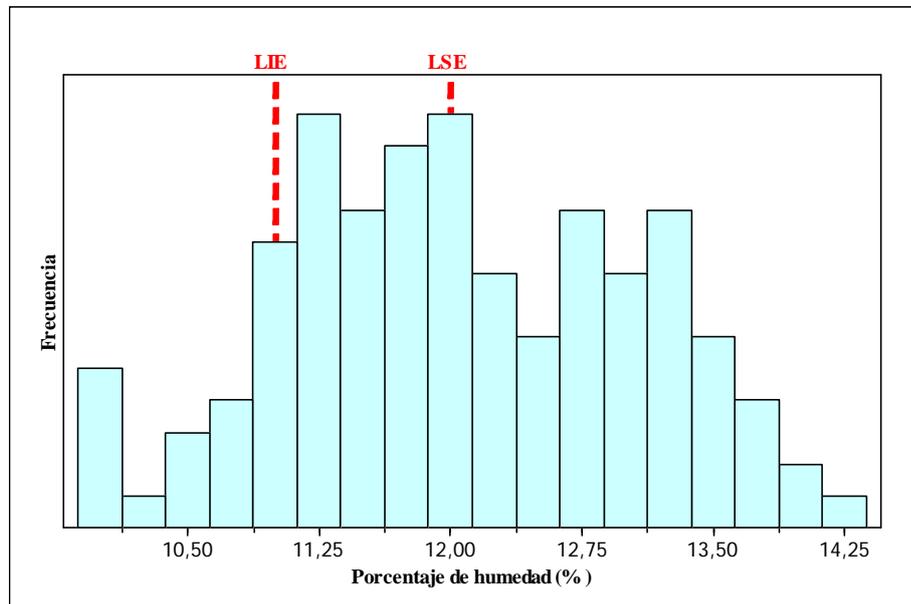
**Figura N° 32. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del pre-secado utilizando el molde B (Situación inicial)**

**Apéndice N° 12. Carta de control de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde B**



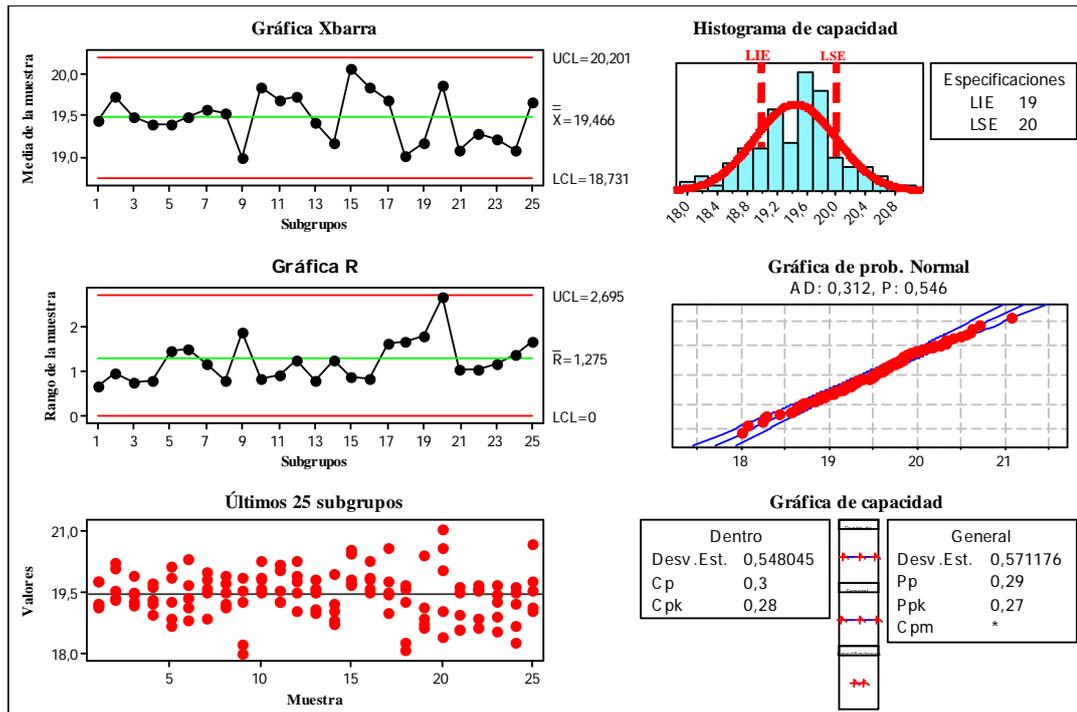
**Figura N° 33. Carta de control de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde B (Situación inicial)**

**Apéndice N°13. . Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde B.**



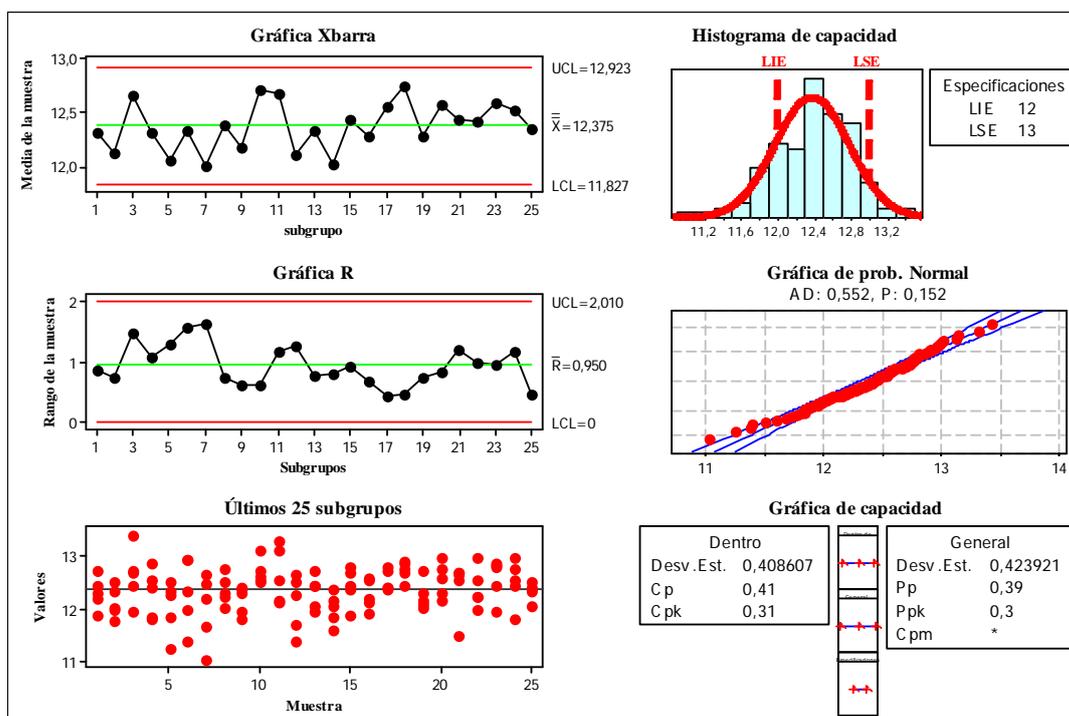
**Figura N° 34. Diagrama de frecuencias de la línea P-10 a la salida del enfriador utilizando el molde B. (Situación inicial)**

**Apéndice N°14. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea C-800 a la salida del pre-secado usando el molde B.**



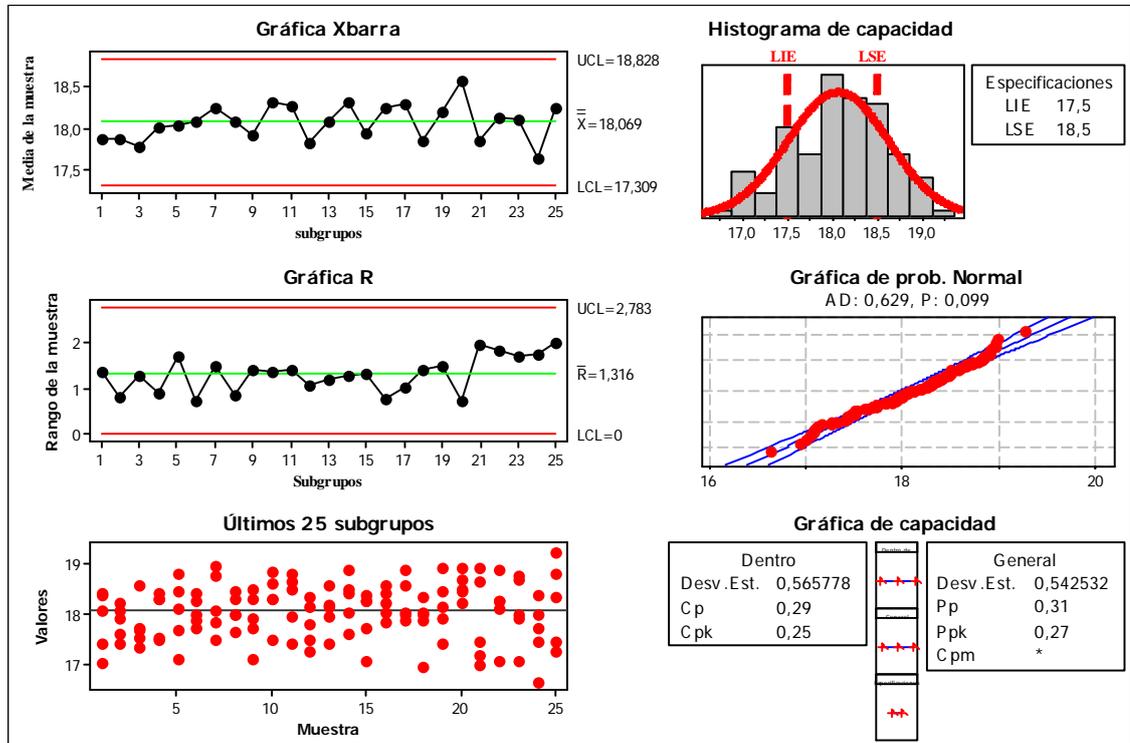
**Figura N° 35. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea C-800 a la salida del pre-secado usando el molde B (Situación posterior)**

**Apéndice N°15. Cartas de control y análisis de loa índices de capacidad de la línea C-800 a la salida del enfriador usando el molde B.**



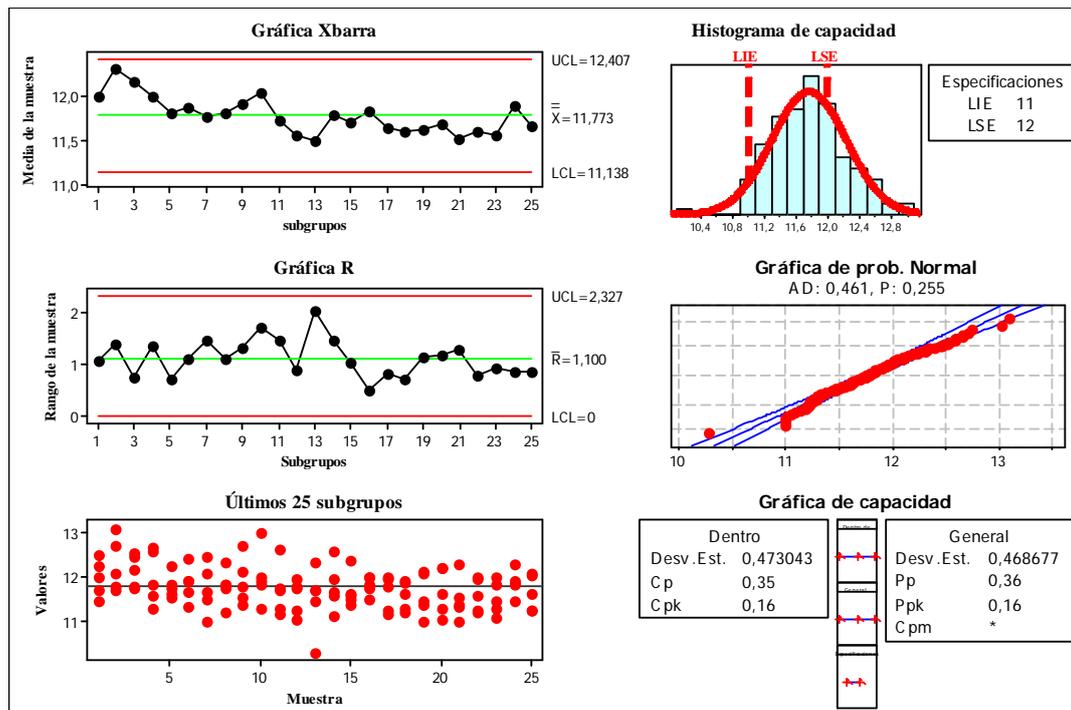
**Figura N° 36. Cartas de control y análisis de loa índices de capacidad de la línea C-800 a la salida del enfriador usando el molde B. (Situación posterior)**

**Apéndice N°16. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del pre-secado usando el molde B**



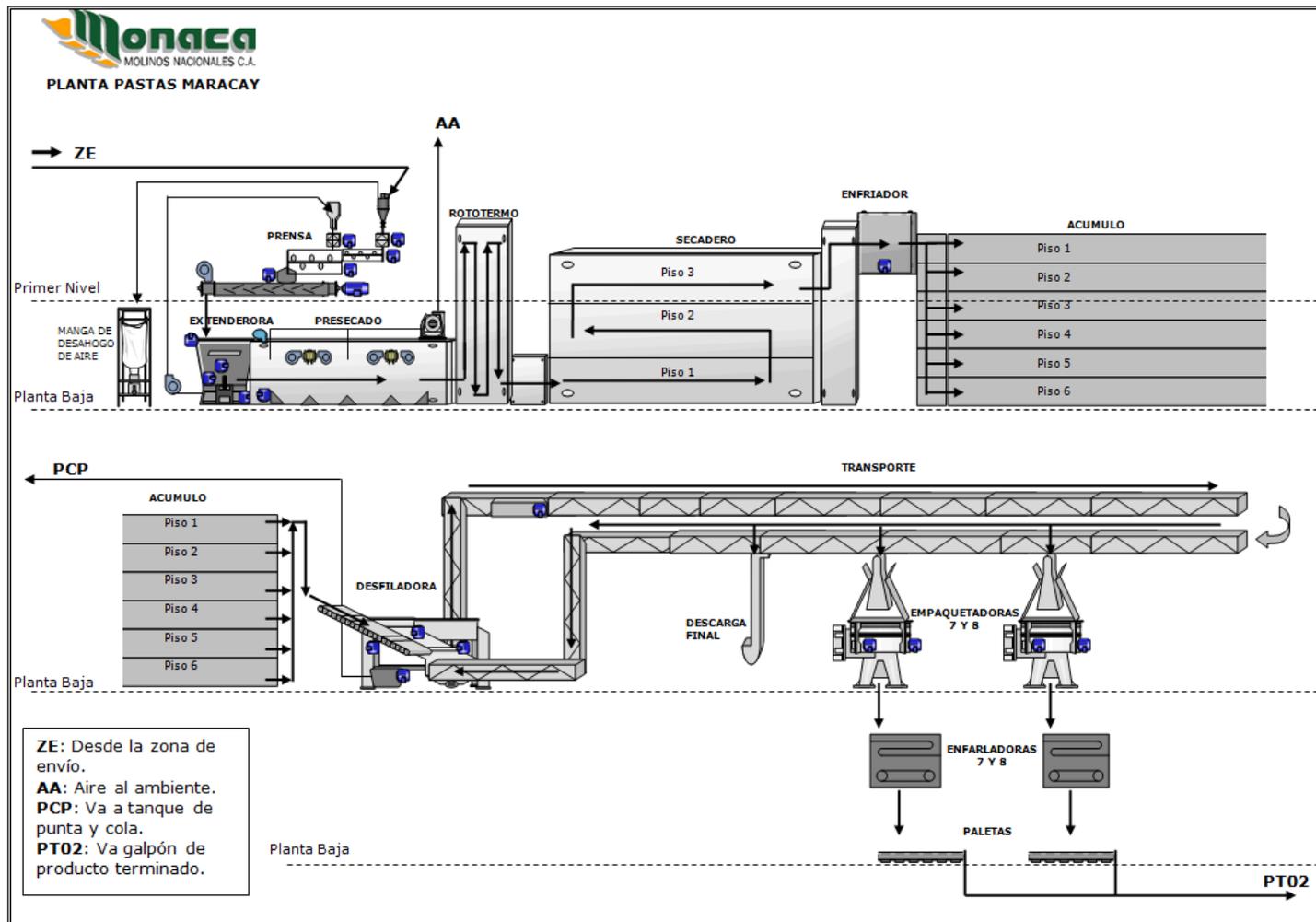
**Figura N° 37. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del pre-secado usando el molde B (Situación posterior)**

**Apéndice N°17. Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del enfriador usando el molde B.**

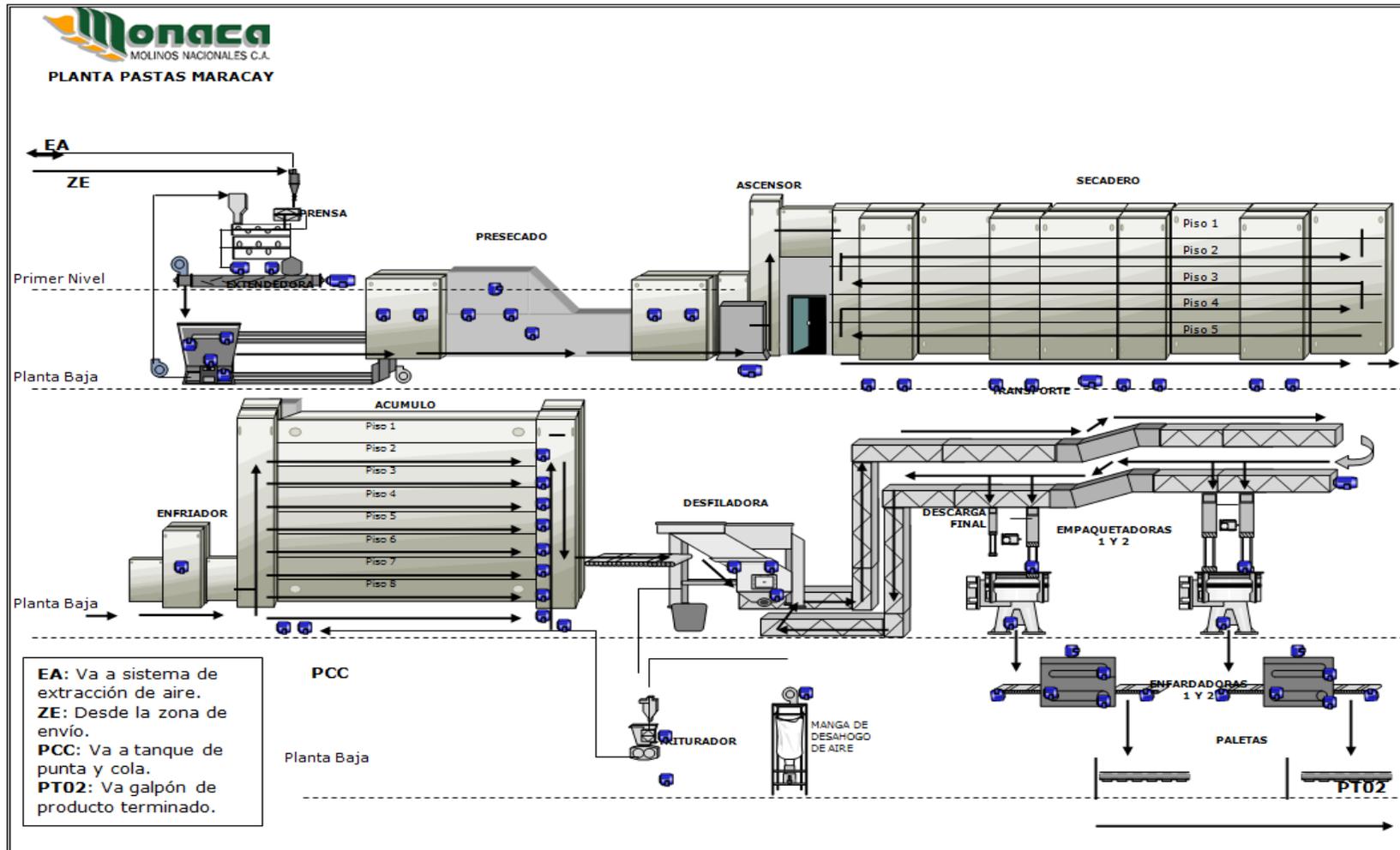


**Figura N° 38- Cartas de control y análisis de los índices de capacidad de la línea P-10 a la salida del enfriador usando el molde B. (Situación posterior)**

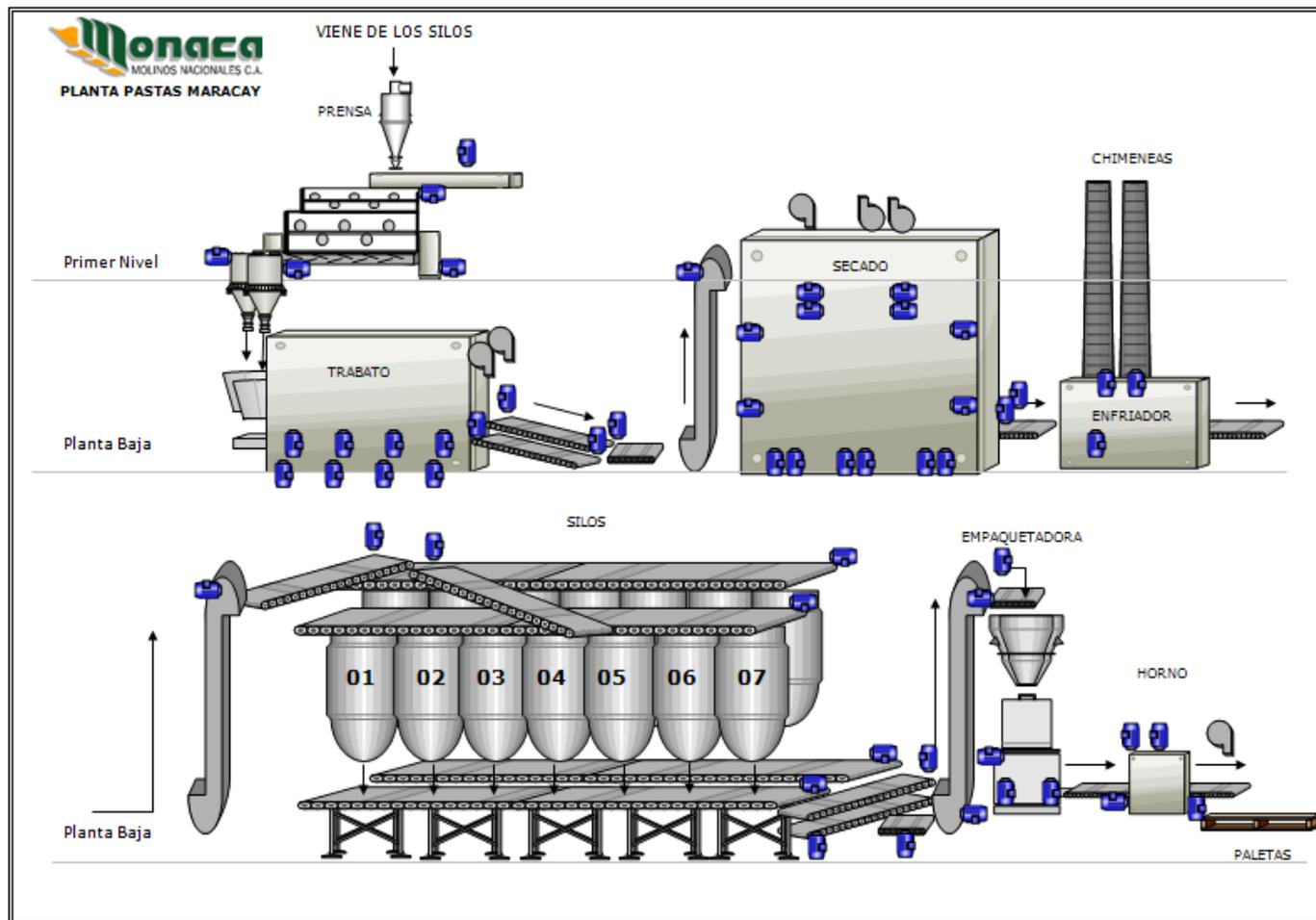
A continuación se muestran los esquemas generales para cada una de las líneas, con la finalidad de dar al lector una vista generalizada de las mismas, allí se identifican cada una de las etapas del proceso productivo, el flujo que sigue la pasta en proceso desde el empastado hasta el empaquetado de la misma.



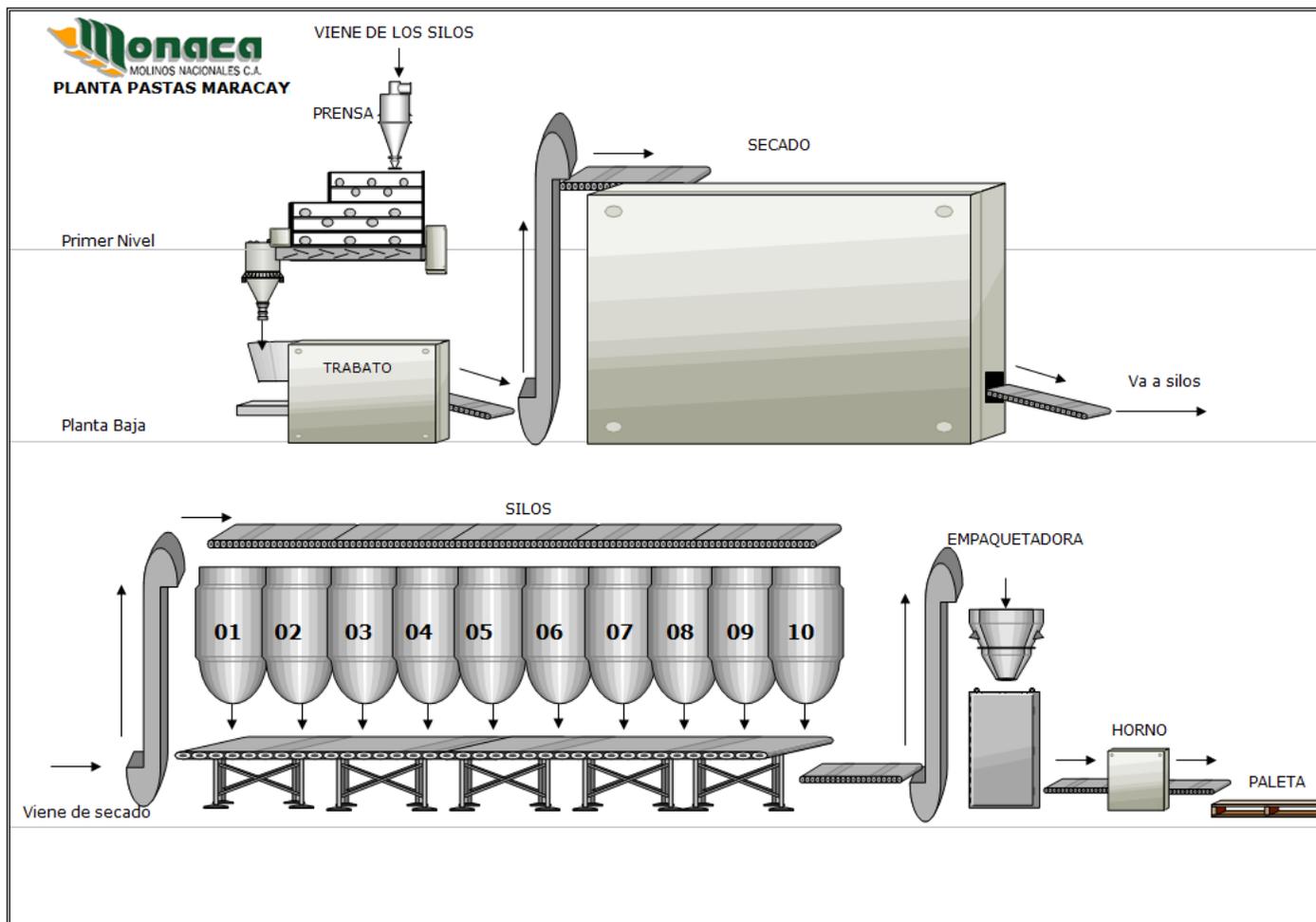
Apéndice N°18.. Diagrama de general de la línea Pavan 1000, P-10.



Apéndice N°19. Diagrama general de la línea Cobra 800, C-800



Apéndice N°20.. Diagrama general de la línea Cobra 900, C-900



Apéndice N°21. Diagrama general de la línea Mabra 500, M-500

ANEXOS

Anexo N°1. Diagrama psicrométrico [1]

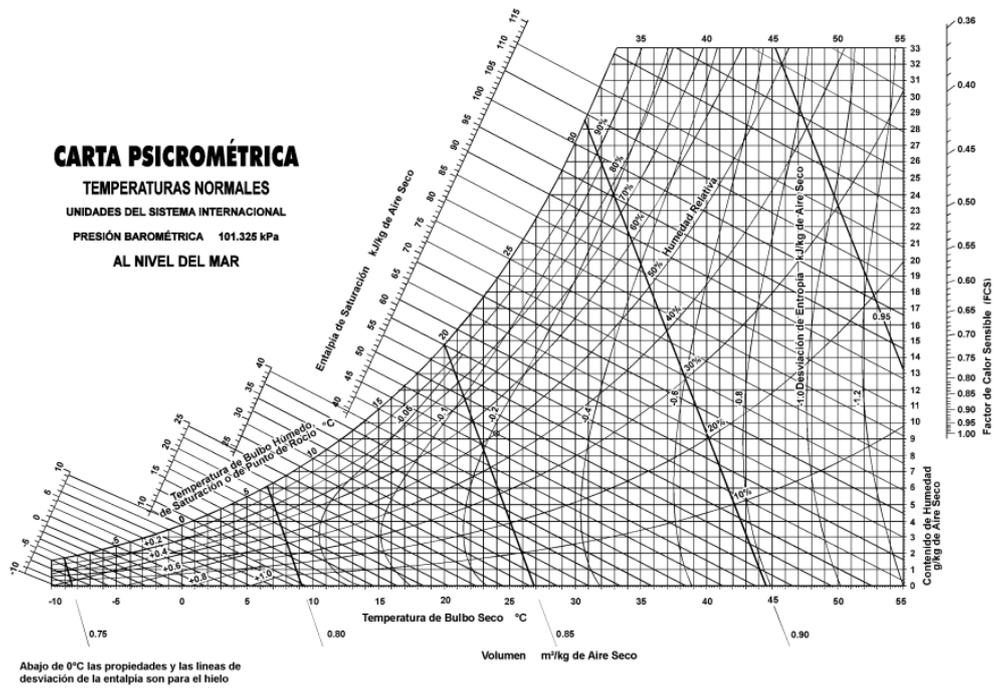


Figura N° 39. Diagrama psicrométrico

Anexo N°2. Esquema General de la prensa de una línea productora de pasta. <sup>[10]</sup>

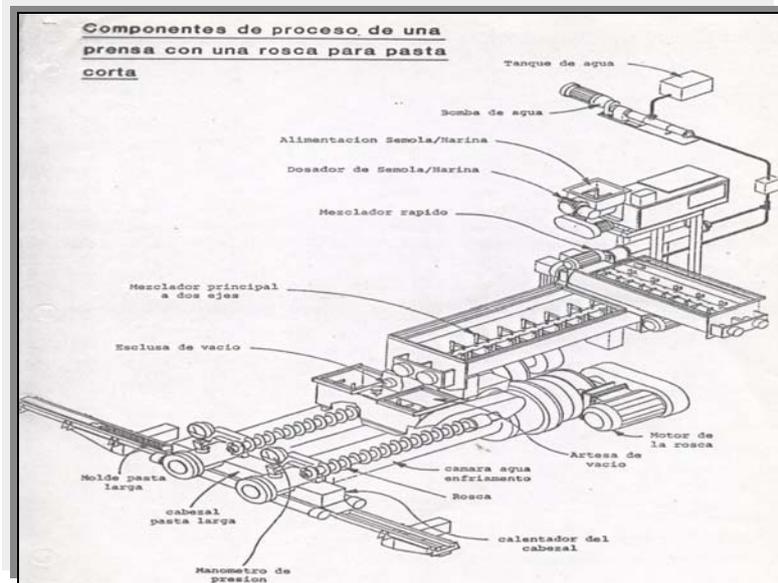


Figura N° 40. Esquema General de la prensa de una línea productora de pasta

Anexo N°3. Extendedora de una línea productora de pasta larga <sup>[11]</sup>



Figura N° 41. Extendedora de una línea productora de pasta larga

**Anexo N°4. Cuchilla de una línea de pasta corta**



**Figura N° 42-A. Funcionamiento de una cuchilla en una línea de pasta corta. Vista frontal.** <sup>[10]</sup>



**Figura N°42-B. Funcionamiento de una cuchilla en una línea de pasta corta. Vista inferior** <sup>[10]</sup>

**Anexo N°5. Secador de una línea productora de pasta.** <sup>[10]</sup>



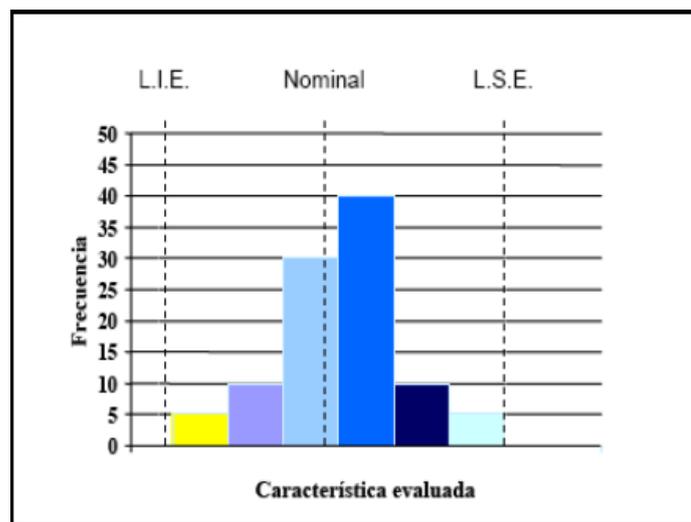
**Figura N° 43. Secador de una línea productora de pasta**

**Anexo N°6. Acúmulo de una línea productora de pasta.** <sup>[10]</sup>



**Figura N° 44. Acúmulo de una línea productora de pasta**

**Anexo N°7. Diagrama de Frecuencias** <sup>[19]</sup>



**Figura N° 45. Diagrama de Frecuencias**

Se observa cómo cada barra del gráfico representa la frecuencia en la que ocurren los datos y éstos a su vez son comparados con los límites superior e inferior de especificación, (LIS e LIE, respectivamente).

Anexo N°8. Diagrama de Pareto <sup>[19]</sup>

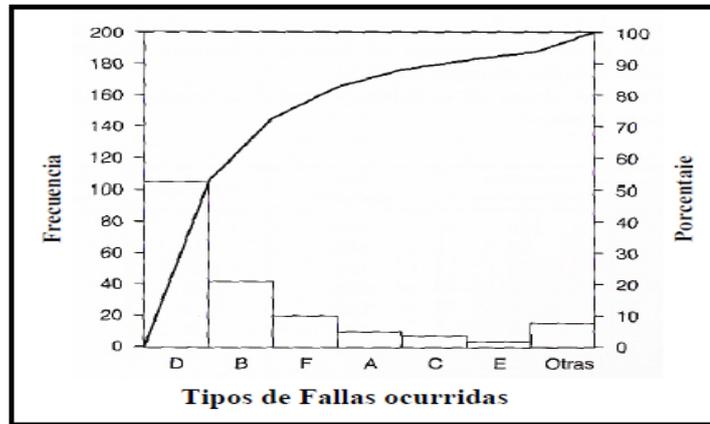


Figura N° 46. Diagrama de Pareto

Anexo N°9 Diagrama Causa- efecto. <sup>(Blanco, 2011)</sup>

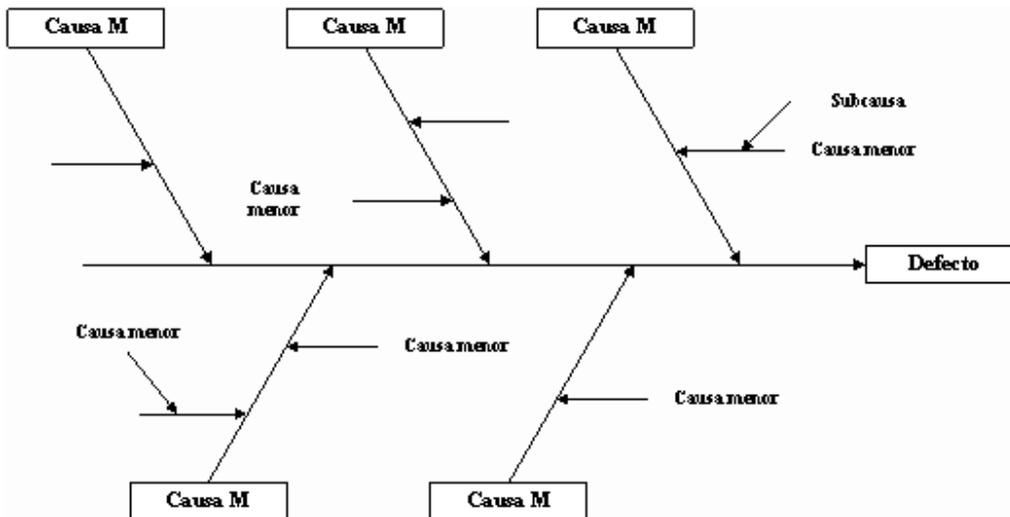


Figura N° 47. Diagrama Causa- efecto

Anexo N°10. Carta de control (Blanco 2011)

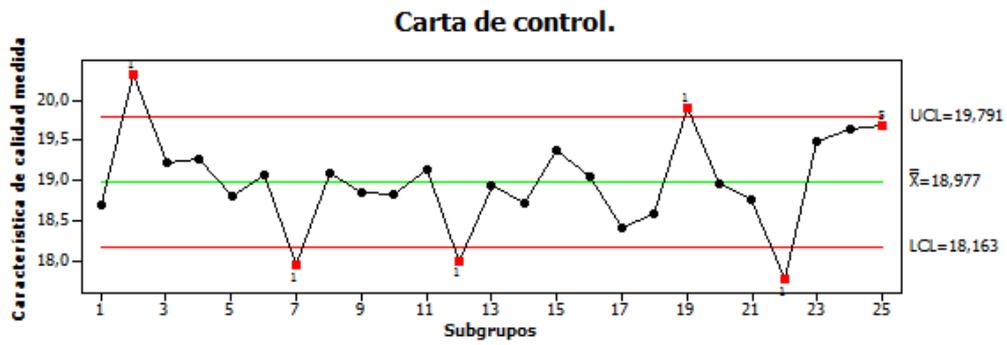


Figura N° 48 Carta de control

Anexo N°11. Patrón natural de variación <sup>[23]</sup>

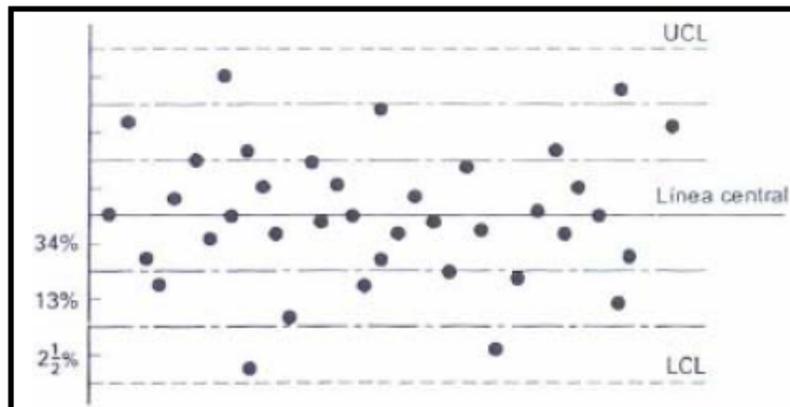
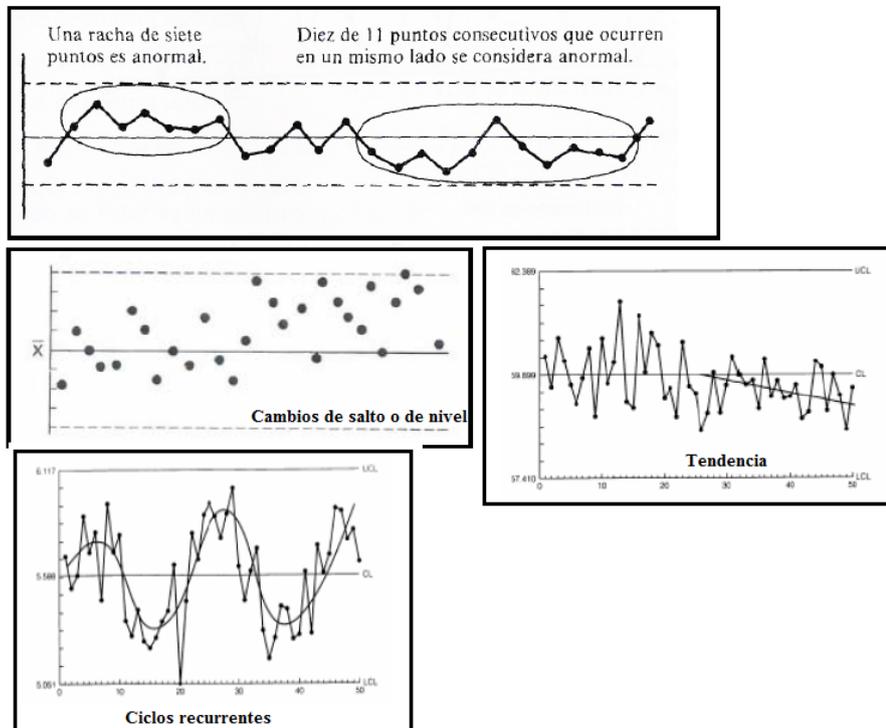


Figura N° 49. Patrón natural de variación

**Anexo N°12. Patrones que indican la condición fuera de control <sup>[6]</sup>**



**Figura N° 50. Patrones que indican la condición fuera de control**

Anexo N°13. Pruebas de Juran [27]

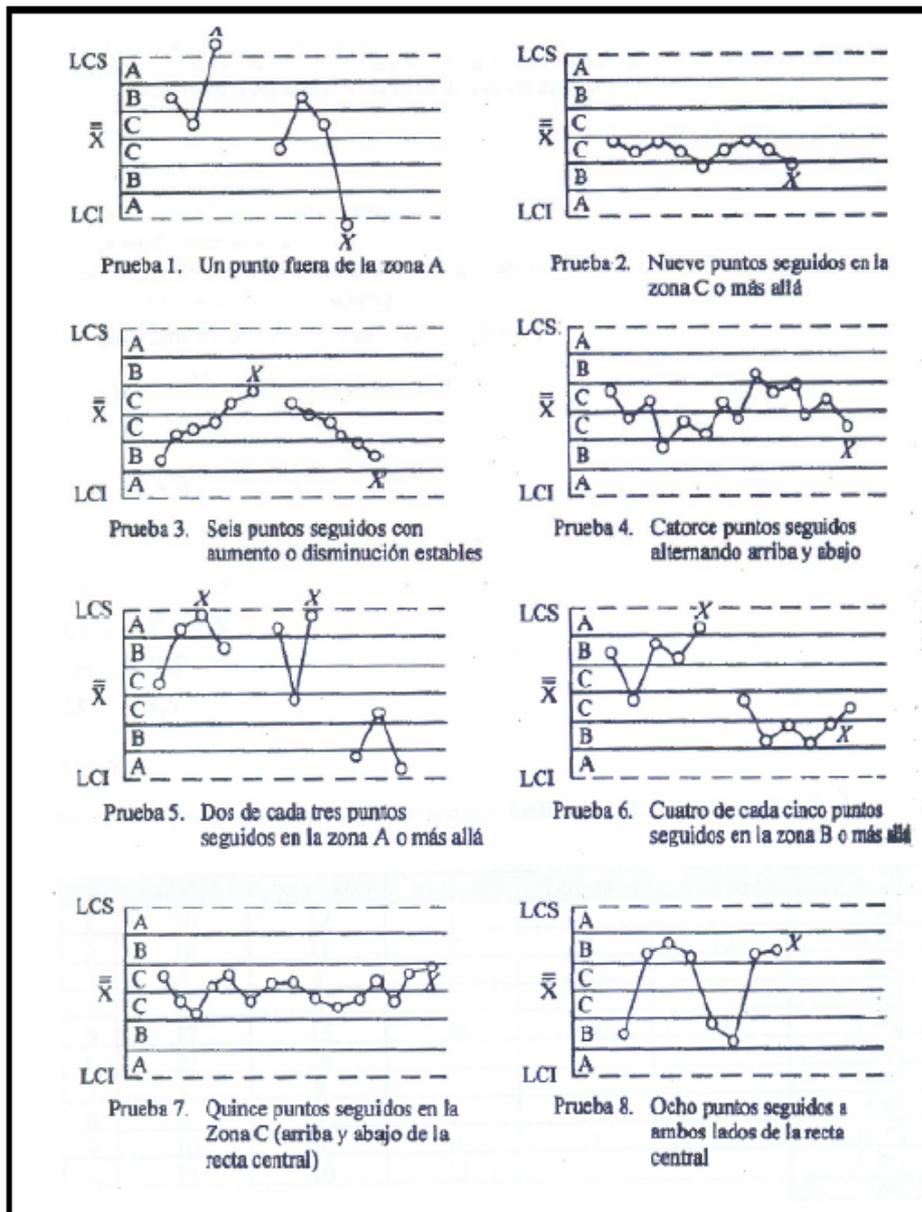


Figura N° 51. Pruebas de Juran

Anexo N°14. Moldes y filtros <sup>[11]</sup>



Figura N° 52. Moldes y filtros

Anexo N°15. Ciclos de secado para tecnologías de baja temperatura. <sup>[24]</sup>

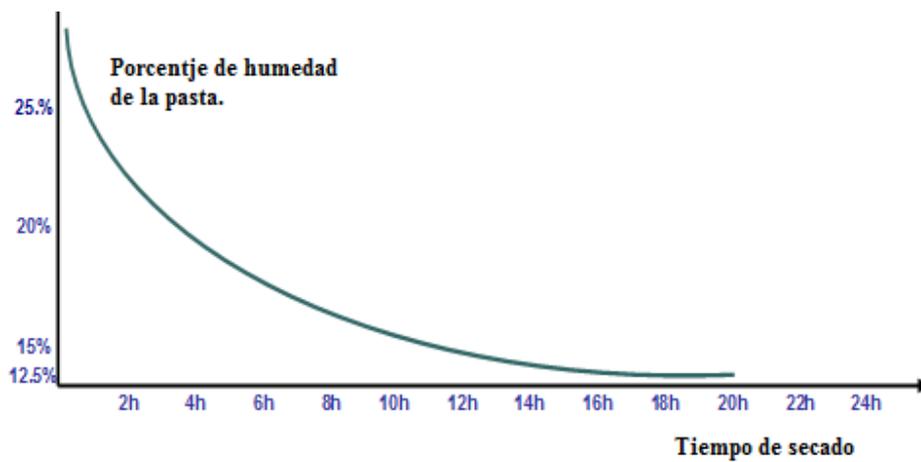
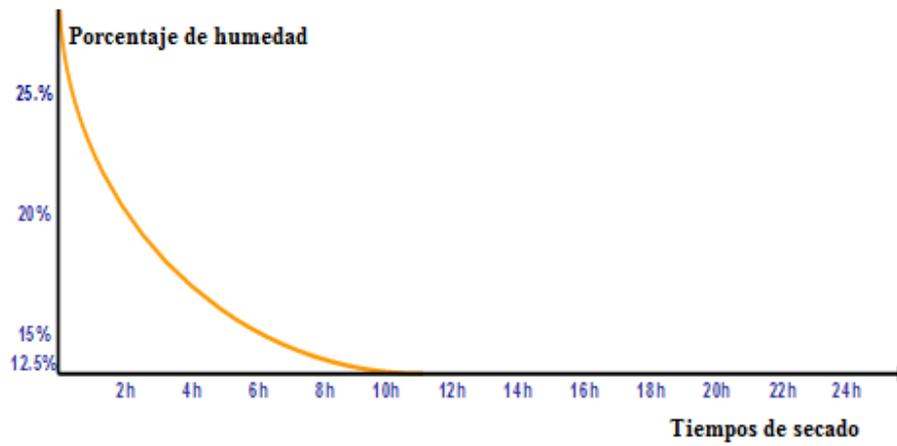


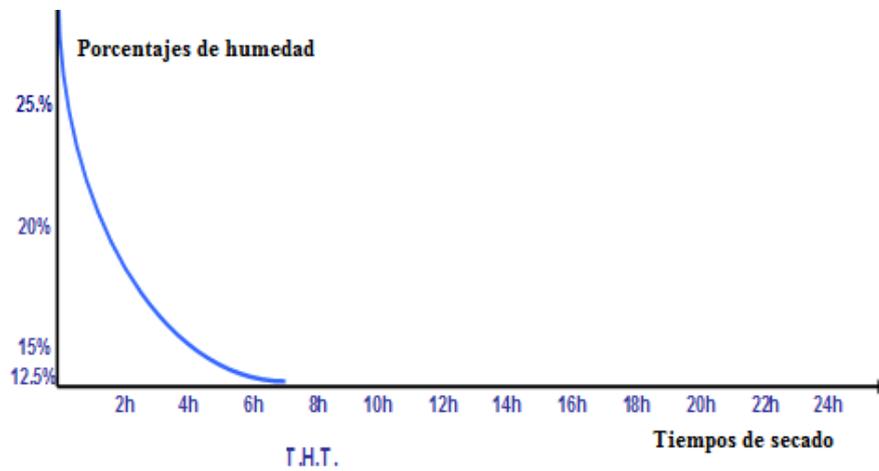
Figura N° 53. Ciclos de secado para tecnologías de baja temperatura

**Anexo N°16. Ciclos de secado para tecnologías de media temperatura.** <sup>[24]</sup>



**Figura N° 54. Ciclos de secado para tecnologías de media temperatura**

**Anexo N°17. Diagrama de secado para líneas de alta temperatura.** <sup>[24]</sup>



**Figura N° 55. Diagrama de secado para líneas de alta temperatura.** <sup>[24]</sup>