

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA PARA EMPAQUE, PESADO Y
SELLADO DE PAPA A LA FRANCESA PRECOCIDA**

GUSTAVO GUEVARA PABON

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE
FACULTAD DE INGENIERIA DE DISEÑO Y AUTOMATIZACION
ELECTRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2007**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA PARA EMPAQUE, PESADO Y
SELLADO DE PAPA A LA FRANCESA PRECOCIDA**

GUSTAVO GUEVARA PABÓN

**Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero de Diseño y
Automatización Electrónica**

Director

PEDRO WILLIAM PÉREZ

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA DE DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN

ELECTRÓNICA

BOGOTÁ, D.C.

2007

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

BOGOTÁ

**Quiero dedicar este trabajo
A Dios en primer lugar, pues fue quien me dió
La oportunidad de hacerme mejor persona
Y mejor profesional cada día que pasé en la Universidad.
A mi familia, y en especial a mis padres
María Luisa Pabón y a Gustavo Guevara, quienes
Con su apoyo y sus consejos me han guiado
Y me han acompañado en toda esta etapa que culmino.
A Oriana Hontibón Stettler, por todo el amor que siento
Hacia ella, por haber sido el apoyo en los buenos
Y en los malos momentos de gran parte
De mi vida universitaria.
A todos mis amigos y compañeros de la U,
Con quienes tuve la oportunidad de compartir
Buenos momentos durante mi vida universitaria.
Y en general a todas las personas que de una u otra
Forma estuvieron relacionadas con éste trabajo
Que marca el final de una gran etapa.**

Gustavo Guevara

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa su agradecimiento a:

Pedro William Pérez, Ingeniero Mecánico y Director del proyecto, por su orientación y valiosa ayuda.

Felipe Mazuera, Ingeniero Químico y revisor de la propuesta, por toda la colaboración y disposición.

José Luis Rubiano, Ingeniero Mecánico, por su disposición y su ayuda en la elaboración de este proyecto

Precocidos y Congelados Colombianos Ltda. y específicamente a Jorge Armando Albornoz, Gerente General, y Amalia Márquez, Ingeniera de Alimentos, por su colaboración y por haber dado origen a este proyecto.

Luis Robinson Luna, Ingeniero de Petróleos, quien colaboró con parte del material de consulta con el que fue realizado este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	11
1. ANTECEDENTES	12
1.1. Papa	12
1.1.1. Origen y generalidades	12
1.1.2. Tendencias actuales de la producción de papa	15
1.1.3. La producción de papa en Colombia.....	17
1.1.4. Procesamiento de la papa.....	19
1.1.5. Variedades de papa para la industria del procesamiento.....	20
1.2. La papa prefrita o a la francesa	22
1.2.1. Fabricación.....	22
1.2.2. Mercado de la papa a la francesa	25
1.3. Normas de higiene para los productos alimenticios.....	27
1.3.1. Condiciones generales de los equipos y utensilios	28
1.3.2. Condiciones específicas de los equipos y utensilios	28
1.3.3. Practicas higiénicas y medidas de protección del personal	30
1.3.4. Condiciones generales de las materias primas.....	32
1.3.5. Materias primas e insumos	32
1.3.6. Envases	34
1.3.7. Operaciones de fabricación.....	34
1.3.8. Operaciones de envasado	37
1.3.9. Almacenamiento.....	37
1.3.10. Transporte.....	39
2. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	41
3. OBJETIVOS	43

3.1. General	43
3.2. Específicos	43
4. JUSTIFICACIÓN	44
5. MARCO TEÓRICO	45
5.1. Instrumentos de pesaje.....	45
5.1.1. Comparación con otros pesos:.....	45
5.1.2. Equilibrio de péndulo por contrapeso	46
5.1.3. Pesado mediante una cuerda vibrante.....	46
5.1.4. Transductor de fuerza potenciométrico	46
5.1.5. Célula de carga neumática.....	47
5.1.6. Célula de carga a base de galgas extensiométricas	47
5.1.7. Célula de carga hidráulica.....	47
5.2. Términos claves en el pesaje industrial	48
5.3. Control	48
5.3.1. Sistemas de control de lazo abierto	49
5.3.2. Sistemas de control de lazo cerrado	49
5.3.3. Tipos de respuestas de un controlador	51
5.4. Motor.....	52
5.4.1. Principio básico de funcionamiento de los motores	52
5.4.2. Especificaciones de los motores	53
5.5. Actuadores neumáticos	56
5.5.1. Cilindros o pistones neumáticos.....	57
5.5.2. Elementos neumáticos de control y protección	58
5.6. Mecanismos de transporte o almacenamiento	59
5.6.1. Bandas transportadoras	59
5.6.2. Tolvas.....	61
5.7. Simulación	62

6.	DISEÑO	67
6.1.	Diseño del módulo de alimentación	76
6.2.	Diseño del módulo de empaque y pesado.....	81
6.3.	Diseño del módulo de sellado.....	86
6.4.	Sistema de control	88
6.5.	Tarjetas de potencia	96
7.	SIMULACION.....	98
7.1.	Simulación del módulo de alimentación.....	98
7.2.	Simulación del sistema de apertura y cierre de las bolsas	103
7.3.	Simulación del sistema de sellado	107
7.4.	Simulación del sistema de control	109
7.4.1.	Simulación del mecanismo de apertura	111
7.4.2.	Simulación del sistema de empaque y pesado	113
7.4.3.	Simulación del sistema de cierre de la bolsa	114
7.4.4.	Simulación de la electroválvula	115
7.5.	Simulación del sistema final.....	119
8.	ANALISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	123
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
	BIBLIOGRAFIA	130
	ANEXOS	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de papa en Colombia	18
Figura 2. Flujograma para la fabricación de papa a la francesa.....	23
Figura 3. Área de acción del proyecto dentro del flujograma de producción.....	41
Figura 4. Flujograma del proceso de pesado, empaque y sellado manual	42
Figura 5. Proceso de simulación	66
Figura 6. Flujograma de funcionamiento del sistema	67
Figura 7. Esquema de los módulos del sistema.....	68
Figura 8. Modelo aproximado del soporte	81
Figura 9. Funcionamiento básico del mecanismo piñón cremallera	82
Figura 10. Parámetros del cilindro neumático	87
Figura 11. Esquema de un motor DC.....	88
Figura 12. Diagrama de un motor controlado por armadura	91
Figura 13. Diagrama de bloques simplificado.....	91
Figura 14. Comportamiento de la velocidad del motor en el empaque de 500 g..	93
Figura 15. Comportamiento del variador del motor en el empaque de 500 g.....	96
Figura 16. Tarjeta para salidas de potencia	97
Figura 17. Tarjeta para el variador de velocidad	97
Figura 18. Parámetros del objeto <i>conveyor</i> en Visual Nastran	99
Figura 19. Objeto <i>conveyor</i> finalizado	99
Figura 20. Modelo de la banda a simular	100
Figura 21. Slider de control de peso.....	100
Figura 22. Propiedades de velocidad de superficie del objeto <i>conveyor</i>	101
Figura 23. Gráfica de comportamiento de la simulación para un empaque de 500g	102

Figura 24. Gráfica de comportamiento de la simulación para un empaque de 1000g	102
Figura 25. Gráfica de comportamiento de la simulación para un empaque de 3000g	103
Figura 26. Diseño de la cremallera.....	104
Figura 27. Diseño del piñón.....	104
Figura 28. Importación de modelos en Visual Nastran.....	105
Figura 29. Propiedades de posición para la cremallera	105
Figura 30. Modelo del mecanismo piñón cremallera a simular.....	106
Figura 31. Resultados de la simulación.....	106
Figura 32. Esquema general del sistema neumático.....	107
Figura 33. Comportamiento de posicionamiento del cilindro neumático	108
Figura 34. Circuito electroneumático optimizado.....	108
Figura 35. Comportamiento del cilindro con el circuito optimizado.....	109
Figura 36. Panel frontal del instrumento en Lab View	110
Figura 37. Diagrama de bloques del proyecto en Lab View	111
Figura 38. Bloque del sistema de apertura de la bolsa	112
Figura 39. Bloque del sistema de empaque y pesado.....	113
Figura 40. Bloque del sistema de cierre de la bolsa.....	114
Figura 41. Bloque del control de la electroválvula	115
Figura 42. Comportamiento del motor respecto al tiempo y aleatoriedad del proceso	116
Figura 43. Modelo final en Visual Nastran.....	119
Figura 44. Parámetros del actuador lineal.....	120
Figura 45. Velocidad de la banda transportadora.....	121
Figura 46. Posición de las cremalleras.....	121
Figura 47. Posición del cilindro neumático	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Distribución del valor y el volumen de las importaciones de la UE de papa a la francesa por país de origen.	26
Tabla 2. Principales industrias procesadoras de papa en Colombia.....	27
Tabla 3. Ancho y velocidad de banda	60
Tabla 4. Análisis DOFA del mecanismo de transporte.....	71
Tabla 5. Análisis DOFA del motor de la banda transportadora	72
Tabla 6. Análisis DOFA del mecanismo de pesado	72
Tabla 7. Análisis DOFA del mecanismo de apertura y cierre de la bolsa	73
Tabla 8. Análisis DOFA del mecanismo para el proceso de sellado.....	74
Tabla 9. Análisis DOFA del mecanismo de amortiguamiento para el sellado.....	74
Tabla 10. Análisis DOFA del instrumento de control.....	75
Tabla 11. Resumen de componentes a utilizar en el sistema	75
Tabla 12. Fluctuación estadística del largo de las papas a la francesa	77
Tabla 13. Capacidades de soporte de carga de los perfiles	79
Tabla 14. Diámetros para anchos de banda normales	79
Tabla 15. Velocidad del rodillo en función del diámetro y de la velocidad de la banda (Norma DIN22101)	80
Tabla 16. Resultados en tiempo de la simulación de empaque para 500g.....	117
Tabla 17. Resultados en tiempo de la simulación de empaque para 1000g.....	117
Tabla 18. Resultados en tiempo de la simulación de empaque para 3000g.....	118
Tabla 19. Costos y eficiencias de los elementos del sistema final.....	123
Tabla 20. Comparación entre el proyecto final y el proyecto alternativo.....	124
Tabla 21. Demanda diaria promedio de bolsas de papa.....	125
Tabla 22. Tiempo estimado de procesamiento diario	125

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. Bandas transportadoras (Norma DIN 22101)	131
ANEXO B. Variador de velocidad	137
ANEXO C. Consideraciones acerca del piñón y las cremalleras.....	147
ANEXO D. Consideraciones acerca de la estructura de soporte	151

INTRODUCCION

La industria de alimentos, es uno de los campos más importantes para el desarrollo de proyectos de innovación tecnológica y de automatización de procesos en el país, especialmente en la pequeña y mediana empresa debido al atraso que existe en ellas.

El desarrollo tecnológico es necesario en dichas empresas para obtener productos de calidad óptima que puedan ser competitivos en el mercado nacional y que cumplan los requerimientos para exportación en miras de una posible expansión. En el mundo, el desarrollo tecnológico en el área de producción de alimentos ha llegado a tomar gran importancia, ya que con los cambios en el estilo de vida de las personas, los hábitos alimenticios están orientados hacia el consumo de productos listos y de rápida preparación.

Sin importar lo simple o complejo de la aplicación del proyecto, el principal propósito es diseñar una solución que se ajuste a las características actuales del mercado, que sea tentadora y productiva para las empresas que se dediquen a la producción de alimentos y que sea acorde a la realidad económica del país.

1. ANTECEDENTES

1.1. Papa

1.1.1. Origen y generalidades

La papa cultivada es originaria de Suramérica. La antigüedad de su cultivo aún no se conoce. Se supone que esta planta tuberíferas fue domesticada por varias culturas de clima frío como la Chiripa, Tiahuanaco, Colla (Aymara) e Inca (Bushnell 1963), u otras anteriores a estas, que se desarrollaron en las altiplanicies andina, territorio conocido por los incas con el nombre de Collao (López de Gomara 1532) y que actualmente se encuentra incluido entre el Perú y Bolivia.

Las colecciones de papa efectuadas en los Andes demuestran que las especies de papa cultivada, nativas de Suramérica, forman una serie poliploide integrada por diploide, triploide, tetraploide y pentaploide con 24, 36, 48 y 60 pares de cromosomas, respectivamente (Bukasov 1933, Rybin 1933, Hawkes 1944). Dichas colecciones también demuestran que la población más variable de las especies de papa cultivadas, en todos los niveles de ploidia, se presente en las altas regiones montañosas comprendidas entre el Cuzco y el Lago Titicaca, al sudeste del Perú. Esta región podría considerarse como el centro de origen de la papa, de acuerdo con la hipótesis de Vavilov (1951), según la cual, el lugar o centro de origen de una especie cultivada coincide con el área en donde la población de dicha especie presenta la máxima variabilidad genética. Probablemente, desde este centro primario la papa se difundió a lo largo de los Andes como uno de los factores más

importantes para el desarrollo de las culturas de clima frío (La Barre 1947). A este mismo proceso de domesticación y diseminación fueron sometidas otras plantas de valor alimenticio como la quinua (*Chenopodium quinoa*, Willdenow), oca o ibia (*Oxalis tuberosa*, Molina), ulluco, melloco o papa lisa (*Ullucus tuberosus*, Caldas), mashua o cubia (*Tropaeolum tuberosum*, Ruíz et Pavón) (Caldas 1966, Cárdenas 1969, Molina 1782).

La papa cultivada recibió diferentes nombres de acuerdo con el idioma de los principales grupos étnicos que la utilizaron como alimento básico, así se la llamo “choque” en Aymara, “Acús.” En Quechua (Chinchay), “iomuy” en Chibcha y “poñi” en Araucano (Acosta 1848, Molina 1782, Cárdenas 1969). El nombre común actual (papa), posiblemente de origen Quechua, fue difundido en América por los conquistadores (López de Gomara 1552, Cieza de León, 1553; sin embargo, también se le utiliza para designar raíces y tubérculos botánicamente diferentes a la papa común especialmente en regiones de clima medio. En España la papa se denomina “batata”, derivada del nombre caribe de la batata dulce (*Ipomea batatas*, Poir) para designar cualquier tubérculo de plantas provenientes del Nuevo Mundo y de esta manera se aplicó dicho vocablo a la papa, la cuál quedó con el nombre de “patata” debido a una ligera modificación.

El nombre científico de la papa es *Solanum tuberosum* L. Con este nombre fue registrada por primera vez en 1596 por Gaspar Bauhin en *Phytopinax* y luego adoptada por Carlos Linneo en 1753 en *Species Plantarum* (Bauhin 1596, Linneo 1753). Hawkes (1963) reconoce dos subespecies de *Solanum tuberosum*; la subespecie *tuberosum*, representada por variedades tetraploides adaptadas a días largos y cultivada en todo el mundo; y la subespecie *andigena*, que incluye también variedades tetraploides pero adaptadas a días cortos y que se cultivan principalmente en la zona andina desde Venezuela hasta el norte de Argentina. Las variedades conocidas como “papa de año” en Colombia, corresponden a *Solanum tuberosum* L. subesp. *andigena*, Hawkes; y las variedades de “papa

criolla” pertenecen a la especie *Solanum phureja*, Juz, et Buk (Juzepczuk y Bukasov 1929).

La papa juega un rol significativo en el sistema global de alimentación. Es una fuente importante de empleo e ingresos en las áreas rurales, con frecuencia marginales, y también para la mujer. Además, se adapta a una amplia gama de usos; seguridad alimentaria, alimentos básicos (para consumo fresco y en forma procesada), cultivos comerciales, para alimento animal y como materia prima para fines industriales.

Las raíces y tubérculos contribuyen con los requerimientos energéticos y de nutrición de más de dos mil millones de personas en los países en desarrollo y continuarán haciéndolo en las próximas dos décadas. La papa, yuca y el camote figuran entre los diez productos alimenticios más importantes producidos en los países en desarrollo.

En Colombia se presenta una amplia gama de sistemas agro ecológicos y de sistemas de producción; la producción comercial de papa está localizada entre los 2000 y 3500 m.s.n.m, con una zona óptima de producción entre 2500 y 3000 m.s.n.m. El rango de temperatura va desde 10°C hasta 15°C y el de precipitación entre 500 y 2500 mm / año.

Aproximadamente el 90% de la producción comercial de papa se concentra en los departamentos de Cundinamarca (35 %), Boyacá (30 %), Nariño (15%) y Antioquia (10%). El porcentaje restante se distribuye en las zonas de Caldas, Tolima, Santanderes y otras zonas de menor importancia.

1.1.2. Tendencias actuales de la producción de papa

La oferta y demanda de raíces y tubérculos en los países en desarrollo comenzó a cambiar significativamente en los años 60 y 70's. Dichos cambios surgimiento de producción de papa en el sur y oeste de Asia y en el norte de África, por ejemplo – se aceleraron en las dos décadas siguientes, particularmente durante los 90's. Con pocas excepciones notables, la tendencia ha sido a una mayor diversificación en el uso y a una mayor especialización en la producción por cultivo y por región.

Entre 1983 (promedio de 1982 – 1984) y 1996 (promedio 1995 – 1997) el consumo de raíces y tubérculos como alimento en los países en desarrollo se incrementó de 45 millones de t, ó 22 por ciento, a 253 millones de t. La yuca se incrementó a 93 millones de t, debido al mayor consumo de raíces y tubérculos como alimento en 1996, seguida por el camote (60 millones de t), papa (65 millones de t) y ñame (16 millones de t). El consumo de papa fue el que más se incrementó en términos absolutos entre 1983 y 1996; el consumo de yuca ocupó un cercano segundo lugar. Aunque el consumo de ñame tuvo un incremento más rápido, lo hizo a niveles más bajos. El consumo de camote como alimento se ha contraído en la actualidad. Sin embargo, el consumo de este producto para alimentación animal se ha incrementado muy rápidamente durante este período. En conjunto, el uso de las raíces y tubérculos como alimento animal en los países en desarrollo, especialmente en China y América Latina, creció en 50 por ciento, a 96 millones de t entre 1983 – 1996.

El uso de raíces y tubérculos para comida o para forraje varía tremendamente de una región a otra debido a diferencias en el crecimiento económico y de la población, factores culturales y urbanización. En muchos lugares del oeste de Asia y norte de África, por ejemplo, el aumento en los ingresos y la creciente urbanización, aunado a un deseo de los consumidores de diversificar sus dietas basadas fundamentalmente en cereales, han incrementado la demanda de papa

como comida fresca y, más recientemente, como comida procesada. Los mismos factores han influido en el uso de la yuca y el camote en Asia, pero para almidón, forraje y productos alimenticios procesados.

África Subsahariana alcanzó el nivel más alto y también el crecimiento más absoluto en lo que se refiere a consumo per cápita de raíces y tubérculos como alimento humano entre 1983 y 1996. El crecimiento de la población, el estancamiento o los bajos ingresos per capita y la rápida urbanización generaron una gran demanda de productos baratos y feculentos, como la yuca, para alimentar tanto a los pobres rurales como urbanos.

En América Latina, las dietas cambiantes en algunos países, y el surgimiento del subsector de comidas rápidas y al paso (snacks) en otros, incrementó el consumo de papa. La demanda de yuca se estancó.

La producción de raíces y tubérculos en los países en desarrollo se incrementó en 30 por ciento entre 1983 y 1996, llegando a 449 millones de t. En África Subhariana la producción de yuca duplicó la tasa global y la producción de ñame excedió escasamente el promedio global. Los bajos requerimientos de energía y vigor de la yuca y el ñame lo hacen apropiados para las necesidades de alimentación y cultivo de la región. Más de la mitad del crecimiento de la producción de yuca y ñame de la región proviene de la expansión del área sembrada en lugar del crecimiento de la productividad.

En Asia, los incrementos en la producción de papa se debieron a una fuerte demanda fuera de finca, al ciclo vegetativo altamente flexible del cultivo y a mejoramientos por el lado de la producción y el mercadeo. China es actualmente el más grande productor de papa del mundo. La producción de yuca permaneció virtualmente estancada debido a la contracción en la demanda de productos de yuca en la Unión Europea. El camote, el más importante cultivo de raíces y

tubérculos en Asia, es producido casi exclusivamente en China, donde el crecimiento del ingreso ha disminuido la demanda del cultivo para alimento humano, pero ha incrementado su demanda para uso forrajero.

En América Latina, la producción de yuca y camote se ha estancado o contraído debido a la urbanización y a los cambios asociados a los patrones de consumo. La producción de papa, el segundo cultivo de raíces y tubérculos de la región, se ha beneficiado con ese cambio.

1.1.3. La producción de papa en Colombia

Principal actividad agrícola de las zonas andinas en Colombia desarrollada por cerca de 90.000 familias. Se caracteriza por el uso intensivo de fertilizantes y plaguicidas, alta demanda de mano de obra rural no calificada (entre 110 y 120 jornales por hectárea), y por ser un cultivo disperso, aislado, de pequeños productores con limitado acceso a la tecnología.

En la actualidad se cultivan en Colombia alrededor de 170.000 hectáreas, según estadísticas del Minagricultura del año de 1997. Aunque se ha notado una leve disminución en el área sembrada, la productividad ha aumentado por la aplicación de nuevas tecnologías.

La producción comercial se realiza entre 2.000 y 3.500 m. Y la zona de producción óptima, determinada en función de cantidad y calidad del producto corresponde a fincas localizadas entre 2.500 y 3.000 m. Existen dos zonas de producción marginal en las cuales los principales factores limitantes son enfermedades y plagas hacia el clima templado entre 1.500 y 2.000 m y heladas en las zonas altas entre 3.500 y 4.000 de altitud.



Figura 1. Producción de papa en Colombia

El 90% de la producción comercial de papa se realiza en terrenos de ladera y el 10% en suelos planos mecanizables. Las épocas de siembra están determinadas por las condiciones climáticas, especialmente lluvias y ocurrencia de heladas. En el primer semestre se realiza la siembra de Año Grande (50% del área sembrada), entre los meses de Enero a Marzo, y en el segundo semestre la siembra de Mitaca (30% del área), en los meses de Junio a Agosto. En el resto del año se realizan siembras escalonadas en microclimas favorables.

En los Departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia se concentra en promedio el 89% del área y el 90% de la producción. El porcentaje restante se encuentra en los Santanderes, Tolima, Cauca, Caldas y Valle del Cauca.

Los mayores rendimientos se obtienen en Cundinamarca y Antioquia, con rendimientos superiores a 21 toneladas por hectárea. Boyacá presenta uno de los rendimientos más bajos, 16 toneladas por hectárea.

1.1.4. Procesamiento de la papa

Dentro de las múltiples posibilidades de la papa en Colombia, la más interesante es la transformación en hojuelas (Chips). La gran diversificación de la industria procesadora obliga a un mejoramiento genético de la papa para asegurar un buen rendimiento y la máxima calidad en papas fritas (hojuelas) y prefritas (papa a la francesa).

Los requerimientos de calidad que hay que cumplir son: color aceptable (bajo contenido en azúcares menos del 0.1%), alto contenido en materia seca (más del 20%), excelente textura y sabor del producto final, libre de enfermedades y daños y tamaño entre 40 y 80 mm.

El método utilizado en CORPOICA para la determinación del color final de las hojuelas y bastones es una carta de colores. Con ella se califica las variedades después de seguir un rígido protocolo respecto a la preparación, tiempo de fritura, espesor de la tajada para hojuelas o de la tira para papas a la francesa prefrita.

El color tiene una relación directa con el contenido en azúcares reductores. En su apariencia externa y evolución, el color debe ser: desde un color blanco amarillento, (aceptable) pasando por un color amarillo-oro (deseable) hasta un color marrón-negruzco (rechazable), que viene dado por una alta concentración de azúcares reductores (2%) y que hace un producto indeseable en sabor y apariencia.

La buena apariencia, textura crujiente y sabor agradable son puntos importantes de cara al consumidor y a la venta del producto. Ello se consigue, lógicamente, procesando papas de alta calidad, supervisadas y clasificadas para este tipo de procesamiento.

Los factores que influyen directamente en la calidad final de las papas fritas y prefritas son, fundamentalmente, la temperatura en almacenamiento, variedad empleada y madurez fisiológica del tubérculo y, con menor trascendencia, la composición del suelo, la fertilización, el medio ambiente y el riego.

1.1.5. Variedades de papa para la industria del procesamiento

Uno de los mayores limitantes que enfrenta la industria de procesamiento es el no poder contar con una oferta de materia prima en cantidades suficientes y oportunas y de la calidad necesaria, hecho que introduce frecuentemente ineficiencias y sobrecostos en el proceso. En épocas de escasez como ya se mencionó, el precio de la papa presenta grandes incrementos con respecto a la época de mayor oferta, viéndose incluso obligada frecuentemente la industria, a pesar de la capacidad de almacenamiento que posee a usar en estas épocas producto de menor calidad (que no cumple con los estándares mínimos exigidos para un adecuado procesamiento).

La mayor limitación que enfrenta actualmente la industria de procesamiento de la papa en el país, es la no existencia y disponibilidad de variedades que tengan las calidades externa e interna exigida por ésta.

Con excepción de las variedades Diacol Capiro y Diacol Monserrate, el resto de las variedades existentes presenta características tales como azúcares reductores, porcentaje de materia seca y color de pulpa y piel no adecuados para

adelantar un eficiente procesamiento industrial (si bien aspectos como la temperatura, la madurez o las condiciones ambientales influyen en la determinación de los niveles anteriores, la variedad es un condicionante definitivo).

De las variedades existentes en Colombia se consideran como de mayor aptitud para el procesamiento industrial las siguientes cuatro variedades:

DIACOL-CAPIRO que se constituye, en la de mayor uso actual, debido a la buena oferta que presenta durante la mayor parte de año y a que su producción se adelanta generalmente cerca de las plantas de producción. Sin embargo presenta algunas desventajas para el uso industrial por su alto contenido de azúcares reductores (alto porcentaje de producto terminado quemado y de calidad organoléptica no aceptable), bajo contenido de sólidos que limitan su rendimiento en línea, el grosor de la piel que conlleva altos desperdicios y tiempos de pelado y la profundidad de los ojos que afecta la presentación del producto terminado. No obstante representa la variedad mas usada por la industria a nivel nacional.

ICA UNICA utilizada principalmente para la elaboración de papa a la francesa en razón del buen tamaño que alcanza y de su alto nivel de contenido de materia seca que en promedio posee (19%). No obstante el contenido de azúcares reductores es bastante variable (va de 0.12 a 2.8%), por lo que regularmente no se usa para la elaboración de “chips”. Igualmente presenta limitaciones por su imposibilidad de almacenamiento prolongado (fuerte susceptibilidad al ataque de microorganismos y hongos patógenos). Su oferta no es abundante ni estable en el tiempo.

DIACOL MONSERRATE considerada como la variedad de mayor aptitud para el uso industrial por poseer un elevado nivel de contenido de materia seca (alrededor del 23%), moderado contenido de azúcares reductores y rica en minerales, lo que la hace más nutritiva y en chips registra un buen “crunch”, lo cual hace que el

producto terminado sea agradable para el consumidor. No obstante estas condiciones, la variedad Diacol Monserrate ha visto disminuida su siembra por lo que ha dejado desde hace unos años de ser usada por la industria en forma masiva.

Finalmente la denominada **ICA ZIPA** que si bien presenta características que la hace útil para la industria (forma redonda, buen contenido de materia seca, pulpa blanca y facilidad de pelado), es una variedad poco usada industrialmente por su alto contenido de azúcares reductores que impide su uso en chips, su imposibilidad de almacenamiento prolongado (se descompone muy fácilmente) y por la presencia frecuente de "corazón hueco" en las papas de gran tamaño, lo que limita su uso especialmente para la elaboración de papa a la francesa.

1.2. La papa prefrita o a la francesa

1.2.1. Fabricación

El flujograma que se sigue para la fabricación de papa a la francesa es el siguiente:

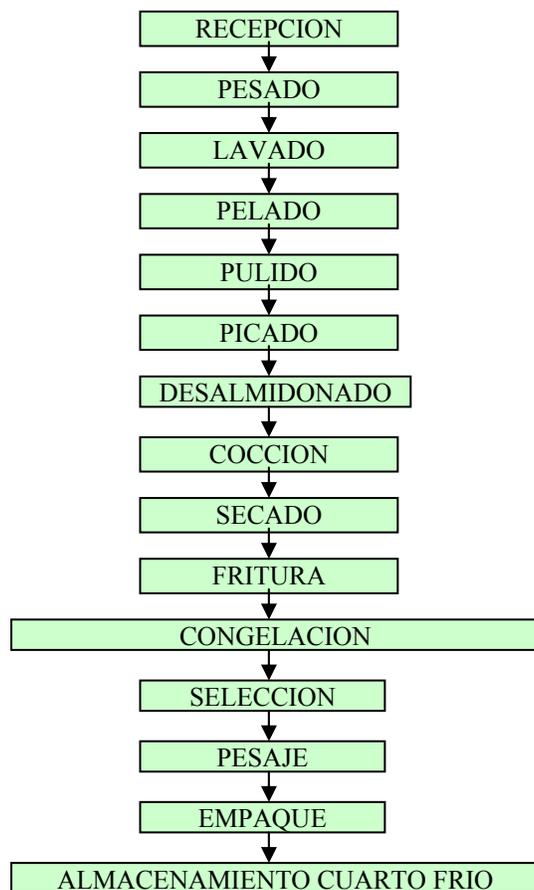


Figura 2. Flujograma para la fabricación de papa a la francesa

Los procesos referidos en el flujograma consisten en:

- **RECEPCION:** se recibe la papa en bultos, observando que no tenga ninguna plaga presente, ni ninguna enfermedad según lo especificado en la ficha técnica.
- **PESADO:** se pesan los bultos que deben tener aproximadamente 62.5 kilogramos (5 arrobas), se lleva y coloca sobre las estibas indicadas para este uso en la zona de almacenamiento, en el momento de iniciar el

proceso se lleva la cantidad de bultos a procesar en el día al área de lavado y pelado.

- **LAVADO:** se colocan las papas en el tanque adecuado para esta operación y se realiza un lavado por inmersión.
- **PELADO:** Se colocan las papas dentro de la peladora, se recoge por una lada el desperdicio, el cual es llevado a la zona de almacenamiento temporal, para al final de la jornada llevarlo al área de basuras, por otra parte salen las papas peladas.
- **PULIDO:** Se saca la papa pelada del tanque de recibo, y se pasa en forma manual por la pulidora, verificando que no quede parte de la cáscara adherida a esta, la papa es colocada en un tanque previo al picado donde se le agrega bisulfito.
- **PICADO:** La Papa pulida es pasada por una picadora para tener la forma adecuada para el tipo de papa que se desea como producto final.
- **DESALMIDONADO:** En esta operación la papa picada es dejada en un tanque con agua, bisulfito y ácido cítrico, para posteriormente pasar al proceso de cocción.
- **COCCION:** La papa es puesta en una banda transportadora que la lleva al área de cocción donde se maneja una temperatura de 76 a 80°C por un periodo de 1 a 2 minutos.
- **SECADO:** la papa sale del tanque de cocción y es pasada por una zaranda que por medio de ventiladores se lleva el proceso de secado con una duración promedio de 40 segundos.

- **FRITURA:** una vez seca la papa pasa al tanque de fritura con una mezcla de aceites vegetales a una temperatura de 170 a 180°C, por un periodo de tiempo de 30 segundos, de aquí la papa es puesta en bandejas, para su posterior congelación.
- **CONGELACION:** las diferentes bandejas son llevadas al cuarto de congelación que trabaja temperaturas de -18 a -24°C, la papa permanece allí por un periodo de 12 horas.
- **SELECCIÓN:** una vez congelada la papa es retirada del cuarto de congelación y colocada sobre la mesa de selección donde las operarias por observación la clasifican por tamaño y calibre empacándola de acuerdo al peso y lote trabajado.
- **PESAJE:** las diferentes bolsas son pesadas, rectificando el peso.
- **SELLADO:** Las bolsas con los pesos adecuados son selladas y organizadas en canastas para su almacenamiento.
- **ALMACENAMIENTO:** Las papa francesa empacada es almacenada en el cuarto frío para su posterior distribución.

1.2.2. Mercado de la papa a la francesa

La Industria de procesamiento de Papa Un reporte de CIP/FAO registra que el uso mundial de la papa está trasladando el mercado de papas frescas y como alimento para ganado, hacia los productos procesados tales como papas fritas (hojuelas),

papas prefritas (a la francesa) y papas congeladas y deshidratadas. El procesamiento de la papa es el sector de más rápido crecimiento dentro de la economía mundial de este tubérculo, tendencia que puede ser vista en países como Malasia, Canadá, Colombia, entre otros.

País	Miles de Dólares CIF				
	Total 2004	Total 2005	Dic-04	Dic-05	Part (%) 2005
Polonia	3,900	6,721	964	3,018	25.1
México	714	5,222		260	19.5
Noruega	695	3,437	40	325	12.9
Canadá	1,679	3,019	425	132	11.3
Suiza	2,447	2,076	212	203	7.8
Estados Unidos	2,229	1,968	199	155	7.4
Malasia	672	909	57	29	3.4
Chipre	9	830		156	3.1
Colombia	14	80	8	12	0.3
Otros	2,404	2,461	866	144	9.2
Total	14,761	26,743	2,772	4,435	100.0

Fuente Eurostat Cálculos CCI

País	Toneladas				
	Total 2004	Total 2005	Dic-04	Dic-05	Part (%) 2005
Polonia	1,417	2,955	303	1,261	27.0
México	422	1,315		64	12.0
Noruega	283	1,258	21	97	11.5
Canadá	234	305	30	12	2.8
Suiza	1,200	924	91	73	8.5
Estados Unidos	868	838	51	72	7.7
Malasia	186	370	19	16	3.4
Chipre	1	2,127		313	19.5
Colombia	5	51	3	4	0.5
Otros	939	788	297	64	7.2
Total	5,553	10,930	814	1,975	100.0

Tabla 1. Distribución del valor y el volumen de las importaciones de la UE de papa a la francesa por país de origen.

FEDEPAPA identifica para el año 1997 cerca de 70 industrias dedicadas al procesamiento de papa en Colombia, las cuales se diferencian por su capacidad, niveles de desarrollo tecnológico y presencia en el mercado.

Alrededor de 15 empresas, entre grandes y medianas, controlan más del 95% del mercado de producto procesado, particularmente en la línea de los denominados “chips” de papa y papa a la francesa prefrita congelada. Son industrias que en su mayor parte operan con grandes escalas y tecnología de producción avanzada. La mayor parte de la industria se encuentra ubicada en Bogotá y las demás se localizan en Medellín, Cali y Bucaramanga y regiones como el eje cafetero y el oriente del país.

Ciudad	Empresa	Producto
Grandes		
Bogotá	Productos Alimenticios Margarita S.A.	Chips
	Comestibles Rico Ltda.	Chips
	Savoy Brands Colombia S.A	Chips
	Congelagro S.A	Francesa
Medellin	Pasabocas Margarita Antioquia S.A	Chips-Francesa
	McCain Andina S.A	Chips-Francesa
Cali	Frito-Lay Colombia S.A	Chips
	Productos Yupi-Fritos	Chips
Medianas		
Bogotá	Productos Andru	Chips
	Productos Chispita Ltda.	Chips
	Productos Ramo	Chips
	Papaya	Francesa
Medellin	Nutrilistos	Francesa
	Productos Alimenticios Doraditas Ltda	Chips
Cali	Comestibles Cali	Chips
	Productos Calima	Chips
	Listo y Fresco Ltda	Precocida al vapor

Tabla 2. Principales industrias procesadoras de papa en Colombia

1.3. Normas de higiene para los productos alimenticios

Estas normas se aplican a las fases posteriores a la producción primaria, como lo son preparación, fabricación, transformación, envasado, almacenamiento, transporte, distribución, manipulación y venta; en general, las normas para la fabricación y manipulación de alimentos, son comunes a la mayoría de países americanos y europeos, y son las que permiten determinar la calidad de los productos alimenticios.

En Colombia, el INVIMA es la entidad encargada de establecer estas normas y decretos reglamentarios de la industria de alimentos. A continuación se mencionan las normas más relevantes, las cuales están estipuladas en el decreto 3075 de 1997.

1.3.1. Condiciones generales de los equipos y utensilios

Los equipos y utensilios utilizados en el procesamiento, fabricación, preparación, de alimentos dependen del tipo del alimento, materia prima o insumo, de la tecnología a emplear y de la máxima capacidad de producción prevista. Todos ellos deben estar diseñados, contruidos, instalados y mantenidos de manera que se evite la contaminación del alimento, facilite la limpieza y desinfección de sus superficies y permitan desempeñar adecuadamente el uso previsto.

1.3.2. Condiciones específicas de los equipos y utensilios

Los equipos y utensilios utilizados deben cumplir con las siguientes condiciones específicas:

- a.** Los equipos y utensilios empleados en el manejo de alimentos deben estar fabricados con materiales resistentes al uso y a la corrosión, así como a la utilización frecuente de los agentes de limpieza y desinfección.
- b.** Todas las superficies de contacto con el alimento deben ser inertes bajo las condiciones de uso previstas, de manera que no exista interacción entre estas o de estas con el alimento, a menos que este o los elementos contaminantes migren al producto, dentro de los límites permitidos en la respectiva legislación. De esta

forma, no se permite el uso de materiales contaminantes como: plomo, cadmio, zinc, antimonio, hierro, u otros que resulten de riesgo para la salud.

c. Todas las superficies de contacto directo con el alimento deben poseer un acabado liso, no poroso, no absorbente y estar libres de defectos, grietas, intersticios u otras irregularidades que puedan atrapar partículas de alimentos o microorganismos que afectan la calidad sanitaria del producto. Podrán emplearse otras superficies cuando exista una justificación tecnológica específica.

d. Todas las superficies de contacto con el alimento deben ser fácilmente accesibles o desmontables para la limpieza e inspección.

e. Los ángulos internos de las superficies de contacto con el alimento deben poseer una curvatura continua y suave, de manera que puedan limpiarse con facilidad.

f. En los espacios interiores en contacto con el alimento, los equipos no deben poseer piezas o accesorios que requieran lubricación ni roscas de acoplamiento u otras conexiones peligrosas.

g. Las superficies de contacto directo con el alimento no deben recubrirse con pinturas u otro tipo de material desprendible que represente un riesgo para la inocuidad del alimento.

h. En lo posible los equipos deben estar diseñados y contruidos de manera que se evite el contacto del alimento con el ambiente que lo rodea.

i. Las superficies exteriores de los equipos deben estar diseñadas y construidas de manera que faciliten su limpieza y eviten la acumulación de suciedades, microorganismos, plagas u otros agentes contaminantes del alimento.

j. Las mesas y mesones empleados en el manejo de alimentos deben tener superficies lisas, con bordes sin aristas y estar construidas con materiales resistentes, impermeables y lavables.

k. Los contenedores o recipientes usados para materiales no comestibles y desechos, deben ser a prueba de fugas, debidamente identificados, construidos de metal u otro material impermeable, de fácil limpieza y de ser requerido provistos de tapa hermética. Los mismos no pueden utilizarse para contener productos comestibles.

l. Las tuberías empleadas para la conducción de alimentos deben ser de materiales resistentes, inertes, no porosas, impermeables y fácilmente desmontables para su limpieza. Las tuberías fijas se limpiarán y desinfectarán mediante la recirculación de las sustancias previstas para este fin.

1.3.3. Prácticas higiénicas y medidas de protección del personal

Toda persona mientras trabaja directamente en la manipulación o elaboración de alimentos, debe adoptar las prácticas higiénicas y medidas de protección que a continuación se establecen:

a. Mantener una esmerada limpieza e higiene personal y aplicar buenas prácticas higiénicas en sus labores, de manera que se evite la contaminación del alimento y de las superficies de contacto con este.

b. Usar vestimenta de trabajo que cumpla los siguientes requisitos: De color claro que permita visualizar fácilmente su limpieza; con cierres o cremalleras y /o broches en lugar de botones u otros accesorios que puedan caer en el alimento;

sin bolsillos ubicados por encima de la cintura; cuando se utiliza delantal, este debe permanecer atado al cuerpo en forma segura para evitar la contaminación del alimento y accidentes de trabajo. La empresa será responsable de una dotación de vestimenta de trabajo en número suficiente para el personal manipulador, con el propósito de facilitar el cambio de indumentaria el cual será consistente con el tipo de trabajo que desarrolla

c. Lavarse las manos con agua y jabón, antes de comenzar su trabajo, cada vez que salga y regrese al área asignada y después de manipular cualquier material u objeto que pudiese representar un riesgo de contaminación para el alimento. Será obligatorio realizar la desinfección de las manos cuando los riesgos asociados con la etapa del proceso así lo justifiquen.

d. Mantener el cabello recogido y cubierto totalmente mediante malla, gorro u otro medio efectivo. Se debe usar protector de boca y en caso de llevar barba, bigote o patillas anchas se debe usar cubiertas para estas.

e. Mantener las uñas cortas, limpias y sin esmalte.

f. Usar calzado cerrado, de material resistente e impermeable y de tacón bajo.

g. De ser necesario el uso de guantes, estos deben mantenerse limpios, sin roturas o desperfectos y ser tratados con el mismo cuidado higiénico de las manos sin protección. El material de los guantes, debe ser apropiado para la operación realizada. El uso de guantes no exime al operario de la obligación de lavarse las manos, según lo indicado en el literal c.

h. Dependiendo del riesgo de contaminación asociado con el proceso ser obligatorio el uso de tapabocas mientras se manipula el alimento.

i. No se permite utilizar anillos, aretes, joyas u otros accesorios mientras el personal realice sus labores. En caso de usar lentes, deben asegurarse a la cabeza mediante bandas, cadenas u otros medios ajustables.

j. No esta permitido comer, beber o masticar cualquier objeto o producto, como tampoco fumar o escupir en las reas de producción o en cualquier otra zona donde exista riesgo de contaminación del alimento.

k. El personal que presente afecciones de la piel o enfermedad infectocontagiosa deberá ser excluido de toda actividad directa de manipulación de alimentos.

l. Las personas que actúen en calidad de visitantes a las reas de fabricación deberán cumplir con las medidas de protección y sanitarias estipuladas en el presente Capítulo.

1.3.4. Condiciones generales de las materias primas

Todas las materias primas y demás insumos para la fabricación así como las actividades de fabricación, preparación y procesamiento, envasado y almacenamiento deben cumplir con los requisitos descritos en este capítulo, para garantizar la inocuidad y salubridad del alimento.

1.3.5. Materias primas e insumos

Las materias primas e insumos para alimentos cumplirán con los siguientes requisitos:

a. La recepción de materias primas debe realizarse en condiciones que eviten su contaminación, alteración y daños físicos.

b. Las materias primas e insumos deben ser inspeccionados, previo al uso, clasificados y sometidos a análisis de laboratorio cuando así se requiera, para determinar si cumplen con las especificaciones de calidad establecidas al efecto.

c. Las materias primas se someterán a la limpieza con agua potable u otro medio adecuado de ser requerido y a la descontaminación previa a su incorporación en las etapas sucesivas del proceso.

d. Las materias primas conservadas por congelación que requieren ser descongeladas previo al uso, deben descongelarse a una velocidad controlada para evitar el desarrollo de microorganismos; no podrán ser recongeladas, además, se manipularán de manera que se minimice la contaminación proveniente de otras fuentes.

e. Las materias primas e insumos que requieran ser almacenadas antes de entrar a las etapas de proceso, deberán almacenarse en sitios adecuados que eviten su contaminación y alteración.

f. Los depósitos de materias primas y productos terminados ocuparán espacios independientes, salvo en aquellos casos en que a juicio de la autoridad sanitaria competente no se presenten peligros de contaminación para los alimentos.

g. Las zonas donde se reciban o almacenen materias primas estarán separadas de las que se destinan a elaboración o envasado del producto final. La autoridad sanitaria competente podrá eximir del cumplimiento de este requisito a los establecimientos en los cuales no exista peligro de contaminación para los alimentos.

1.3.6. Envases

Los envases y recipientes utilizados para manipular las materias primas o los productos terminados deberán reunir los siguientes requisitos:

- a.** Estar fabricados con materiales apropiados para estar en contacto con el alimento y cumplir con las reglamentaciones del Ministerio de Salud.
- b.** El material del envase deberá ser adecuado y conferir una protección apropiada contra la contaminación
- c.** No deben haber sido utilizados previamente para algún fin diferente que pudiese ocasionar la contaminación del alimento a contener.
- d.** Deben ser inspeccionados antes del uso para asegurarse que estén en buen estado, limpios y/o desinfectados. Cuando son lavados, los mismos se escurrirán bien antes de ser usados.
- e.** Se deben mantener en condiciones de sanidad y limpieza cuando no estén siendo utilizados en la fabricación.

1.3.7. Operaciones de fabricación

Las operaciones de fabricación deberán cumplir con los siguientes requisitos:

- a.** Todo el proceso de fabricación del alimento, incluyendo las operaciones de envasado y almacenamiento, deberán realizarse en óptimas condiciones sanitarias, de limpieza y conservación y con los controles necesarios para reducir el crecimiento potencial de microorganismos y evitar la contaminación del

alimento. Para cumplir con este requisito, se deberán controlar los factores físicos, tales como tiempo, temperatura, humedad, actividad acuosa (Aw), pH, presión y velocidad de flujo y, además, vigilar las operaciones de fabricación, tales como: congelación, deshidratación, tratamiento térmico, acidificación y refrigeración, para asegurar que los tiempos de espera, las fluctuaciones de temperatura y otros factores no contribuyan a la descomposición o contaminación del alimento.

b. Se deben establecer todos los procedimientos de control, físicos, químicos, microbiológicos y organolépticos en los puntos críticos del proceso de fabricación, con el fin de prevenir o detectar cualquier contaminación, falla de saneamiento, incumplimiento de especificaciones o cualquier otro defecto de calidad del alimento, materiales de empaque o del producto terminado.

c. Los alimentos que por su naturaleza permiten un rápido crecimiento de microorganismos indeseables, particularmente los de mayor riesgo en salud pública deben mantenerse en condiciones que se evite su proliferación. Para el cumplimiento de este requisito deberán adoptarse medidas efectivas como:

- Mantener los alimentos a temperaturas de refrigeración no mayores de 4o. C (39o.F)
- Mantener el alimento en estado congelado
- Mantener el alimento caliente a temperaturas mayores de 60o. C (140o.F)
- Tratamiento por calor para destruir los microorganismos mesófilos de los alimentos ácidos o acidificados, cuando estos se van a mantener en recipientes sellados herméticamente a temperatura ambiente.

d. Los métodos de esterilización, irradiación, pasteurización, congelación, refrigeración, control de pH, y de actividad acuosa (Aw), que se utilizan para destruir o evitar el crecimiento de microorganismos indeseables, deben ser suficientes bajo las condiciones de fabricación, procesamiento, manipulación,

distribución y comercialización, para evitar la alteración y deterioro de los alimentos.

e. Las operaciones de fabricación deben realizarse secuencial y continuamente, con el fin de que no se produzcan retrasos indebidos que permitan el crecimiento de microorganismos, contribuyan a otros tipos de deterioro o a la contaminación del alimento. Cuando se requiera esperar entre una etapa del proceso y la subsiguiente, el alimento debe mantenerse protegido y en el caso de alimentos susceptibles de rápido crecimiento microbiano y particularmente los de mayor riesgo en salud pública, durante el tiempo de espera, deberán emplearse temperaturas altas (> 60o.) o bajas (< 4o.C) según sea el caso.

f. Los procedimientos mecánicos de manufactura tales como lavar, pelar, cortar, clasificar, desmenuzar, extraer, batir, secar etc., se realizarán de manera que protejan los alimentos contra la contaminación.

g. Cuando en los procesos de fabricación se requiera el uso de hielo en contacto con los alimentos, el mismo debe ser fabricado con agua potable y manipulado en condiciones de higiene.

h. Se deben tomar medidas efectivas para proteger el alimento de la contaminación por metales u otros materiales extraños, instalando mallas, trampas, imanes, detectores de metal o cualquier otro método apropiado.

i. Las áreas y equipos usados para la fabricación de alimentos para consumo humano no deben ser utilizados para la elaboración de alimentos o productos para consumo animal o destinados a otros fines.

j. No se permite el uso de utensilios de vidrio en las reas de elaboración debido al riesgo de ruptura y contaminación del alimento.

k. Los productos devueltos a la empresa por defectos de fabricación, que tengan incidencia sobre la inocuidad y calidad del alimento no podrán someterse a procesos de reempaque, reelaboración, corrección o esterilización bajo ninguna justificación.

1.3.8. Operaciones de envasado

Las operaciones de envasado de los alimentos deberán cumplir con los siguientes requisitos:

a. El envasado deberá hacerse en condiciones que excluyan la contaminación del alimento.

b. Identificación de lotes. Cada recipiente deberá estar marcado en clave o en lenguaje claro, para identificar la fabrica productora y el lote. Se entiende por lote una cantidad definida de alimentos producida en condiciones esencialmente idénticas.

c. Registros de elaboración y producción. De cada lote deberá llevarse un registro, legible y con fecha de los detalles pertinentes de elaboración y producción. Estos registros se conservaran durante un período que exceda el de la vida útil del producto, pero, salvo en caso de necesidad especifica, no se conservaran mas de dos años.

1.3.9. Almacenamiento

Las operaciones de almacenamiento deberán cumplir con las siguientes condiciones:

a. Debe llevarse un control de primeras entradas y primeras salidas con el fin de garantizar la rotación de los productos. Es necesario que la empresa periódicamente de salida a productos y materiales inútiles, obsoletos o fuera de especificaciones para facilitar la limpieza de las instalaciones y eliminar posibles focos de contaminación.

b. El almacenamiento de productos que requieren refrigeración o congelación se realizar teniendo en cuenta las condiciones de temperatura, humedad y circulación del aire que requiera cada alimento. Estas instalaciones se mantendrán limpias y en buenas condiciones higiénicas, además, se llevar a cabo un control de temperatura y humedad que asegure la conservación del producto.

c. El almacenamiento de los insumos y productos terminados se realizara de manera que se minimice su deterioro y se eviten aquellas condiciones que puedan afectar la higiene, funcionalidad e integridad de los mismos. Además se deber n identificar claramente para conocer su procedencia, calidad y tiempo de vida.

d. El almacenamiento de los insumos o productos terminados se realizar ordenadamente en pilas o estibas con separación mínima de 60 centímetros con respecto a las paredes perimetrales, y disponerse sobre paletas o tarimas elevadas del piso por lo menos 15 centímetros de manera que se permita la inspección, limpieza y fumigación, si es el caso. No se deben utilizar estibas sucias o deterioradas.

e. En los sitios o lugares destinados al almacenamiento de materias primas, envases y productos terminados no podrán realizarse actividades diferentes a estas.

f. El almacenamiento de los alimentos devueltos a la empresa por fecha de vencimiento caducada deberá realizarse en una rea o depósito exclusivo para tal fin; este depósito deberá identificarse claramente, se llevara un libro de registro en el cual se consigne la fecha y la cantidad de producto devuelto, las salidas parciales y su destino final. Estos registros estarán a disposición de la autoridad sanitaria competente.

g. Los plaguicidas, detergentes, desinfectantes y otras sustancias peligrosas que por necesidades de uso se encuentren dentro de la fábrica, deben etiquetarse adecuadamente con un rótulo en que se informe sobre su toxicidad y empleo. Estos productos deben almacenarse en reas o estantes especialmente destinados para este fin y su manipulación sólo podrá hacerla el personal idóneo, evitando la contaminación de otros productos.

1.3.10. Transporte

El transporte de alimentos deberá cumplir con las siguientes condiciones:

a. Se realizara en condiciones tales que excluyan la contaminación y/o la proliferación de microorganismos y protejan contra la alteración del alimento o los daños del envase.

b. Los alimentos y materias primas que por su naturaleza requieran mantenerse refrigerados o congelados deben ser transportados y distribuidos bajo condiciones que aseguren y garanticen el mantenimiento de las condiciones de refrigeración o congelación hasta su destino final.

c. Los vehículos que posean sistema de refrigeración o congelación, deben ser sometidos a revisión periódica, con el fin de que su funcionamiento garantice las

temperaturas requeridas para la buena conservación de los alimentos y contarán con indicadores y sistemas de registro de estas temperaturas.

d. La empresa esta en la obligación de revisar los vehículos antes de cargar los alimentos, con el fin de asegurar que se encuentren en buenas condiciones sanitarias.

e. Los vehículos deben ser adecuados para el fin perseguido y fabricados con materiales tales que permitan una limpieza fácil y completa. Igualmente se mantendrán limpios y, en caso necesario se someterán a procesos de desinfección.

f. Se prohíbe disponer los alimentos directamente sobre el piso de los vehículos. Para este fin se utilizarán los recipientes, canastillas, o implementos de material adecuado, de manera que aíslen el producto de toda posibilidad de contaminación y que permanezcan en condiciones higiénicas.

g. Se prohíbe transportar conjuntamente en un mismo vehículo alimentos y materias primas con sustancias peligrosas y otras que por su naturaleza representen riesgo de contaminación del alimento o la materia prima.

h. Los vehículos transportadores de alimentos deberán llevar en su exterior en forma claramente visible la leyenda: Transporte de Alimentos.

i. El transporte de alimentos o materias primas en cualquier medio terrestre, aéreo, marítimo o fluvial dentro del territorio nacional no requiere de certificados, permisos o documentos similares expedidos por parte de las autoridades sanitarias.

2. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Dentro de la práctica empresarial realizada en la compañía PRECOCIDOS Y CONGELADOS COLOMBIANOS, se logró observar la necesidad de sistemas que garanticen una buena calidad de producción; dentro de los posibles sistemas a desarrollar, se pensó en la extracción del almidón, con el fin de aprovechar los subproductos de la papa, sin embargo, éste sistema ya existe y está implementado en Frito Lay y Super Ricas. El sistema que se presenta como propuesta de proyecto de grado, nace a partir del flujograma de producción de la empresa, el cual se presenta a continuación:

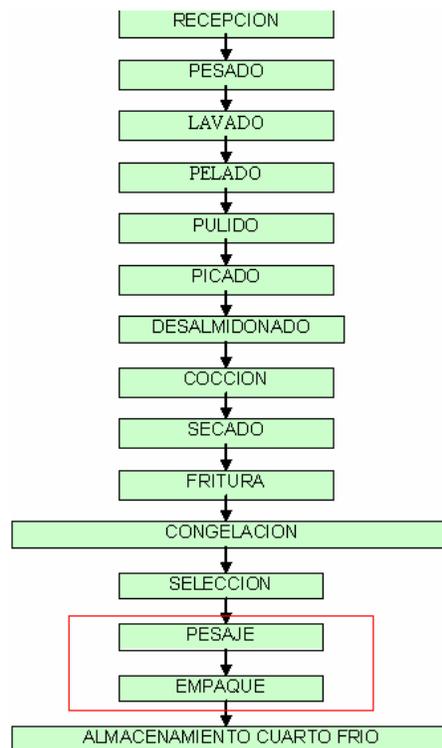


Figura 3. Área de acción del proyecto dentro del flujograma de producción

En el flujograma se puede apreciar u área limitada por una línea roja, ahí es donde se quiere fusionar y automatizar los procesos, ya que en éste momento el proceso se realiza de forma totalmente manual, de la siguiente forma:

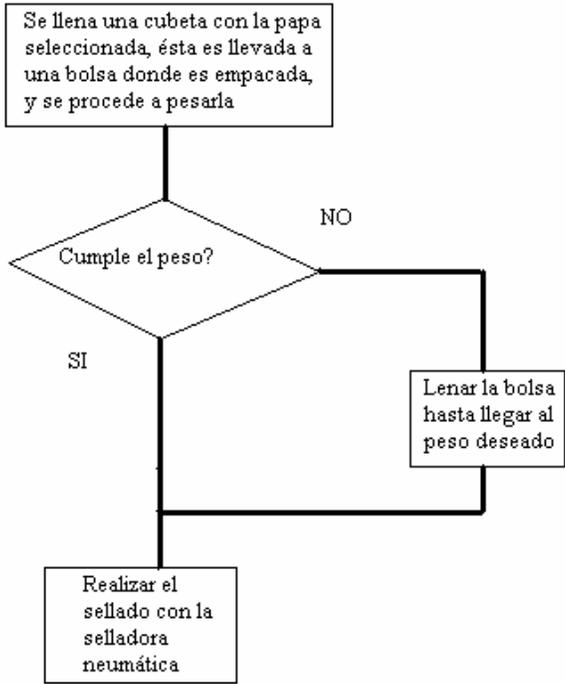


Figura 4. Flujograma del proceso de pesado, empaque y sellado manual

Como se puede observar el proceso se prolonga cuando no se cumple con el peso deseado, lo cual es la situación más probable, ya que una cubeta no es una medida precisa del peso que se necesita para llenar la bolsa, y además el sellado se realiza en un lugar apartado del sitio donde se hace el empaque y pesado, lo cuál requiere cargar las bolsas ya aprobadas y realizar el proceso de sellado por aparte, teniendo como resultado la pérdida de tiempo. Básicamente, éste es el problema a resolver; ya que a nivel productivo no sólo se pierde tiempo, además se pierde eficiencia y lo más importante a nivel administrativo, se pierde dinero.

3. OBJETIVOS

3.1. General

- Diseñar y simular un sistema que permita empacar, pesar y sellar papa precocida.

3.2. Específicos

- Revisar los conceptos existentes de sistemas de pesado y empaque; y los marcos teóricos existentes en cuanto a normatividad para procesos de producción de papa
- Definir los subsistemas (eléctricos, mecánicos, neumáticos, etc.) que se deben utilizar en los posibles sistemas a realizar
- Realizar el diseño conceptual de los posibles sistemas a utilizar
- Definir los materiales que se deben utilizar según las normas de higiene y salubridad existentes
- Realizar el calculo de costos, tiempos, eficiencias y velocidades de las posibles alternativas y escoger la mas apta para desarrollar
- Diseñar los subsistemas necesarios para la alternativa escogida
- Realizar la integración de los sistemas ya diseñados para obtener el sistema final
- Realizar la simulación del sistema final
- Documentar el proceso necesario para la construcción del sistema

4. JUSTIFICACIÓN

Los procesos de empaque, pesado y sellado, son importantes dentro de la industria de alimentos, y en éste caso en particular en la producción de papa francesa precocida; sin embargo, en la industria colombiana no existe un sistema que integre los tres procesos de forma automática o semiautomática, lo cual es un problema a la hora de enfrentarse a una expansión de la compañía o simplemente para cumplir las normas de higiene y salubridad establecidas por el INVIMA; además, éste tipo de maquinaria requiere que la empresa esté dispuesta a invertir un capital considerable arriesgándose a incrementar los costos de operación e incrementar el precio de sus productos y perder ventas frente a la competencia; otro punto a tener en cuenta, son las pérdidas de tiempo, ya que los procesos manuales pueden robar tiempo en la parte del control de peso y de transporte de las bolsas aprobadas hasta el área de sellado.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Instrumentos de pesaje

En el control de sistemas industriales, el pesaje automático juega un papel muy importante ya que es una forma eficiente de determinar las cantidades de materiales que cierto recipiente posee, ya sea este un camión de carga, una tolva, un tanque de líquidos o simplemente una bolsa con algún tipo de producto. El pesaje provee una mejor precisión y método de control directo y confiable. Para pesar material han existido varios métodos, comenzando por la antigua y conocida balanza, hasta las modernas células de carga. Entre los diferentes tipos de medición están:

5.1.1. Comparación con otros pesos:

La balanza clásica está constituida por una palanca de brazos iguales llamada cruz, que se apoya en su centro y de cuyos extremos cuelgan platillos, los cuales soportan los pesos; y fundamentalmente se busca el equilibrio al ubicar en un extremo un objeto de peso desconocido y en el otro extremo uno o varios objetos de peso conocido. Existen otras balanzas cuya construcción es diferente pero su funcionamiento es básicamente igual como la balanza de Roberval. Estos dispositivos son sencillos y de gran precisión, pudiendo alcanzar los primeros valores de 0.05% de precisión y los segundos de 0.1%.

5.1.2. Equilibrio de péndulo por contrapeso

De manera similar a las balanzas, el sistema de equilibrio de péndulo por contrapeso espera equilibrar un grupo de tres barras según la acción de un contrapeso. Después de que la carga es depositada en el extremo de una de las barras, el sistema encuentra un punto de equilibrio gracias al contrapeso; la tercera barra indica una escala análoga al peso del material.

5.1.3. Pesado mediante una cuerda vibrante

Se basa en el fenómeno de que la frecuencia de resonancia de una cuerda oscilante depende de la tensión producida en la cuerda cuando se le aplica una carga. La fuerza derivada de un peso aplicado se transfiere mecánicamente a la cuerda. La frecuencia resonante se mide para determinar el peso.

5.1.4. Transductor de fuerza potenciométrico

Es un dispositivo sencillo que se basa en variar la magnitud de la resistencia de un potenciómetro. Para lograrlo, la construcción del potenciómetro consta de un resorte que obliga al potenciómetro a estar siempre en la posición de mínima resistencia; a medida que se adiciona carga al dispositivo (sea de forma directa o algún tipo de acople mecánico), el resorte de éste se estira, haciendo cambiar el valor de la resistencia. Dicha resistencia se mide para determinar el peso.

5.1.5. Célula de carga neumática

De manera muy similar a las células de carga hidráulicas, un pistón que soporta la carga ejerce presión sobre el aire contenido en la recámara inferior de la célula. Por medio de un instrumento de medición de presión se puede medir la existente dentro de la recámara y así conocer la carga soportada por el pistón.

5.1.6. Célula de carga a base de galgas extensiométricas

Consiste esencialmente en una célula que contiene una pieza de elasticidad conocida, capaz de soportar la carga sin exceder su límite de elasticidad. A esta pieza, está cementada una galga extensiométrica formada por varias espiras de hilo pegado a un soporte de papel o resina sintética. La tensión o la compresión a que el peso somete a la célula de carga, hace variar la longitud de hilo metálico y modifica por tanto su resistencia eléctrica. Las células están protegidas contra la humedad y el polvo, tienen una precisión de $\pm 0.2\%$, admiten indicación a distancia y pueden medir pesos desde 5 Kg.

5.1.7. Célula de carga hidráulica

Consiste en un pistón sobre el que se apoya la carga, que ejerce presión sobre un fluido hidráulico. Según la carga y de acuerdo con el área conocida del pistón se crea una presión en el aceite que puede leerse en un manómetro Bourdon y que por tanto refleja indirectamente la carga. Sumando las presiones hidráulicas de varias células de carga y aplicándolas a un transmisor electrónico de equilibrio de fuerzas se obtiene una señal eléctrica que puede leerse en un indicador digital y utilizarse en sistemas de pesaje electrónicos. Su precisión es de $\pm 0.2\%$ y pueden medir pesos entre 40 Kg. y 90 Ton.

5.2. Términos claves en el pesaje industrial

- **Peso muerto:** Peso de la plataforma o recipiente puesto sobre la celda de carga.
- **Tara:** Peso del recipiente que contiene el material que está sobre la báscula.
- **Peso neto:** Peso real del material a pesar.
- **Peso bruto:** Peso total sobre las celdas de carga o sobre la plataforma de la báscula. Generalmente es la suma del peso muerto y la tara.
- **Tolerancia:** Es una cantidad que se suma a la capacidad de la báscula para proteger las celdas de una posible sobrecarga.

5.3. Control

El control automático de procesos es parte del progreso industrial desarrollado durante lo que ahora se conoce como la segunda revolución industrial. El uso intensivo de la ciencia de control automático es producto de una evolución que es consecuencia del uso difundido de las técnicas de medición y control. Su estudio intensivo ha contribuido al reconocimiento universal de sus ventajas.

El control automático de procesos se usa fundamentalmente porque reduce el costo de los procesos industriales, lo que compensa con creces la inversión en equipo de control. Además hay muchas ganancias intangibles, como por ejemplo la eliminación de mano de obra pasiva, la cual provoca una demanda equivalente

de trabajo especializado. La eliminación de errores es otra contribución positiva del uso de control automático.

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. En consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione sin intervención humana.

5.3.1. Sistemas de control de lazo abierto

Un sistema de control de lazo abierto es aquel en el cual la acción de control es independiente de la salida. Es decir, la señal de salida ni se mide, ni se realimenta, ni se compara con la entrada deseada o referencia.

5.3.2. Sistemas de control de lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el que la acción de control es en cierto modo dependiente de la salida y la medición de la señal de salida se hace directamente sobre lo que se desea controlar. Los sistemas de control cerrado tienen dos rasgos sobresalientes:

- La habilidad que éstos tienen para ejecutar una acción con exactitud, está determinada por su calibración. Calibrar significa establecer o restablecer una relación entre la entrada y la salida con el fin de obtener del sistema la exactitud deseada.

- Estos sistemas no tienen el problema de la inestabilidad, que presentan los de lazo cerrado.

Los principales elementos de un sistema de control de lazo cerrado son:

- Realimentación: Es la propiedad de un sistema de lazo cerrado que permite que la salida (o cualquier otra variable controlada del sistema) sea comparada con la entrada al sistema (o con una entrada a cualquier componente interno del mismo con un subsistema) de manera tal que se pueda establecer una acción de control apropiada como función de la diferencia entre la entrada y la salida.
- Actuador final: Por cada proceso debe haber un actuador final, que regule el suministro de energía o material al proceso y cambie la señal de medición. Más a menudo éste es algún tipo de válvula, pero puede ser además una correa o regulador de velocidad de motor, posicionador, etc.
- Proceso: Los tipos de procesos encontrados en las plantas industriales son tan variados como los materiales que producen. Estos se extienden desde lo simple y común, tales como los lazos que controlan caudal, hasta los grandes y complejos como los que controlan columnas de destilación en la industria petroquímica.
- Controlador automático: El último elemento del lazo, es el controlador automático, su trabajo es controlar la medición. Controlar significa mantener la medición dentro de sus límites.

5.3.3. Tipos de respuestas de un controlador

Existen varios tipos de respuestas que pueden ser usadas para controlar un proceso. Estas son:

- **Control Si/No:** Para un controlador de acción de reversa y un actuador del tipo abrir – cerrar. El controlador Si/No tiene dos salidas que son para abrir y para cerrar. Para este sistema se ha determinado que cuando la medición cae debajo del valor de consigna, el actuador debe estar cerrado para hacer que se abra; así en caso en que la señal hacia el controlador automático esté debajo del valor de consigna, la salida del controlador será del 100%. A medida que la medición cruza el valor de consigna, la salida del controlador va hacia el 0%. Esto eventualmente, hace que la medición disminuya y a medida que la medición cruza el valor de consigna nuevamente, la salida vaya a un máximo. Este ciclo continuará indefinidamente, debido a que el controlador no puede balancear el suministro contra la carga. La continua oscilación puede, o puede no ser aceptable dependiendo de la amplitud y longitud del ciclo. Un ciclo rápido causa frecuentes alteraciones en el sistema de suministro de la planta y un excesivo desgaste del actuador.
- **Acción proporcional:** La respuesta proporcional es la suma de la acción integral y la derivativa. Proporcional significa que el cambio presente en la salida del controlador es algún múltiplo del porcentaje de cambio en la medición. Este múltiplo es llamado ganancia del controlador. Para algunos controladores, la acción proporcional es ajustada por medio de tal ajuste de ganancia, mientras que para otros se usa una banda proporcional; sin embargo, ambos tienen los mismos propósitos y efectos.

- Acción integrativa: Esta acción responde al tamaño y duración del error, y actúa sobre la salida para que cambie hasta un valor correcto necesario para mantener la medición en el valor de consigna.
- Acción derivativa: El modo derivativo responde a cuan rápido cambia el error. La salida derivativa es proporcional al régimen de cambio de éste error. Cuanto mayor sea el cambio, mayor será la salida debido a la acción derivativa. La acción derivativa mantiene ésta salida mientras la medición esté cambiando. Tan pronto como la medición deja de cambiar, esté o no en el valor de consigna, la respuesta debido a la acción derivativa cesará.

5.4. Motor

Un motor, en general, es un aparato transductor que convierte energía eléctrica en energía mecánica rotacional.

5.4.1. Principio básico de funcionamiento de los motores

Si se mueve rápidamente un imán, cerca de una bobina de alambre, se produce una corriente eléctrica en ella. Igualmente, si se le aplica una corriente eléctrica a una bobina, ésta produce un campo magnético (electroimán) y al estar dentro del campo magnético de un imán, ésta tiende a moverse por efecto de la atracción de los polos magnéticos diferentes (Norte – Sur) y la repulsión de los polos magnéticos iguales (Norte – Norte o Sur –Sur) entre la bobina y el imán. Este es el principio fundamental en el cual se basa el funcionamiento de un motor eléctrico.

Cuando un conductor que lleva corriente, se coloca en ángulo recto a un campo magnético, experimentará una fuerza perpendicular al campo y a sí mismo. La

fuerza sobre este conductor es proporcional a la densidad del flujo, a la corriente y a la longitud del conductor.

Tomando como base este principio, se puede entender la acción de un motor con una simple vuelta o espira de alambre en donde la corriente entra por el lado derecho del conductor y sale por el lado izquierdo. Las fuerzas resultantes actúan sobre la espira de alambre produciendo un torque o movimiento. Sin embargo, el torque disminuye hasta un valor mínimo cuando el conductor queda perpendicular al campo magnético. Para poder continuar el movimiento. Sin embargo, el torque disminuye hasta un valor mínimo cuando el conductor queda perpendicular al campo magnético. Para poder continuar el movimiento, se requiere un mecanismo que cambie el sentido de la corriente y por tanto la polaridad del campo magnético en la bobina que gira dentro del imán.

Esto se logra por medio de un dispositivo llamado conmutador o colector por medio del cual se invierte la polaridad del campo cuando la bobina está perpendicular a él y así la bobina continua con su movimiento en el sentido de las manecillas del reloj. Este colector se fabrica con laminillas de cobre llamadas delgas. Para llevar la corriente al colector se utilizan unos elementos llamados escobillas, fabricados generalmente de carbón. Para que el movimiento sea más o menos continuo, el colector debe tener un buen número de divisiones o conmutadores. En la práctica un motor tiene un número mayor de delgas o divisiones en el colector con el fin de que el movimiento sea continuo.

5.4.2. Especificaciones de los motores

Las características más importantes al seleccionar un motor son el voltaje de trabajo, la corriente que consumen, la frecuencia, la velocidad y el torque o la fuerza.

Voltaje de trabajo, es el valor en voltios con el cual un determinado motor trabaja mejor y para el cual fue fabricado. En la maquinaria industrial y electrónica encontramos motores desde 110 voltios hasta 440 voltios siendo los más comunes los de 110 y 220 voltios. En motores de buena calidad, se especifican voltajes precisos de trabajo de 110 o 220 voltios generalmente.

La mayoría de los motores de este tipo aceptan voltajes de trabajo menores y mayores que el voltaje nominal (para el cual fueron fabricados), hasta con un 20% de variación. Es decir, un motor de 120 voltios, puede trabajar aceptablemente desde 60 hasta 130 voltios pero con una lógica variación en su velocidad y fuerza o torque. Con menos voltaje habrá menor velocidad y fuerza y lo contrario con un voltaje mayor. Para trabajo continuo no se recomienda un voltaje mayor a un 30% del valor nominal ya que se produce un calentamiento que puede dañar el aislamiento del alambre de las bobinas produciendo un corto circuito.

Para que haya energía mecánica en un motor, se le debe entregar energía eléctrica la cual se mide en watios, los que a su vez se determinan por medio del producto $P = V \times I$. Por lo tanto, además del voltaje, siempre habrá un valor de corriente, en amperios o miliamperios, ligado al funcionamiento de un motor. Esta corriente es mayor o menor dependiendo generalmente del tamaño, la velocidad y la fuerza del motor y es la que requieren las bobinas para producir el campo magnético que lo hace girar.

La corriente que consume o utiliza un motor es directamente proporcional a la carga que tiene que mover por medio de su eje. Si el motor está en vacío, es decir sin carga, el consumo será bajo, pero si conectamos el motor a un engranaje o le instalamos un peso en su eje por medio de una cuerda, la corriente se incrementará notablemente hasta valores mucho más altos que el valor inicial.

Las cargas que utilizan los fabricantes para las pruebas de los motores no están estandarizadas y por lo tanto este dato no es muy seguro. Hay un punto especial en donde el motor ya no puede mover más la carga. A este punto se le llama en inglés Stalled point o punto de cansancio y es cuando más corriente consume. A esta corriente la podemos llamar corriente de frenado. Algunos fabricantes especifican este valor el cual es el mayor consumo en el peor de los casos.

Conocer el valor de consumo de corriente es de vital importancia en el diseño y construcción de los circuitos que van a controlar el motor ya que estos deben suministrar esta corriente. Un buen método es utilizar el valor de la corriente de frenado como máximo valor que debe manejar el circuito de control lo que garantiza un buen funcionamiento. Cuando se utilicen los motores, debe conocerse su consumo de corriente con carga, es decir, ya instalados con el peso total.

La corriente es un factor muy importante en los motores ya que de ella depende directamente la velocidad con la cual se va a mover alguna parte mecánica. La velocidad en los motores se especifica en revoluciones por minuto o r.p.m. La mayoría de este tipo de motores tiene velocidades comprendidas entre 1700 y 3600 r.p.m.

En cualquier caso, esta velocidad es muy alta, y para acoplar los motores a un sistema mecánico, esta se debe reducir considerablemente para lo cual se utilizan los controles de velocidad electrónicos, los engranajes o cajas de reducción, las poleas, las bandas, las cadenas entre otros mecanismos. Los controles de velocidad electrónicos se utilizan para ajustes finos de este parámetro y las reducciones o engranajes se utilizan cuando se debe disminuir considerablemente.

Se llama torque a la fuerza que ejerce el motor sobre la carga. A mayor torque, una mayor carga o peso puede mover normalmente el motor o puede lograr mayor velocidad sobre la misma carga.

5.5. Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos son dispositivos que convierten la energía del aire a presión en un movimiento rectilíneo de vaivén o en un movimiento de giro, si se trata de un motor neumático. Algunas de las propiedades de los sistemas con actuadores neumáticos son las siguientes:

- Limpieza: Funcionan con elementos que no producen residuos ni contaminan el ambiente donde se encuentran instalados.
- Seguridad: El aire a presión es antideflagrante. No existe riesgo de explosión ni de incendio en caso de fugas dentro de la planta.
- Resistencia a sobrecargas: Si se presentan atascamientos, la fuerza del aire no estropea los cilindros ni el sistema neumático.

La fuerza ejercida por un dispositivo neumático se ajusta a los principios físicos que involucran la presión y el área. La fuerza teórica (sin tener en cuenta pérdidas por fricción, escapes, etc.) está dada por:

$$F = p \times A$$

Donde:

F: Fuerza teórica resultante en el vástago del cilindro

p: Presión aplicada al émbolo.

A: Área de sección del cilindro sobre la cual se aplica la presión del aire.

Las clases de actuadores neumáticos más comunes en las plantas industriales son el actuador de pistón, y en menor escala, el actuador rotativo.

5.5.1. Cilindros o pistones neumáticos

En este tipo de actuador, el movimiento se transmite mediante la acción de un pistón alojado dentro de un cilindro a presión. Un cilindro está compuesto básicamente de tres partes: El compartimiento, de donde realmente proviene el nombre de cilindro, el émbolo y el vástago. Entre las diferentes clases de cilindros neumáticos se puede encontrar:

- Cilindro de doble vástago: Posee vástago en ambos extremos del compartimiento.
- Cilindro tándem: Son dos cilindros acoplados mecánicamente, de modo que la fuerza resultante es la suma de la fuerza de cada cilindro.
- Cilindro multiposicional: Son dos cilindros acoplados mecánicamente, de modo que si las longitudes de cada uno son diferentes, se pueden obtener cuatro posiciones distintas con dos señales de control.
- Cilindro de impacto: Es un cilindro con dos cámaras de aire, en una de las cuales se acumula una presión que luego es liberada de manera rápida sobre la cámara que contiene el émbolo. El resultado es un movimiento del vástago con velocidad tal que se transforma en un fuerte impacto.

- Cilindro de giro: Estos cilindros poseen un acople mecánico, que transforma el movimiento lineal de un vástago interno en un movimiento de giro sobre una pieza circular externa.

También se puede decir que los cilindros neumáticos se clasifican en:

- Cilindros de simple efecto: Este término es dado a los actuadores que utilizan la presión del aire para generar el movimiento del eje en un solo sentido. Para el regreso, luego de eliminar la presión del aire, se utilizan resortes que empujan el eje hasta su posición de reposo.
- Cilindros de doble efecto: Son llamados así los actuadores que utilizan el aire a presión para generar los dos movimientos, el decir la ida y el retorno.

5.5.2. Elementos neumáticos de control y protección

- Electro válvulas: Para poder controlar el paso de fluido, a través de los diferentes sistemas que trabajan con aire comprimido, es necesario interponer entre el sistema de control y el elemento actuador, una interface que sirva para la conversión de la señal de control, que está basada en corriente eléctrica, en movimiento mecánico que obstruya o permita el paso del aire a presión.
- Reguladores de caudal: Son dispositivos que se instalan sobre los orificios de entrada o salida de aire en los diferentes sistemas neumáticos. Su principal función es controlar la velocidad del desplazamiento del vástago de los cilindros. Si el caudal es muy grande, el cilindro actúa de manera casi instantánea, hasta el punto de sentirse el golpe al finalizar su carrera.

- **Manómetros:** Son instrumentos de medición que indican la presión que posee el aire que está pasando por el punto donde este ha sido instalado. La presión del aire, está dada en bares o en psi (libras por pulgada) y es normal en una planta, encontrar la presión del aire de suministro general en 5 ó 6 bares.
- **Unidad de mantenimiento:** Para la correcta operación de los actuadores neumáticos, debido a que estos están basados en la presión que ejerce el aire comprimido, en diferentes zonas debe ser instalada una unidad de mantenimiento. Esta última garantiza que el aire que se está utilizando, sea el más adecuado y no produzca averías en los cilindros o en los demás dispositivos. Una unidad de mantenimiento típica, para los sistemas que trabajan por medio de aire comprimido, posee un filtro de humedad, un regulador de presión y un lubricador.

5.6. Mecanismos de transporte o almacenamiento

5.6.1. Bandas transportadoras

Son mecanismos cuya función principal es soportar directamente el material a transportar y desplazarlo desde el punto de carga hasta el de descarga. Para esto se tienen los tipos principales de banda, que pueden ser de tejido como algodón, tejidos sintéticos y cables de acero, con varias telas o capas o tejido sólido y el aspecto de la superficie portante de la carga puede ser liso, rugoso o con nervios, tacos o bordes laterales vulcanizados. Aunque también existen bandas especiales en las que se aplica un método específico en la superficie del revestimiento como rugosidades de diferentes formas, vulcanizar sobre el revestimiento exterior con alturas o perfiles diversos.

Para la elección de una banda transportadora es importante tener en cuenta ciertos factores que determinan el buen funcionamiento, tales como:

- Características del material a transportar: Se considera el peso del material, el tamaño, la forma, cohesión, fluidez y abrasividad.
- Anchos de banda y velocidades: El primer paso a proyectar en una banda transportadora, es la correcta elección del ancho de la banda y la velocidad en función del material, la geometría de la cinta y la capacidad a transportar.

En la tabla 3, se especifica el ancho de banda y la velocidad dependiendo del material a transportar, se debe tener en cuenta que las velocidades deben elegirse entre las normalizadas según DIN 22101.

MATERIALES A TRANSPORTAR	B (mm)	V (m/seg)
Materiales que fluyen y no son abrasivos	500	2,62
	650 a 800	3,35
	1000 a 1200	4,19
	1400 a 2400	5,24
Materiales no abrasivos	Cualquier ancho	1,31 a 2,09
Bandas extractoras planas. Con Materiales no abrasivos	Cualquier ancho	0,3 a 0,6

Fuente NORMA DIN 22101

Tabla 3. Ancho y velocidad de banda

Además de las características ya mencionadas, las bandas transportadoras tienen componentes importantes como:

- Grupo motriz: El grupo motriz de una cinta es uno de los componentes más importantes. De la adecuada elección de los elementos que la forman, depende la seguridad de funcionamiento y la vida de la cinta.

- Motor eléctrico: Para elegir el motor, se debe considerar si debe ser de corriente alterna o directa, aunque estos últimos son los menos utilizados.
- Rodillos: Son uno de los componentes principales de una banda transportadora y de su calidad depende el buen funcionamiento de la misma. Pueden ser de superficie exterior lisa, recubiertos de goma o con aros de goma.

5.6.2. Tolvas

Se denomina tolva a un dispositivo destinado a depósito y canalización de materiales granulares o pulverulentos. En muchos casos, se monta sobre un chasis que permite el transporte.

Generalmente es de forma cónica y siempre es de paredes inclinadas, de tal forma que la carga se efectúa por la parte superior y la descarga se realiza por una compuerta inferior. Son muy utilizadas en agricultura, en construcción de vías férreas y en instalaciones industriales.

Las tolvas, generalmente son fabricadas del tal forma que la descarga del contenido se haga de forma mecánica, para ello se puede hacer uso de tornillos sin fin o compuertas, que van a permitir el paso del contenido de la tolva o la obstrucción del mismo.

Además se debe tener en cuenta otros aspectos importantes en el diseño de las tolvas, tales como:

- Montaje sobre techo o pared: Todas las tolvas deben ir montadas sobre una superficie estable como una pared o un techo que debe soportar las condiciones de carga que se vayan a trabajar.
- Angulo de inclinación de pared: Las paredes de la tolva llevan una inclinación que permite que el contenido se deslice fácilmente hacia la parte inferior donde se realiza la descarga, generalmente se trabaja un ángulo de 60° pero se pueden trabajar diferentes valores de ángulo.
- Aislamiento de las tolvas: En caso de manejar un contenido que necesite algún tratamiento térmico, la tolva debe llevar un recubrimiento que permita la protección del operario y el tratamiento necesario. En el manejo de alimentos se acostumbra realizar un recubrimiento con algún material que impida la evaporación y posterior condensación dentro de la tolva.
- Manejo del flujo del contenido: Como las tolvas tienen caída vertical, el control de flujo es complicado de realizar, así que se debe pensar en lo que más se acomode a la necesidad es decir que se usa un tornillo sin fin para materiales duros o granulares, y se usa compuertas para materiales livianos en general.

5.7. Simulación

El proceso de simulación incluye tanto la construcción del modelo como su uso analítico para estudiar un problema. Por modelo de un sistema real se entiende que es una representación de un conjunto de objetos o ideas de forma tal que sea diferente a la de la entidad misma, y en este caso el término "real" se usa en el sentido de "en existencia o capaz de ser puesto en existencia" Por lo tanto, los

sistemas en estado preliminar o de planeación pueden modelarse de igual manera que aquellos que ya existen.

La simulación es el proceso de imitar aspectos importantes de la conducta de un sistema en tiempo real, comprimiendo o expandiendo el tiempo usando un modelo del sistema para experimentar. Además, no se restringe la definición de simulación a los experimentos realizados sobre modelos de computadoras electrónicas. Muchas simulaciones útiles pueden realizarse y se realizan con sólo lápiz y papel o con la ayuda de una calculadora manual. El modelado de la simulación es, por tanto, una metodología aplicada y experimental que intenta:

- Describir el comportamiento de sistemas.
- Postular teorías o hipótesis que expliquen el comportamiento observado.
- Usar estas teorías para predecir un comportamiento futuro, es decir, los efectos que se producirán mediante cambios en el sistema o en su método de operación.

En síntesis, cada modelo o representación de un objeto es una forma de simulación. Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios para la operación del sistema.

El proceso de simulación. Si se supone que la simulación se usa para investigar las propiedades de un sistema real, se debe mencionar las siguientes etapas:

- Formulación del problema y plan de estudio. Todo estudio debe comenzar con una muy clara definición de objetivos, de detalles específicos que se quieren cubrir, de alternativas de diseño y de criterios para evaluarlas. Hay que planificar el estudio en términos de personal, costo y tiempo.

- Recolección de datos y definición del modelo. Información y datos deben ser recolectados del sistema de interés (si existe) para ser usados en la determinación de aspectos operativos y de las variables aleatorias usadas en el modelo. La construcción del modelo aun es en buena medida arte. Se debe comenzar con un modelo sencillo que pueda ser refinado de ser necesario.
- Construcción del programa y verificación. Hay que decidir que lenguaje usar y asegurarse de tener generadores de números aleatorios adecuados.
- Corridas piloto. Estas corridas se hacen para validar el modelo verificado. Las corridas piloto pueden ser usadas para determinar la sensibilidad del modelo a pequeños cambios en los parámetros de entrada. Cambios importantes implican que una mejor estimación de estos parámetros debe ser obtenida.
- Diseño de experimentos. Hay que decidir que diseños del sistema se simularán y en cada caso hay que decidir sobre el tiempo de corrida de la simulación, las condiciones iniciales, y el número de repeticiones.
- Corridas de producción. Son para producir datos para medir el desempeño de los diseños de interés.
- Análisis de salidas. Técnicas estadísticas son usadas para analizar las salidas de las corridas de producción. Usualmente se construyen intervalos de confianza de alguna medida de desempeño de un diseño o para decidir cual es mejor respecto a cierta medida de desempeño.

- Documentación, presentación e implementación de los resultados. Es importante documentar los supuestos realizados así como el programa mismo.

Modelo: Un modelo es una representación de un objeto, sistema, o idea, de forma diferente a la de la identidad misma. Usualmente, su propósito es ayudar a explicar, entender o mejorar un sistema. Una definición bastante generalizada de modelo según Joly (1988) es una "representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades". De la definición se deduce que la versión de la realidad que se realiza a través de un modelo pretende reproducir solamente algunas propiedades del objeto o sistema original que queda representado por otro objeto o sistema de menor complejidad.

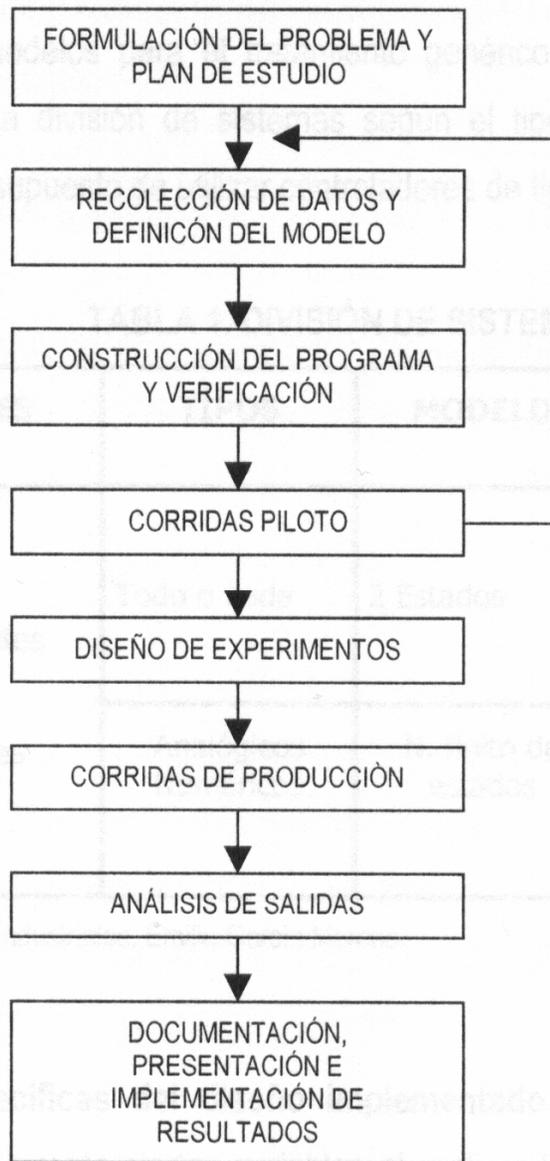


Figura 5. Proceso de simulación

6. DISEÑO

Para la etapa de diseño del sistema, es necesario definir el comportamiento del mismo, para poder determinar los componentes que van a hacer posible el funcionamiento deseado. Para ello, es necesario realizar un flujograma operativo de cómo el sistema debe realizar el proceso.

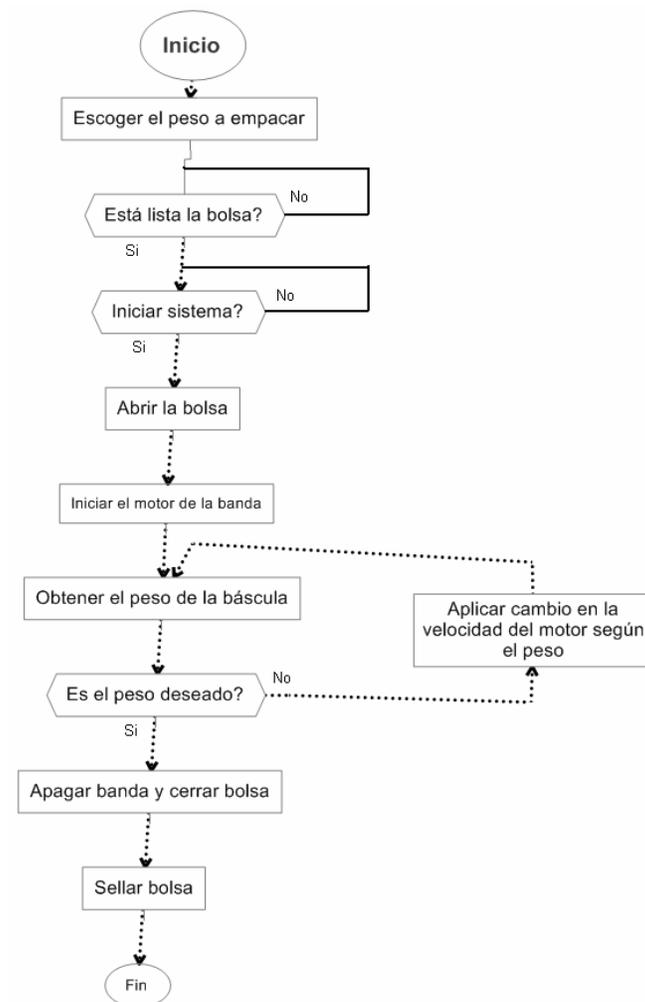


Figura 6. Flujograma de funcionamiento del sistema

El siguiente paso es definir los subsistemas que van a componer el sistema, para dividir el problema grande, en varios problemas pequeños y solucionarlos poco a poco con mayor facilidad. En el sistema que se va a trabajar se puede identificar fácilmente los siguientes módulos:

- Módulo de alimentación: Será el encargado de llevar las papas hasta el sistema de empaque.
- Módulo de empaque y pesado: Será el encargado de controlar la entrada de las papas a la bolsa y el peso deseado en las bolsas.
- Módulo de sellado: Será el encargado de sellar las bolsas cuando estas cumplan con el peso deseado.
- Sistema de control: Será el encargado de regular todas las acciones que deban tomar los diferentes módulos.

En la siguiente figura se puede ver el esquema básico del sistema:



Figura 7. Esquema de los módulos del sistema

Está claro que las relaciones entre los diferentes módulos, serán controladas por el sistema de control. Ya definidos estos parámetros se puede iniciar el diseño del sistema.

Es necesario definir que elementos son necesarios para el funcionamiento de cada uno de los subsistemas, de acuerdo a las funciones que van a cumplir los mismos.

- Alimentación: Ya que el propósito de este sistema es transportar las papas a empacar, es necesario pensar en un mecanismo con movimiento como una banda transportadora o una tolva de caída vertical, se debe tener en cuenta la facilidad para el manejo de éstas en la industria de alimentos y que sea una alternativa económica que cumpla los parámetros requeridos para ser la mejor opción. Además se debe tomar en cuenta el mecanismo que se requiera para su movimiento o apertura.
- Empaque: Como el empaque que se va a realizar en este proceso es por peso, es necesario considerar una báscula o balanza digital para que comunique al sistema de control el peso que hay en la bolsa. Además la bolsa debe abrirse para el empaque y cerrarse para el sellado, así que es necesario considerar un mecanismo que permita realizar estas operaciones y ya que se quiere optimizar el tiempo que toma el empaque es necesario que ese mecanismo sea de acción rápida; teniendo en cuenta las razones anteriores, se pueden considerar un mecanismo piñón cremallera que funcione con un motor de altas revoluciones o un mecanismo neumático de acción rápida. Además es necesario pensar en una estructura donde se puedan ubicar los componentes necesarios para el empaque y sellado, y que además se acople fácilmente al diseño de la banda.

- Sellado: Para el módulo de sellado, es necesario pensar en un elemento que sea capaz de aplicar fuerza sobre la parte superior de la bolsa la cual estará extendida totalmente, por economía y facilidad en el diseño, se puede pensar en un cilindro neumático o hidráulico. Además se debe tener en cuenta que para el correcto sellado es necesario realizar un pequeño proceso de termoformado sobre la superficie de la bolsa, es decir que mediante el calor se forme el sello de la bolsa, así que se puede considerar una resistencia sometida a un voltaje que la obligue a disipar calor.
- Control: Ya que se busca economía, el mejor control se puede hacer mediante un PC que contenga el algoritmo para la realización del proceso. En cuanto a los actuadores de los subsistemas, es necesario el diseño de tarjetas de potencia para que las señales provenientes del PC puedan activar las diferentes acciones que sean necesarias dentro del proceso. Por último, es necesario pensar en un componente que permita variar la velocidad del motor de la banda transportadora de acuerdo a los parámetros que se estipulen en el sistema, para una mayor precisión en el empaque; se toma un variador de velocidad como la mejor alternativa, ya que gracias a que sirven también como arrancadores suaves, se puede variar la velocidad con aceleraciones y desaceleraciones, lo que permitirá que la banda avance a diferentes velocidades dependiendo del peso.

Sin embargo, fue necesario valorar las opciones de los posibles componentes que se incluirían en los diferentes subsistemas mediante un análisis DOFA, para determinar la solución más apta.

- Módulo de empaque

El primer elemento a considerar, será el mecanismo mediante el cual se transportarán las papas, para ello se consideraron como alternativas la tolva de caída vertical y la banda transportadora.

ELEMENTO	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
Tolva	Necesita mucho espacio disponible	La caída es automática	No ocupa espacio horizontal sobre el piso	Puede dañar las papas en el control de flujo
Banda transportadora	Requiere de control de velocidad	Fácil de fabricar de acuerdo a la necesidad	Fácil control de flujo	Ocupa espacio horizontal sobre el piso

Tabla 4. Análisis DOFA del mecanismo de transporte

Se escoge la banda transportadora, ya que mediante el control de velocidad del motor, se puede controlar el flujo de papas que entran a la bolsa sin correr el riesgo de dañarlas, caso contrario de la tolva que al necesitar de un mecanismo de apertura y cierre como un tornillo sin fin puede romper o dañar las papas, por otro lado es fácil comprobar en la mayoría de material de soporte y diseño de estos mecanismos, que para las condiciones del diseño requerido la banda transportadora va a ser más precisa en el peso a empaquetar por la condición de variación de velocidad mientras que en la tolva, la caída vertical va a obligar a un control de flujo mucho más complicado y de mayor velocidad de reacción para que la precisión del peso esté sobre los 5 gr. de desfase, además se pueden definir parámetros de la normatividad de alimentos en cuanto al material de la superficie de la banda con mayor facilidad lo que permite hacer un diseño económico pero funcional.

Escogida la banda transportadora es necesario determinar el tipo de motor que controlará su movimiento, para ello se toman en consideración los motores de corriente directa o alterna.

ELEMENTO	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
Motor AC	Difícil variación de velocidad	Funciona en cualquier enchufe	Grandes velocidades y potencias	Difícil sincronización con el PC
Motor DC	Toca hacer un circuito de conversión AC-DC	Fácil manejo con variador de velocidad	Maneja grandes potencias con voltajes pequeños	Fallas en el arranque desde velocidad 0

Tabla 5. Análisis DOFA del motor de la banda transportadora

Se escoge el motor DC, por conveniencia ya que se maneja una potencia grande con un voltaje pequeño (puede manejar ¼ HP con 24VDC) lo que hace que la conmutación de la señal sea mucho más sencilla y que el sistema funcione de manera sincrónica. Por otro lado, en el material de tipo informativo y de soporte acerca de los motores se sugiere que para el manejo de bandas transportadoras con variación de velocidad se trabajen motores DC.

- Módulo de empaque y pesado

En el pesaje, es indispensable determinar el mecanismo con el cual se va a determinar el peso empacado. Se consideraron como alternativas una báscula y galgas extensiométricas.

ELEMENTO	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
Báscula	Soporta poca carga	Fácil ubicación en un soporte	Fácil comunicación con el PC	Es de gran costo
Galgas extensiométricas	Necesita de conversor análogo digital	Ocupa poco espacio	Es económico y fácil de implementar	Difícil sincronización con el PC

Tabla 6. Análisis DOFA del mecanismo de pesado

Se escoge la báscula, ya que la comunicación con el PC es directa y no hay que realizar circuitos adicionales para ello, además su fácil ubicación, ya que en los documentos de soporte se destaca su fácil implementación, y las características de carga que presenta son aptas para el proyecto.

Por otro lado se debe tener en cuenta el mecanismo de apertura y cierre de la bolsa, las opciones que se tuvieron en cuenta para realizar esta labor son un mecanismo tipo piñón cremallera o un mecanismo neumático.

ELEMENTO	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
Piñón cremallera	Usa una fuente de energía no renovable	Fácil sincronización con el PC	Rapidez en el movimiento	Desgaste de los dientes del piñón y la cremallera
Mecanismo neumático	Necesita mecanismos adicionales para control de velocidad	Es un mecanismo limpio	Usa una fuente de energía fácil de obtener	Difícil implementación en el sistema

Tabla 7. Análisis DOFA del mecanismo de apertura y cierre de la bolsa

Se escoge el mecanismo piñón cremallera ya que permite un movimiento rápido en apertura y cierre, además de que el motor que usa puede ser conmutado fácilmente con el PC, y aunque existe el problema de desgaste por rozamiento, las ventajas que ofrece en términos de velocidad e implementación son muy aceptables para el proyecto ya que se obtienen tiempos de carrera en el intervalo de 2s. a 5s. y la fuerza que se aplica sobre el material de la bolsa no va a superar los 6kgf. mientras que el mecanismo neumático sin válvulas de estrangulación va a tener tiempos de carrera aproximado a 0.2s. y va a sobrepasar los 10kgf. lo que va a producir la ruptura o daño de la bolsa, y aunque al añadir las respectivas válvulas de estrangulación van a permitir el control de velocidad y fuerza del mecanismo, el piñón cremallera sigue superándolo en términos de diseño por su facilidad de implementación.

- Módulo de sellado

El módulo de sellado, requiere de un cilindro que haga presión sobre la superficie de la bolsa para realizar el proceso de sellamiento, lo que se debe analizar es la posibilidad de trabajar con hidráulica o neumática.

ELEMENTO	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
Cilindro neumático	Necesidad de un compresor	Es un mecanismo limpio	Usa una fuente de energía limpia y económica	No alcanza presiones muy grandes
Cilindro hidráulico	Usa una fuente de energía cara y que deja residuos	Se amortigua fácil en entrada y salida	Se alcanzan grandes presiones	No es recomendable en la industria de alimentos

Tabla 8. Análisis DOFA del mecanismo para el proceso de sellado

Es casi una obligación que en la industria de alimentos se debe trabajar con elementos neumáticos por limpieza, además no se necesita de grandes presiones para el proceso de sellado (20 bar) como se sugiere en la norma I.C.S: 83.140.00 de ICONTEC.

Para que la salida y el retorno del cilindro no sea demasiado brusco se deben utilizar mecanismos de amortiguamiento, uno son las válvulas estranguladoras y el otro es el amortiguador hidráulico que viene dentro de algunos cilindros.

ELEMENTO	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
Válvula de estrangulación	Necesidad de una buena calibración	No corre riesgos de ensuciar el alimento	Muy recomendable en la industria de alimentos	Es externo al cilindro
Amortiguador hidráulico	Pueden pasar residuos al aire	Muy buen amortiguamiento	Viene integrado con el cilindro	No es recomendable en la industria de alimentos

Tabla 9. Análisis DOFA del mecanismo de amortiguamiento para el sellado

Se escoge la válvula de estrangulación por limpieza en el proceso y aunque la calibración de esta puede llegar a ser un problema, es predominante su fortaleza de garantizar la limpieza del proceso. Además la válvula de estrangulación permite variar los tiempos de entrada salida de acuerdo a su grado de apertura, de una manera rápida y sencilla tal como lo explican los diferentes materiales que se refieren a actuadores neumáticos.

- Módulo de control

El control básicamente se puede realizar mediante un PC o un PLC, ya que cualquiera de los dos sirve para determinar la secuencialidad y los tiempos de funcionamiento de sistema.

ELEMENTO	DEBILIDADES	OPORTUNIDADES	FORTALEZAS	AMENAZAS
PC	Necesita de tarjetas de potencia	Es económico	Se puede reprogramar fácilmente	Virus, pérdidas de información
PLC	Es costoso	No necesita mecanismos externos para salidas de potencia	Es versátil para programación y funcionamiento	Es complicado reprogramarlo

Tabla 10. Análisis DOFA del instrumento de control

Se escoge el PC, por economía, por que se puede utilizar en otros procedimientos mientras se ejecuta el control del sistema, por su facilidad de reprogramación y por fácil entrenamiento y entendimiento del proceso para el operario.

Habiendo determinado los principales componentes, aquí se presenta un resumen de lo que se quiere utilizar en cada subsistema:

Subsistema	Elemento	Función
Alimentación	Banda transportadora	Llevar las papas a empaque
	Motor	Proveer de motricidad a la banda
Empaque	Báscula	Pesar la cantidad en la bolsa
	Mec. piñón-cremallera	Abrir y cerrar la bolsa
	Motor	Proveer de motricidad al mecanismo piñón-cremallera
	Estructura de soporte	Soportar los componentes de empaque y sellado
Sellado	Cilindro neumático	Aplicar la fuerza sobre la bolsa para el sellado
	Compresor	Proveer de aire al cilindro neumático
	Resistencia	Convertir electricidad en calor para el sellado
Control	PC	Ejecutar el algoritmo necesario para realizar el proceso
	Tarjetas de potencia	Activar los actuadores con las señales del PC
	Variador de velocidad	Variar la velocidad del motor de la banda para un pesaje más preciso

Tabla 11. Resumen de componentes a utilizar en el sistema

El siguiente paso es realizar el diseño de los subsistemas.

6.1. Diseño del módulo de alimentación

Como el objetivo del módulo de alimentación es transportar las papas hasta el módulo de empaque, se debe tener en cuenta que el mejor mecanismo para cumplir esta tarea es una banda transportadora con su respectivo motor. La función de la banda es soportar los pesos y tensiones generadas por el material que se transporta, para esto, la banda de tejido sólido es adecuada por tener un recubrimiento, resistencia al fuego e impedir la penetración del agua, características que son importantes para el material que se pretende transportar. Además se requiere de un motor que permita variar su velocidad ya que esto es necesario para el sistema que se pretende implementar.

Para el diseño de la banda transportadora, se considera que es una banda plana de material medianamente adhesivo, ya que el movimiento de las papas se realiza en un plano recto y pueden haber deslizamientos de las papas sin la debida adherencia del material; se deben tener en cuenta ciertos factores como la velocidad, el ancho de la banda, los rodillos, el material de la banda, entre otros, estos factores están normalizados según DIN 22101, en la cual se especifican los aspectos más relevantes de las bandas transportadoras.

Es necesario tener claro cuáles son las dimensiones que va a tener la banda transportadora, de acuerdo a los materiales a transportar y a las condiciones con las que se quiera solucionar el problema. Para el caso que se está tratando, no se tienen dimensiones específicas de cada papa que se va a transportar, sin embargo se sabe que el grosor puede ser de 9 o 12 mm., y que la longitud tiene una variación cuyo comportamiento porcentual se muestra en la tabla 4.

Largo (mm)	Porcentaje
más de 50	80%
entre 20 y 50	18%
menos de 20	2%

Tabla 12. Fluctuación estadística del largo de las papas a la francesa

Esta longitud, es la que va a variar el peso y el flujo de las papas sobre la banda transportadora lo que va a conllevar a un estado aleatorio entre procesos, es decir que dos procesos de empaque y pesaje nunca serán iguales por esta causa.

Experimentalmente se obtuvo el dato que sobre una superficie de 50cm. x 200cm. se puede alcanzar un peso promedio de 50 kg. de papa francesa (Este dato se obtuvo sobre una mesa de acero inoxidable de las medidas mencionadas); por estas razones se escoge una banda transportadora de 50 cm. de ancho y de 2 m. de largo. Además se establece que la parte inferior de la banda estará ubicada a una altura de 85 cm. para cumplir con los requisitos de la estructura que va a servir como soporte a los otros sistemas.

Otro parámetro importante a definir es la resistencia al impacto, primero se define como los impactos de la banda que se producen en la zona de alimentación y su efecto sobre ella son consecuencia del tamaño y forma del material, de la altura de caída y frecuencia de caída. Para ello se utiliza la fórmula estipulada en el diseño de bandas transportadoras para energía de caída:

$$\text{Energía de caída } E_k = k \times m \times h \times g$$

Donde, k = Coeficiente de forma, m = masa (kg), h = Altura de caída (m), g = gravedad (m/seg²).

Para el caso de interés, k es 0.5 por ser el material de tipo oblongo (más largo que ancho), se establecerá una masa de 3 kg. como máxima entrada, la altura de caída aproximada es de 0.1 m., y la gravedad que es constante en el SI y cuyo valor es de 9.8 m/seg^2 ; entonces:

$$E_k = 0.5 \times 3 \times 0.1 \times 9.8 = 1.47 \text{ kg} \times \text{m}^2 / \text{s}^2$$

En este caso se puede decir que la banda es relativamente simple en diseño y baja en tensión por el material que transporta y por sus longitudes, ya que al obtener un parámetro de carga tan pequeño el diseño va a ser menos complejo en cuanto a la cantidad de rodillos y a los perfiles de carga.

Otro punto necesario de determinar es la estructura soportante, que está compuesta por perfiles tubulares o angulares de acero estructural, formando en algunos casos verdaderos puentes que se fijan a su vez en soportes o torres estructurales apernadas o soldadas en una base sólida.

Los criterios necesarios para determinar los perfiles y la estructura son la distancia entre los soportes, el largo y peso del material a transportar, y las medidas de los perfiles utilizados.

Los perfiles corresponden a los soportes que dan la rigidez a la banda y determinan la posición de los rodillos. Al igual que los rodillos, los perfiles se eligen según las dimensiones y pesos de las cargas que deben transportar.

TIPO DE PERFIL	MATERIAL DEL PERFIL	MEDIDAS PRINCIPALES			DISTANCIA ENTRE SOPORTES	CAPACIDAD DE CARGA (kg)
Servicio Liviano	Hierro negro doblado en U	63,5 mm.	4 mm.	3,18 mm.	3 -- 5	200 - 400
Servicio pesado	Hierro negro doblado en U	88,9 mm.	38,1 mm.	3,18 mm.	3 -- 1,5	550 - 1100
Servicio extrapesado	Canal estructural en acero	101,6 mm.	50,8 mm.	6,35 mm.	3 -- 1,5	1600 - 3200

Tabla 13. Capacidades de soporte de carga de los perfiles

Según la tabla 13, la cual está estipulada en la norma DIN 22101, y de acuerdo a las características de carga se escoge un perfil de servicio liviano.

Como la banda sólo requiere de un rodillo portante y un rodillo de retorno, se utiliza la siguiente tabla para determinar el diámetro:

Ancho de la banda	Diámetro del rodillo
500	63,5 - 89 -- 108 - 133
600	63,5 - 89 -- 108 - 133
800	89 - 108 - 133
1000	89 - 108 - 133
1200	108 - 133 - 159

Tabla 14. Diámetros para anchos de banda normales

Aunque el parámetro para servicio liviano es que por cada rodillo debe haber una carga máxima de 50Kg. se utilizará un tercer rodillo en la mitad de la banda para no correr riesgos de sobrecarga en la superficie.

Estos parámetros están estipulados en la norma técnica de bandas transportadoras, y se escoge el diámetro de 108 mm. para los rodillos de la banda,

ya que este diámetro al no pertenecer al grupo de diámetros pequeños (63.5 – 89) va a garantizar que la velocidad no sea demasiado grande y al ser el menor parámetro de los diámetros grandes garantizará que la banda no sea lenta.

Para la selección del motor, se debe tener en cuenta que la potencia requerida para operar una banda transportadora se basa en una correcta instalación, alimentación regular y uniforme y otros criterios de diseño.

La velocidad de los rodillos se basa en la expresión de rotación:

$$n = \frac{60 \times v}{\pi \times d}$$

Donde v es la velocidad lineal de la banda (m/s) y d es el diámetro (mm). Además de esto, se tiene normalizado la velocidad del rodillo mediante la siguiente tabla:

Diámetro	1,05	1,31	1,68	2,09
89	225	281	360	448
108	185	231	296	370
133	150	187	240	300
159	126	157	202	252
194	103	128	165	206

Tabla 15. Velocidad del rodillo en función del diámetro y de la velocidad de la banda (Norma DIN22101)

Como se quiere una velocidad media, se escoge como parámetro de velocidad 1.31 m/s y al saber que el diámetro del rodillo es de 108 mm. se obtiene una velocidad del rodillo de 231 r.p.m. La velocidad real de la banda va a ser igual al producto entre las una constante de revoluciones por minuto y la velocidad media, divididas por la velocidad del rodillo, así:

$$V = (20r.p.m. \times 1.31m/s) / 231r.p.m. = 0.11m/s$$

Es decir que la velocidad real de la banda es de 0.11m/s, lo que es equivalente a 11cm/s. En términos generales, la banda va a tener un comportamiento de velocidad media y alta resistencia a la carga de las papas deseada.

6.2. Diseño del módulo de empaque y pesado

Básicamente este módulo se compone de un soporte en donde se ubicarán todos los actuadores que intervengan con el empaque, pesado y sellado, además de un mecanismo piñón cremallera que se utilizará para mantener abierta o cerrada la bolsa según se requiera, y una báscula digital con comunicación al computador.

El soporte tiene como objetivo principal brindar apoyo a todos los elementos implicados en el proceso de empaque, pesado y sellado, como lo son el mecanismo piñón cremallera, la báscula, el cilindro neumático y la platina que realiza el sellado. El modelo aproximado sin la placa encargada de sostener la báscula es:

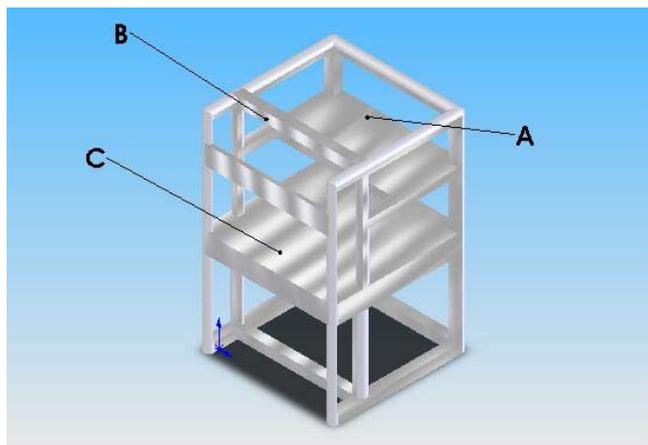


Figura 8. Modelo aproximado del soporte

El acero 1020 proporciona unas características que cumplen las condiciones de carga a las que va a ser sometida la estructura de soporte, así que se toma este material para la fabricación de la misma. Sobre la placa A va ubicado el cilindro, la placa B se encarga de sostener el mecanismo piñón cremallera y la placa C es el soporte de la báscula.

Para el mecanismo piñón cremallera se debe tener en cuenta el funcionamiento básico de este tipo de mecanismos, el cual está ilustrado en la figura 8:

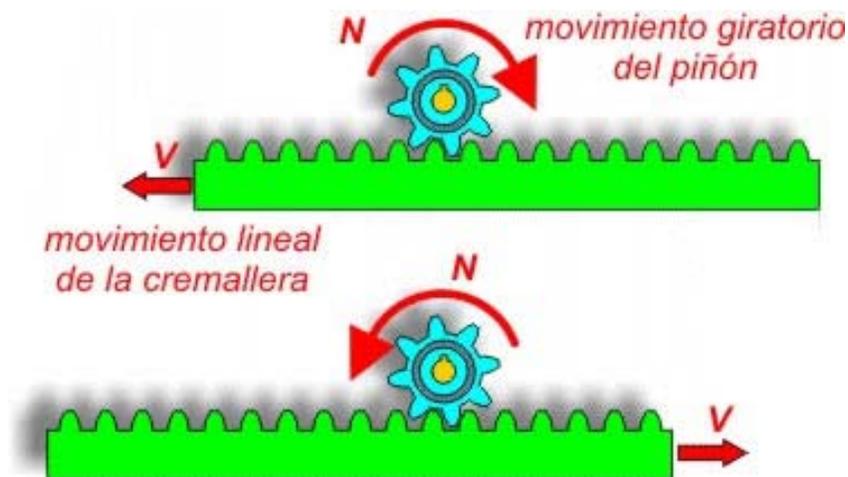


Figura 9. Funcionamiento básico del mecanismo piñón cremallera

Para el funcionamiento deseado de este mecanismo se requieren dos cremalleras, una en la parte inferior y otra en la parte superior, esto permitirá que las dos cremalleras se muevan al tiempo en sentidos contrarios y permitan abrir o cerrar la bolsa según se requiera.

Como el ancho de la bolsa es de 20 cm. se requiere que cada cremallera tenga una longitud mínima de 10 cm. y que tenga algún tipo de sujetador a una distancia aproximada de 7.5 cm. del centro, para que soporten las condiciones de carga de la bolsa y dejen un espacio de aproximadamente 15cm. de apertura en la bolsa.

Ya que el ancho de apertura a utilizar de la bolsa no es completo y es mucho menor que el ancho de la banda, se debe adicionar algo sobre la banda transportadora que dirija el flujo de papas hacia la apertura de la bolsa; lo mejor es ubicar dos láminas de acero inoxidable que formen una especie de embudo sobre la banda y que garanticen que la papas caerán dentro de la bolsa. A pesar de que el ancho de apertura puede ser 15cm., se toma un ancho de trabajo de 12cm. para garantizar que la caída de las papas no ejercerá más peso sobre las pinzas de sujeción.

Para el diseño del piñón se deben tener en cuenta aspectos básicos como en número de dientes que debe tener y el diámetro; por ubicación y espacio ocupado, se escoge un piñón de diámetro externo de 5.5cm. y grosor de 2cm. lo que permite soportar las condiciones de carga, además se debe saber el número de dientes y el paso del piñón y el paso del piñón, como se desea que la velocidad sea de 5cm./s ya que se desea recorrer la distancia de apertura y cierre en dos segundos se espera que por cada 360° de giro se recorran al menos 5cm, al calcular el perímetro de la circunferencia externa del piñón se obtiene:

$$p = \pi \times r = \pi \times 2.75$$
$$p = 8.6394$$

Es decir que con un diámetro externo de 5.5cm. se podrían recorrer 8.6394cm. por giro, sin embargo al diseñar un piñón de 12 dientes es fácil determinar que el paso es:

$$P = D / z$$

Donde:

P=paso del piñón

D=Diámetro primitivo

Z =número de dientes

Al reemplazar los valores en la ecuación de cálculo de paso del piñón se obtiene:

$$P = 5.5cm / 12 = 0.4583333$$

Para facilitar el mecanizado se escoge un paso de 0.5cm.

Se requiere de un motor que haga girar al piñón para el mecanismo de apertura y cierre, como no se requiere de mucha potencia y mediante las condiciones de que se espera que la bolsa abra o cierre máximo con 2 giros del motor, y en el menor tiempo posible, es fácil calcular que:

$$n = \frac{rev}{t}$$

Si se establece un tiempo mínimo de 2 segundos para apertura o cierre, se obtiene:

$$n = \frac{4rev}{2seg} = 2rev / seg = 120RPM$$

Así que se debe utilizar un motor de esta velocidad o aproximada, obviamente a mayor sea la velocidad, menor será el tiempo de apertura o cierre y viceversa.

Además se debe considerar que el motor debe funcionar girando tanto en sentido horario como en sentido antihorario, así que es fácil pensar en un motor DC con inversor de giro, el cual puede ser integrado en la tarjeta de potencia.

El parámetro de velocidad del motor también puede ser utilizado para determinar la velocidad de la cremallera mediante la fórmula:

$$V = \omega D / 2$$

Donde:

W=velocidad angular del eje del motor

Reemplazando los valores correspondientes se obtiene:

$$V = \frac{2rev/s \times 5.5cm}{2} = 5.5cm/s$$

Al considerar las pérdidas por rozamiento y por potencia del motor, se puede afirmar que la velocidad de la cremallera será de 5cm./s

Para la sujeción de la bolsa, se utilizará un mecanismo de tipo pinza ya que permite el cambio rápido de una bolsa sellada por una bolsa nueva y es muchísimo más cómodo y menos dañino que otro tipo de mecanismos de sujeción como los ganchos.

En la actualidad, existe una gran variedad de básculas de tipo digital para pequeños pesos (de hasta 5 kg.), así que se debe elegir cualquiera de ellas que tenga conexión directa de transferencia de datos al computador, también se debe tener en cuenta que el peso máximo de la báscula debe ser de 5kg. o no sería confiable el soporte diseñado para esta función, ya que el comportamiento del material de la placa a una carga mayor a 10kg. con la distribución dada, no garantizaría que pudiera sostener la báscula.

6.3. Diseño del módulo de sellado

Este módulo se compone del cilindro neumático que empujará el material plástico hacia la platina de sellado, y la platina de sellado, todo esto lleva a pensar en una parte neumática y una parte eléctrica, la parte neumática implica una electroválvula que cuando sea activada permita el paso de aire hacia el cilindro neumático y la parte eléctrica implica el aplicar un voltaje a la platina de sellado.

En el sentido eléctrico se determinó que las resistencias ubicadas en la platina, deben estar sometidas a una tensión de 24 V., este valor es experimental y se determinó a partir del material de las resistencias (Ferro-níquel) el cual fue elegido por generar el calor suficiente para el sellado con voltajes pequeños y la longitud de las mismas, para el correcto sellado. Además se logró determinar que es necesario aislar las resistencias del material a sellar con teflón adhesivo de 2 cm. de ancho, para no correr el riesgo de que el plástico de las bolsas quede adherido a la resistencia.

La idea de trabajar con neumática, parte de que el diseño debe ser económico y limpio, y aunque la hidráulica permite manejar grandes presiones, tiene el inconveniente de que debe contar con un tanque de retorno para el aceite, en el caso de la neumática el tanque es la misma atmósfera de la cual el compresor obtiene el aire y en comparación con otros sistemas es mucho más económico.

Dentro del diseño neumático se tienen dos elementos, el primero es una electroválvula controlada a 24 V. y la cual es la encargada de interrumpir o permitir el paso de aire al cilindro. El otro elemento es un cilindro neumático, que por las condiciones de trabajo que va a tener se determinó que el mejor cilindro es el de simple efecto con reposición por muelle.

Según la norma técnica I.C.S: 83.140.00 del instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC “películas de polietileno, determinación del sellado al calor”, la presión de sellado es de 20 bar. Si se utiliza un compresor normal a 6 bares de presión y se escoge un radio de émbolo igual a 0.75 cm. por medio de la ecuación de transmisión de presión y teniendo en cuenta que la ley física implica que $F_1=F_2$, entonces:

$$\frac{P_1}{A_2} = \frac{P_2}{A_1}$$

Dado que:

$$P_2 = 20bar$$

$$P_1 = 6bar$$

$$r_2 = 0.75cm$$

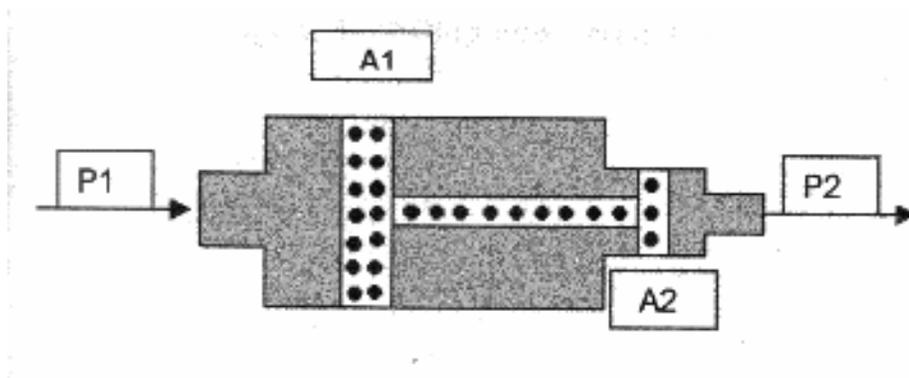


Figura 10. Parámetros del cilindro neumático

Para calcular el radio del área 1 se tiene:

$$A_1 = (P_2 \times A_2) / P_1$$

Como el área está definida por $A = \pi \times r^2$ entonces $r_1 = 1.3\text{cm}$, lo que quiere decir que el diámetro es igual a 2.6 cm. sin embargo al aproximarlo al valor comercial más común se puede decir que el diámetro es de 3 cm. En general, para obtener la presión deseada para el sellado de la bolsa, es necesario utilizar un compresor de 6 bares con un cilindro de diámetro de 3cm. para garantizar la presión de 20 bares necesaria para garantizar el sellado.

6.4. Sistema de control

Para el sistema de control se debe tener en cuenta los parámetros de cómo se quieren controlar los diferentes actuadores y las funciones de transferencia de los mismos.

En primer lugar, se debe hablar del modelo del motor que va a permitir que la banda transportadora se mueva; básicamente se puede decir que independientemente del motor, se puede llegar a una función de transferencia característica en los motores, y puede ser modelado de la siguiente forma:

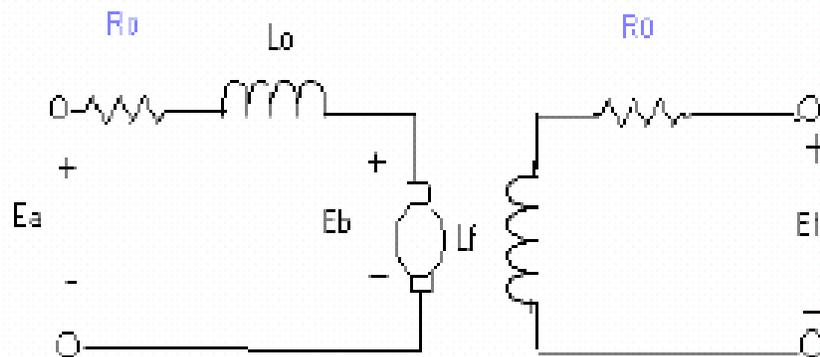


Figura 11. Esquema de un motor DC

Y mediante:

$$\tau_m = K_f i_f i_a$$

$$e_b = K_k i_f \omega$$

$$\tau_m - \tau_l = J\omega + b\omega$$

$$i_a(L_a s + R_a) = e_f$$

$$i_f(L_f s + R_f) = e_f$$

$$V = n\omega$$

$$J(W) = J_0 + K_f W i_f$$

$$b(W) = b_0 + K_f W$$

De donde:

L_a = Inductancia de armadura

R_a = Resistencia de armadura

i_a = Corriente de armadura

e_a = Voltaje de armadura

e_b = Voltaje inducido en el motor

L_f = Inductancia de campo

R_f = Resistencia de campo

i_f = Corriente de campo

e_f = Voltaje de campo

K_f = Constante de par

K_k = Constante de voltaje inducido

τ_m = Torque del motor

τ_l = Torque de carga

ω = Velocidad angular

- V = Velocidad lineal
- n = Radio del eje del motor
- W = Masa del objeto a transportar
- $J(W)$ = Momento de inercia
- $b(W)$ = Coeficiente de amortiguamiento

Además se debe considerar un torque mínimo para partir de velocidad cero, de lo cual se desprende:

$$\begin{aligned}
 |\tau_m - \tau_l| &> \tau_{on}(W) && \text{con } \omega = 0 \\
 |\tau_m - \tau_l| &> \tau_{off}(W) && \omega < \omega_{off} \\
 \tau_{on}(W) &= \tau_{on0} + K_f W \\
 \tau_{off}(W) &= \tau_{off0} + K_f W
 \end{aligned}$$

De acuerdo a lo establecido en este modelo, se puede ver que los parámetros a controlar son:

- L_a = Inductancia de armadura
- R_a = Resistencia de armadura
- $J(W)$ = Momento de inercia
- K_f = Constante de par
- $\tau_{on}(W)$ = Torque de arranque
- $\tau_{off}(W)$ = Torque de parada
- L_f = Inductancia de campo
- R_f = Resistencia de campo
- $b(W)$ = Coeficiente de amortiguamiento
- n = Radio del eje del motor

En términos generales se puede decir que un motor controlado por armadura tiene un comportamiento de la forma:

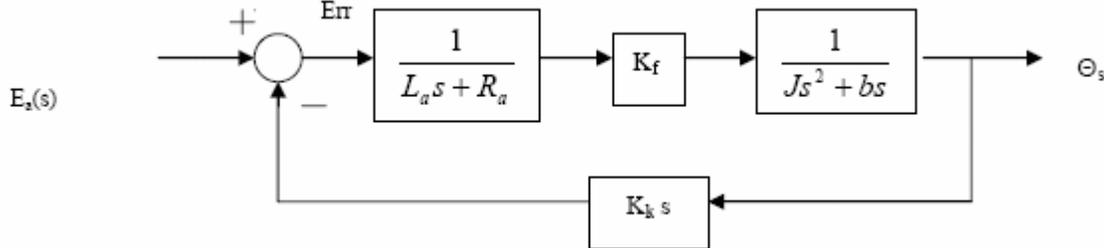


Figura 12. Diagrama de un motor controlado por armadura

Al simplificar se obtiene:

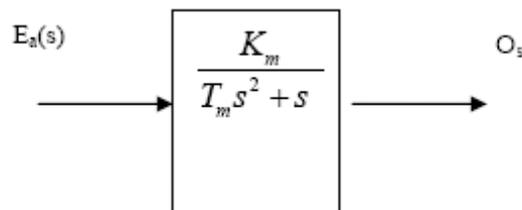


Figura 13. Diagrama de bloques simplificado

Como se puede considerar que las funciones de transferencia son una forma simplificada de ver matemáticamente el funcionamiento de un sistema, se puede decir que el funcionamiento de los motores se basa en la función de transferencia anterior, aunque se puede variar la definición de las constantes y las variables en el momento de la implementación, se concluye que el modelo de un motor es.

$$K_m = \frac{K_f}{(R_a b(W) + K_f K_k)} \quad \tau_m = \frac{R_a J(W)}{(R_a b(W) + K_f K_k)}$$

$$G(s) = \frac{K}{Js^2 + Bs}$$

$$G(s) = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)}$$

En donde:

$$K_m = \frac{K}{B}, T_m = \frac{J}{B} = \frac{R_a J_a}{R_a b_0 + K_f K_k}$$

Se puede observar que la función de transferencia contiene el término $1/s$ lo cual implica una propiedad integrativa. A partir de esto se pueden establecer como parámetros:

$R_a = 10\Omega$	Resistencia de armadura
$R_f = 40\Omega$	Resistencia de campo
$L_a = 100mH$	Inductancia de armadura
$L_f = 500mH$	Inductancia de campo
$J(W) = 0.01 + 0.001W$	Momento de inercia
$B(W) = 0.03 + 0.003W$	Coefficiente de amortiguamiento
$K_f = K_k = 0.5625$	Constante de par
$n = 0.0955$	Radio del eje del motor
$\tau_{on}(W) = 2 + 0.02W$	Torque de arranque
$\tau_{off}(W) = 0.51 + 0.02W$	Torque de parada

Si se considera que el peso promedio trabajado sobre la superficie de la banda 50kg. se obtiene:

$$G(s) = \frac{K_m}{s(T_m s + 1)} = 0.27 / 0.3s^2 + s$$

Se desea que el comportamiento del motor sea de la forma:

$$V(p) = V \times \left(1 - \left[\frac{p_a}{p_m} \right]^2 \right)$$

Donde:

$V(p)$ = Velocidad en función del peso

V = Velocidad de la banda

p_a = Peso actual en la bolsa

p_t = Peso total a empacar

Si se toma en cuenta que el motor de la banda tiene una velocidad de 0.11/s, para el empaque de 500 gramos se va a obtener un comportamiento de la forma:

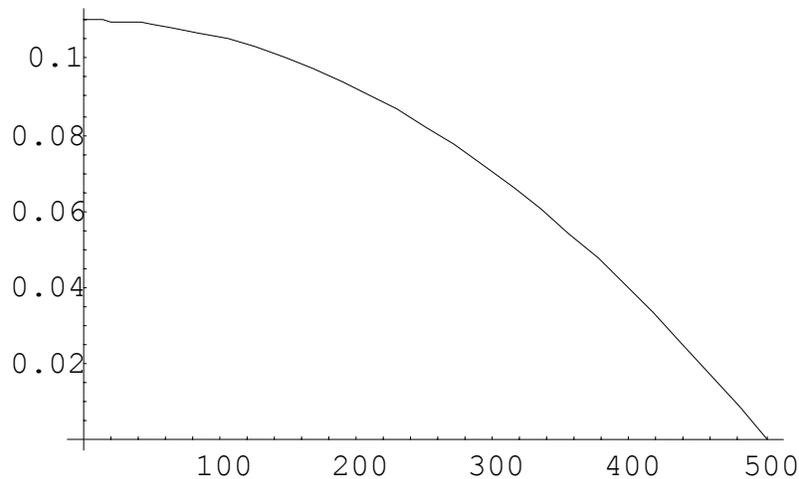


Figura 14. Comportamiento de la velocidad del motor en el empaque de 500 g.

El control de la velocidad, se hará mediante el variador por lo tanto se debe considerar que la velocidad mínima soportada sea de 0% y la máxima de 100%, además como al iniciar un ciclo de empaque la velocidad del motor será la

máxima, es necesario buscar un variador que sirva como arrancador suave para asegurar la durabilidad del motor.

Por otro lado, el empaque por peso bajo estas circunstancias conduce al tratamiento de una variable aleatoria llamada flujo. En la definición del peso respecto al tiempo es fácil notar que:

$$p_a(t) = p_{t-1} + (f \times t)$$

Donde.

$$\begin{aligned} p_a(t) &= \text{Peso de la bolsa en función del tiempo} \\ p_{t-1} &= \text{Peso en la bolsa en un tiempo anterior} \\ f &= \text{Flujo de papas en gr/unidad de tiempo} \\ t &= \text{Tiempo} \end{aligned}$$

Es fácil notar que la variable f , es de tipo aleatorio ya que el flujo puede variar de acuerdo a la cantidad de papas que entren a la bolsa, así que es necesario determinar el flujo máximo por segundo. Se sabe que la banda transportadora va a recorrer 11cm cada segundo, además como la banda va a tener un largo de 200cm y va a soportar una carga máxima de 50Kg, se puede determinar que la carga máxima en 1cm de largo va a ser:

$$W_{\text{largo}} = \frac{50Kg}{200cm} = 0.25Kg/cm = 250g/cm$$

Sin embargo, es indispensable tomar en cuenta que la carga máxima hacia lo ancho es aproximadamente el 8% de este valor, ya que al limitar el flujo mediante las placas tipo embudo disminuye considerablemente, es decir que:

$$W_{\text{ancho}} = 250g/cm \times 8\% = 20g/cm$$

Pero como nuestro interés es saber el máximo flujo de papas por unidad de tiempo, es necesario multiplicar este valor por el número de centímetros que la banda recorre en cada segundo es decir 11, así que el flujo máximo será:

$$f_{\text{máx}} = 20 \text{ g / cm} \times 11 \text{ cm/s} = 220 \text{ g/s}$$

Donde u_m significa unidades métricas.

De este modo, el flujo de papas por segundo va a variar entre 0g y 229.35g.

Ahora es necesario hallar el comportamiento del variador de velocidad, y para ello es necesario determinar el porcentaje de velocidad que va a utilizar el motor de acuerdo al peso en la bolsa a empacar, para ello es necesario realizar el cociente entre la función que está determinando la velocidad del motor y la velocidad máxima, y luego multiplicar este factor por 100, así:

$$\text{Variador \%} = \frac{V \times \left(1 - \left[\frac{P_a}{P_m} \right]^2 \right)}{V} \times 100\%$$

$$\text{Variador \%} = \left(1 - \left[\frac{P_a}{P_m} \right]^2 \right) \times 100\%$$

Donde:

$V(p)$ = Velocidad en función del peso

V = Velocidad de la banda

p_a = Peso actual en la bolsa

p_t = Peso total a empacar

Esta es la función que determinará el porcentaje de velocidad que debe regular el variador de velocidad en cada momento, para el caso de un empaque de 500gr, la variación porcentual sería:

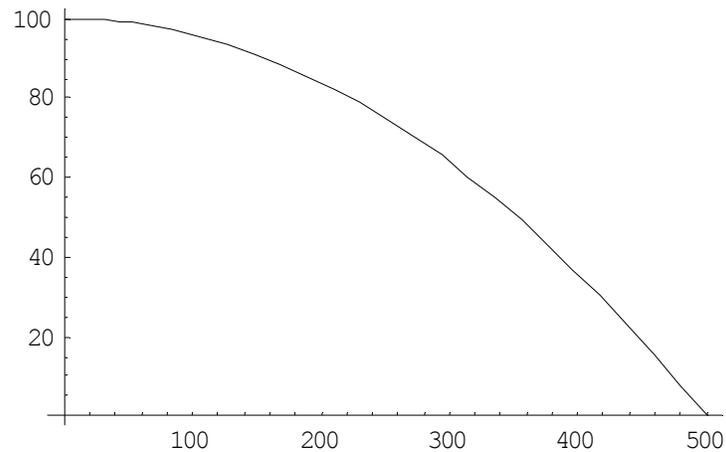


Figura 15. Comportamiento del variador del motor en el empaque de 500 g

6.5. Tarjetas de potencia

Para operar los respectivos actuadores, es necesario definir sistemas electrónicos que permitan garantizar el funcionamiento del prototipo.

Las tarjetas de potencia son dispositivos de gran utilidad para los sistemas de control, ya que mediante señales de 5VDC permite conmutar cargas de 110VDC, 24VDC o cualquier otra alimentación que pueda ser manejada mediante relevos. Esta característica permite el manejo de la electroválvula.

Para la electroválvula se puede usar una tarjeta como la del siguiente diseño:

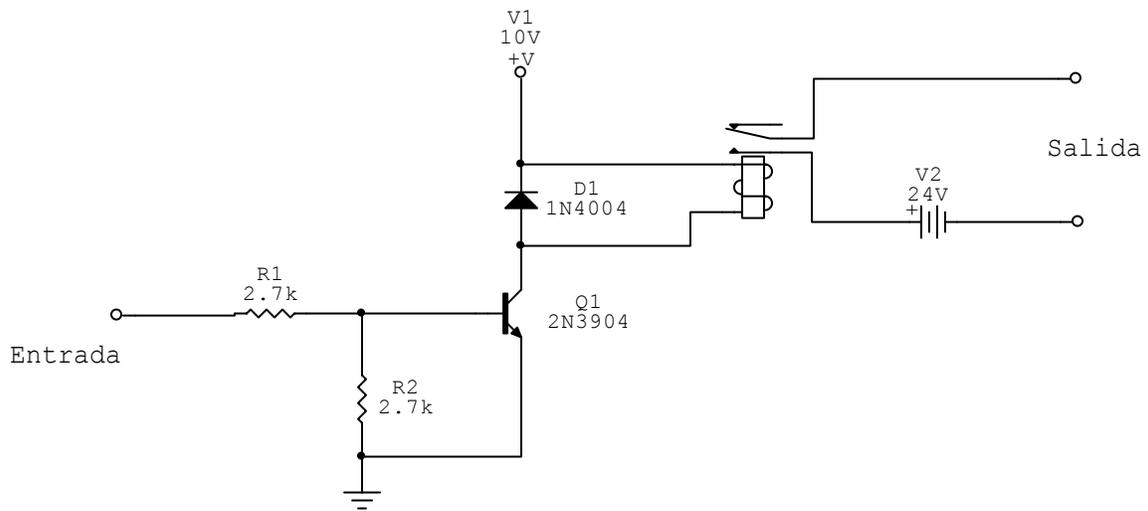


Figura 16. Tarjeta para salidas de potencia

Como el variador de velocidad usa un voltaje de 110VAC, la tarjeta de potencia debe cumplir con el siguiente diseño:

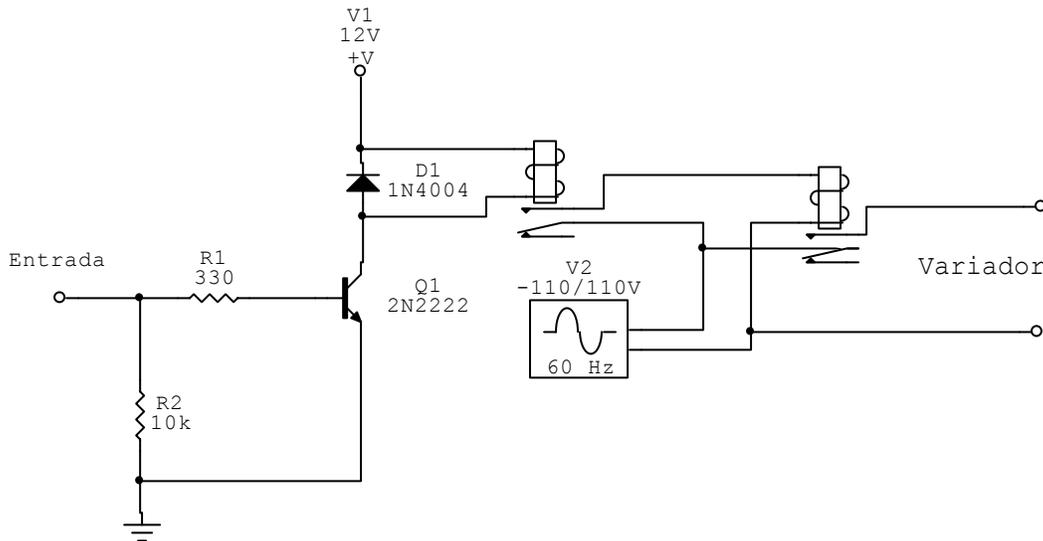


Figura 17. Tarjeta para el variador de velocidad

Con estos parámetros definidos se puede iniciar el proceso de simulación en el cual se realizará la integración de los subsistemas diseñados.

7. SIMULACION

En el proceso de simulación, se pretende comprobar que los parámetros determinados en el diseño son confiables para los diferentes elementos que componen el sistema, para ello se realizará una simulación con un lineamiento virtual que considere todas las características reales del proceso para garantizar que la implementación del sistema sea óptima. Como se ha dividido el conjunto total en varios subsistemas, la simulación se realizará bajo esta misma división, y al final se mostrará la simulación del sistema total, es necesario definir que para las simulaciones de sistemas dinámicos se utilizará Visual Nastran y si es necesario el diseño CAD se utilizará Solid Edge, para la parte neumática se utilizará Fluid Sim y para el sistema de control se utilizará Lab View.

7.1. Simulación del módulo de alimentación

Para la simulación del módulo de alimentación, se mostrará que el funcionamiento del motor de la banda transportadora cumple con las expectativas realizando un modelo de la banda y observando el comportamiento de velocidad para cada instante, y que los parámetros determinados en el diseño son funcionales para el sistema que se desea.

Como se busca determinar si la función de velocidad determinada para el motor es óptima, se utilizará el software Visual Nastran, con el fin de simular el comportamiento de una superficie lisa en movimiento y analizar la velocidad a la cual realizará el transporte de las papas de acuerdo con la función de comportamiento del motor determinada en el diseño del sistema de control.

El primer paso es realizar la abstracción de la banda y hacer el objeto que va a servir como representación del módulo de alimentación. Para ello, se utiliza la herramienta conveyor  de la barra superior de Visual Nastran, y se determinan los siguientes parámetros:

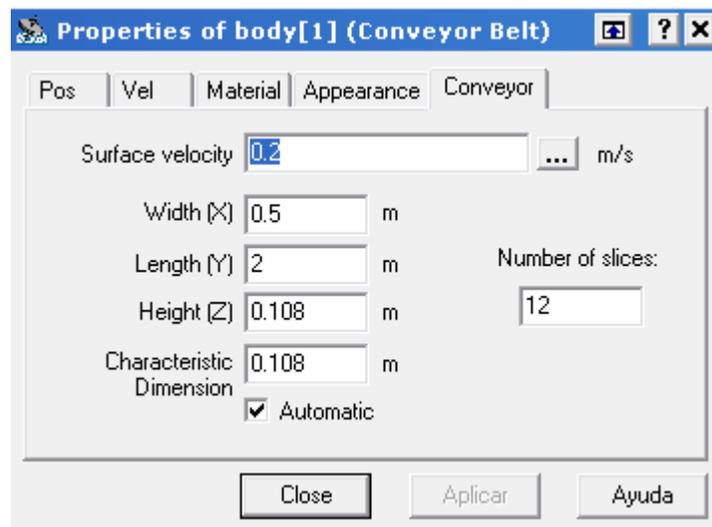


Figura 18. Parámetros del objeto *conveyor* en Visual Nastran

Al finalizar, el objeto se verá así:

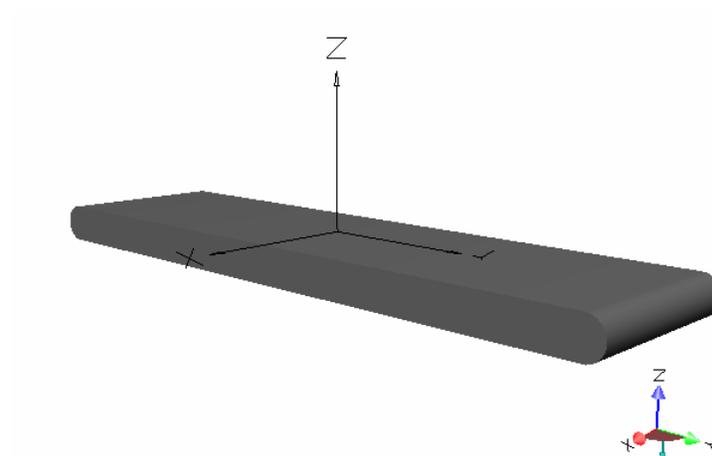


Figura 19. Objeto *conveyor* finalizado

Para cumplir el objetivo de simular el comportamiento de la velocidad de superficie de la banda transportadora respecto al peso, es necesario definir un objeto sobre la banda que permita agregar un gráfico de velocidad, así:

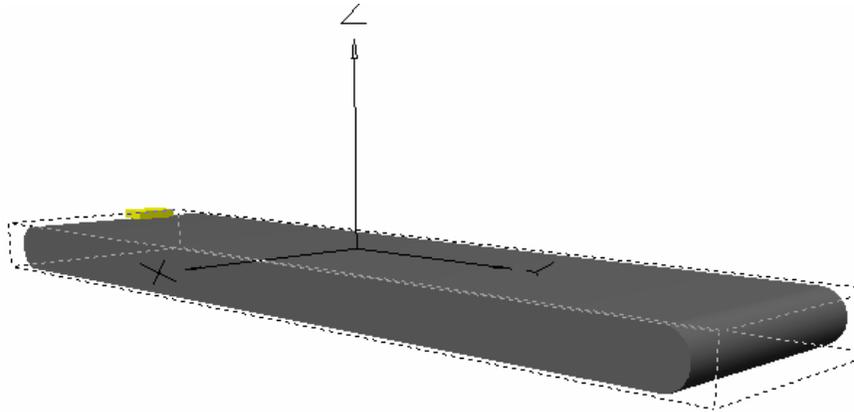


Figura 20. Modelo de la banda a simular

Además, es necesario agregar un control de tipo slider, que permita simular la variación del peso respecto al tiempo:

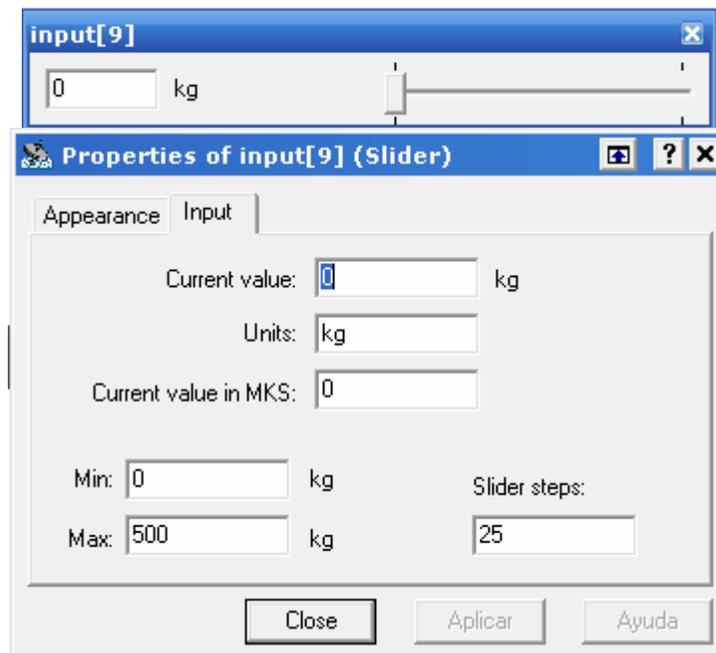


Figura 21. Slider de control de peso

El parámetro *steps*, se definió de acuerdo al valor del flujo máximo por segundo, es decir que se realizó la operación:

$$steps = \frac{\text{peso a empacar}}{\text{flujo máximo}}$$

$$steps = \frac{500gr}{20gr} = 25$$

El comportamiento de la velocidad de superficie del objeto conveyor es fácil de definir mediante la ventana de propiedades del mismo:

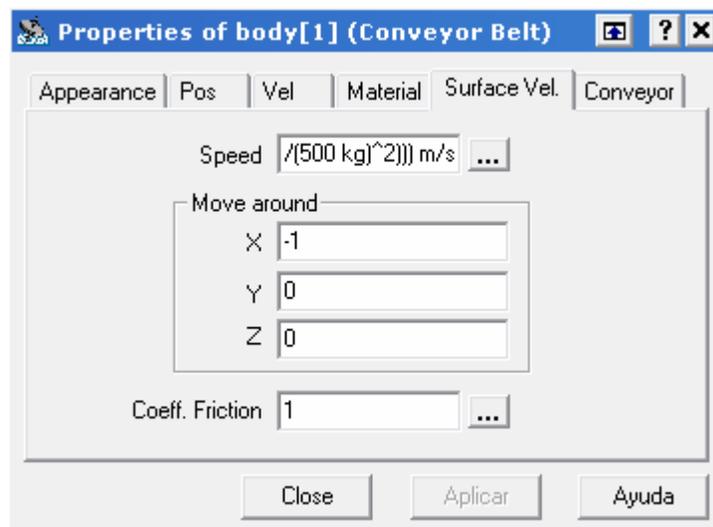


Figura 22. Propiedades de velocidad de superficie del objeto conveyor.

Dando clic en el botón , se puede obtener un asistente de fórmula para la velocidad, para cumplir el objetivo es necesario definir esa fórmula como $(0.11 * (1 - ((input[9]^2)/(500 \text{ kg}^2))) \text{ m/s}$, que es el comportamiento definido en los parámetros de diseño. El comportamiento de este modelo al simularlo es:

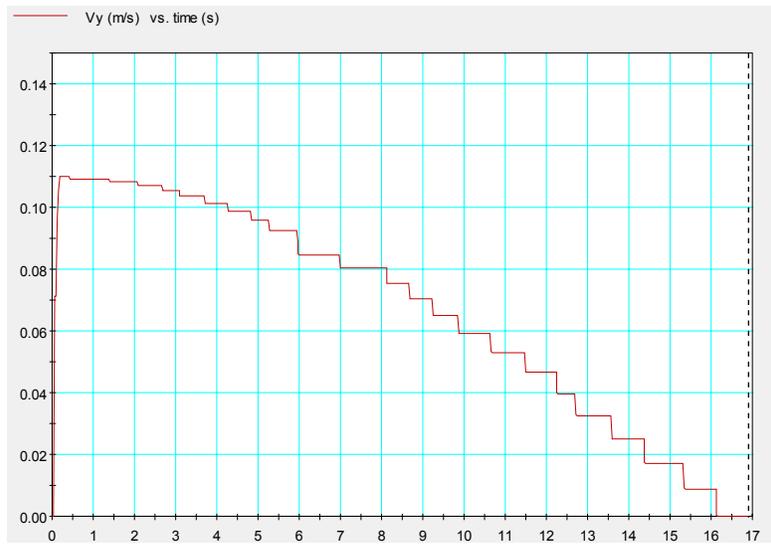


Figura 23. Gráfica de comportamiento de la simulación para un empaque de 500g

Es necesario aclarar que se puede obtener más exactitud aumentando el parámetro step, sin embargo esto vuelve al control slider demasiado sensible para manipularlo en la realización del procedimiento. A continuación se muestran los resultados para la simulación del empaque de 1000 gr. con step igual a 50, y el empaque de 3000 gr. con step igual a 150.

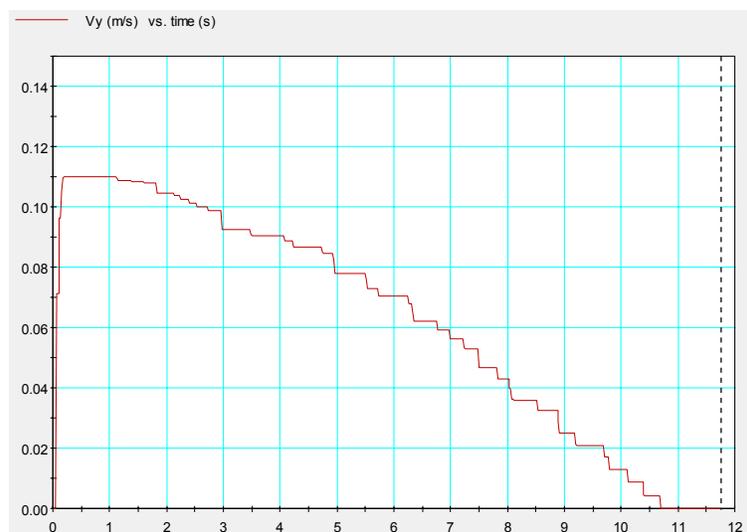


Figura 24. Gráfica de comportamiento de la simulación para un empaque de 1000g



Figura 25. Gráfica de comportamiento de la simulación para un empaque de 3000g

Se puede notar fácilmente que la difícil manipulación del control slider no permite realizar manejo de pesos pequeños para la simulación, sin embargo se puede notar que el comportamiento de velocidad es bastante semejante al deseado en el diseño, y se aproxima más a un comportamiento del sistema real.

7.2. Simulación del sistema de apertura y cierre de las bolsas

Mediante esta simulación, se pretende probar que los parámetros de diseño dados para el mecanismo piñón cremallera funcionan de manera correcta y que el motor logrará el desplazamiento deseado en la cremallera. El primer paso para esto, es diseñar tanto el piñón como la cremallera mediante un software CAD, para ello se utilizó Solid Edge v.14 el cual garantiza fácil integración con Visual Nastran. El modelamiento de los componentes es:

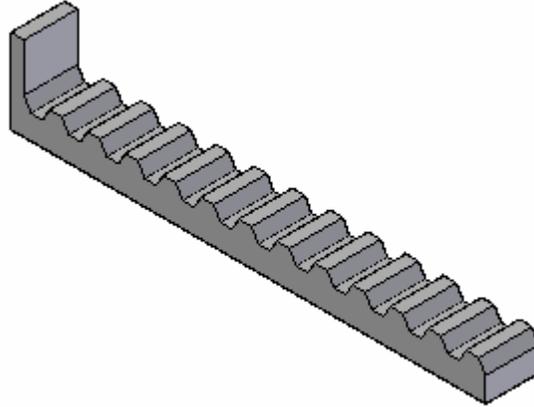


Figura 26. Diseño de la cremallera

Y el piñón es:

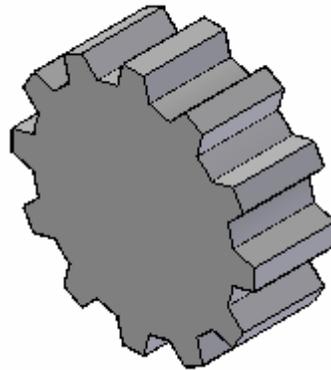


Figura 27. Diseño del piñón

Ahora, se debe importar las dos figuras a Visual Nastran así:

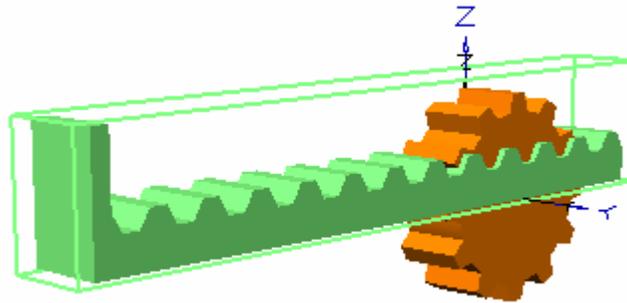


Figura 28. Importación de modelos en Visual Nastran

Es fácil observar que los dos modelos quedan superpuestos, así que se deben definir las restricciones del sistema. En primer lugar, los elementos deben chocar entre sí, esto se realiza mediante la opción collide  Collide , además se debe definir la posición inicial de la cremallera, para ello se modifica su posición espacial en la ventana de propiedades, así:

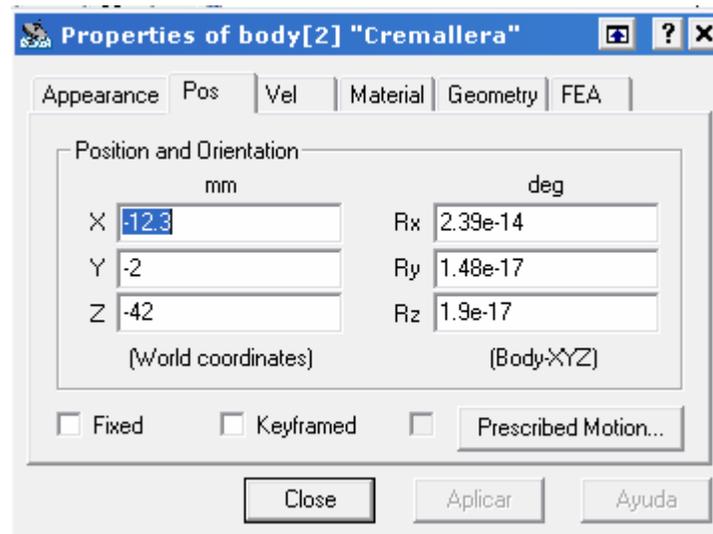


Figura 29. Propiedades de posición para la cremallera

Ahora es necesario definir que la cremallera sólo se pueda desplazar en el eje x y que el motor que debe ir en el piñón rote alrededor del eje z, así que se deben definir estas restricciones mediante los comandos constraint del software. Por último se define una coordenada sobre la cremallera para poder ver su desplazamiento en el tiempo ya establecido; el modelo a simular finalizado es el siguiente:

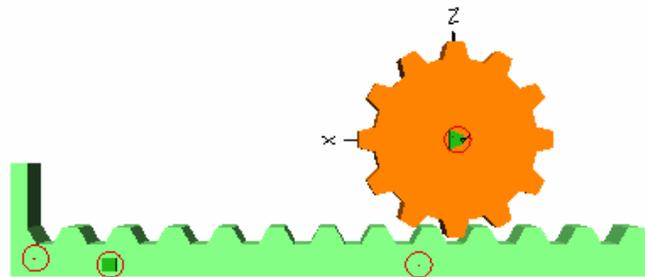


Figura 30. Modelo del mecanismo piñón cremallera a simular

El análisis de posición durante dos segundos, mostró los siguientes resultados:



Figura 31. Resultados de la simulación

En la gráfica se puede observar que el desplazamiento lineal fue de 100 mm. Lo que es igual a 10 cm. que era el desplazamiento deseado en ese tiempo, es decir que el diseño es funcional para las condiciones que se requiere y que el motor especificado realmente cumple con las condiciones que se establecieron en tiempos y desplazamientos deseados.

7.3. Simulación del sistema de sellado

Para el sistema de sellado, se requiere verificar el sistema neumático diseñado y ver su comportamiento en términos de tiempo para garantizar que la salida del cilindro no sea brusca y rápida, y que el retorno del cilindro no sea lento. Para ello es necesario valerse del software FluidSim, en el cual se puede definir el sistema diseñado como:

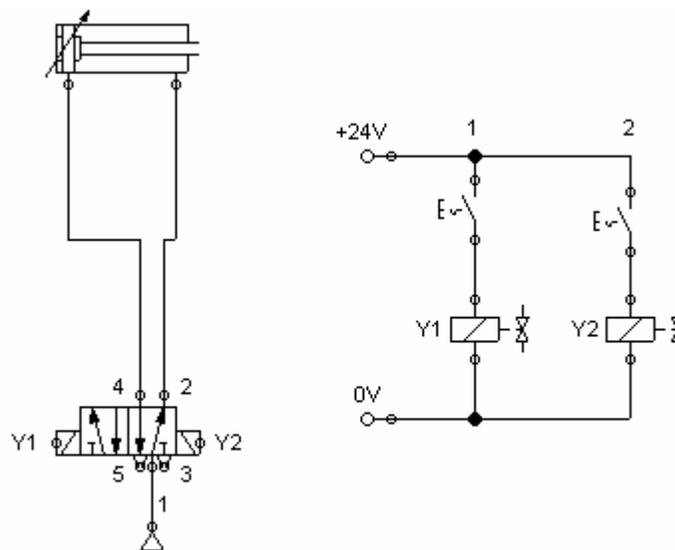


Figura 32. Esquema general del sistema neumático

El comportamiento de la posición del cilindro con esta configuración es:

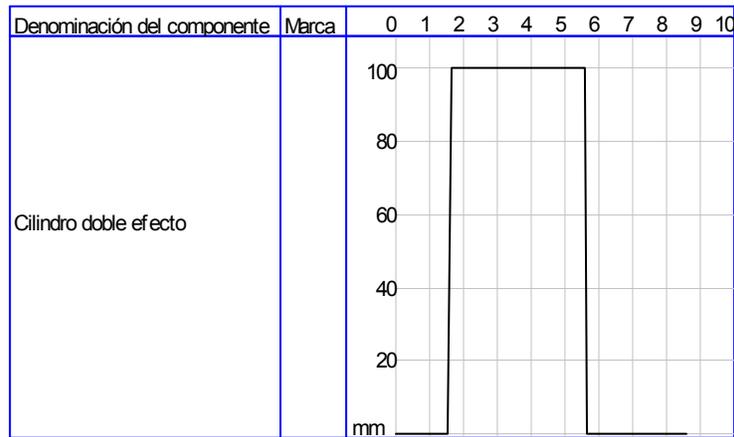


Figura 33. Comportamiento de posicionamiento del cilindro neumático

Sin embargo para evitar choques fuertes entre la platina de sellado y el cilindro, y para evitar daños por carreras rápidas, es necesario optimizar el circuito con válvulas de estrangulamiento, así:

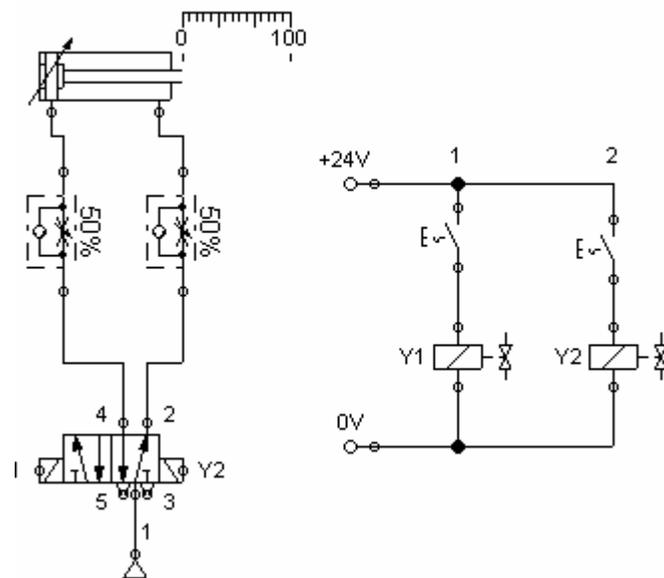


Figura 34. Circuito electroneumático optimizado

El comportamiento de posicionamiento del cilindro en este circuito será:

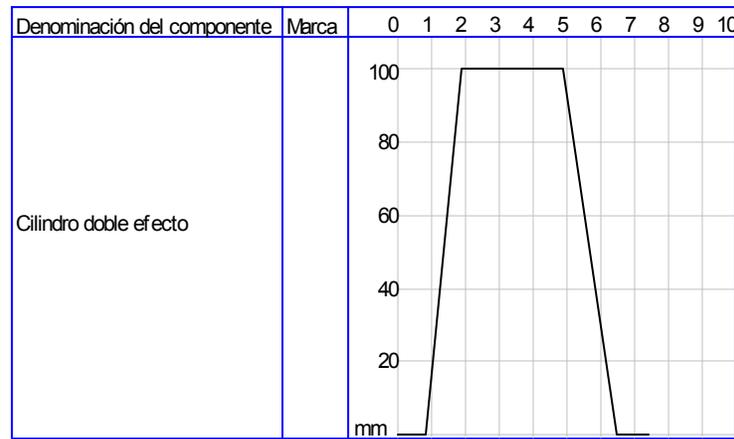


Figura 35. Comportamiento del cilindro con el circuito optimizado

Este comportamiento garantiza que los choques entre la placa de sellado y el cilindro no sean bruscos y esto impedirá el daño de los elementos, además al hacer el retorno del cilindro más lento, se garantiza que no sufrirá daños graves y que sea mayor su durabilidad. Se puede observar además, que el tiempo para que el cilindro alcance su posición final va a ser de 1 segundo, y además debe mantenerse durante dos segundos en esa posición para garantizar el sellado.

7.4. Simulación del sistema de control

Para la simulación del sistema de control, se pretende utilizar el software Lab View con el fin de crear el panel frontal de lo que sería el sistema de control, y mediante un diagrama de bloques, definir el comportamiento del mismo.

El primer paso es definir que se quiere ver en el panel frontal, así que se debe pensar en lo necesario para el operador; en este caso debe haber una variable que defina el peso a empacar, un botón de inicio, una parada de emergencia, una caja de texto que indique el peso actual de la bolsa, gráficas de la respuesta del

variador de velocidad y de la velocidad del motor, y por último, indicadores para los estados de la apertura y cierre de la bolsa y la electroválvula del cilindro neumático. El panel diseñado en este proyecto es:



Figura 36. Panel frontal del instrumento en Lab View

Para el diseño del diagrama de bloques, se debe tener en cuenta la secuencia que deben seguir los subprocesos del sistema, y los parámetros de diseño que se determinaron para los tiempos y las funciones de transferencia. El orden de ejecución del sistema es que cuando el operador tenga la bolsa lista en el mecanismo de sujeción, de clic sobre el botón de inicio, inmediatamente el sistema realizará la función de apertura de la bolsa durante dos segundos, al transcurrir este tiempo se realizará una simulación del flujo de papas, al tiempo que se ejecuta la función de transferencia del motor, cuando se llega al peso deseado, se ejecuta la función de cierre de la bolsa durante dos segundos más, por último el sistema activará la válvula del cilindro neumático durante tres segundos y la volverá a desactivar. El diagrama de bloques diseñado para este proyecto es:

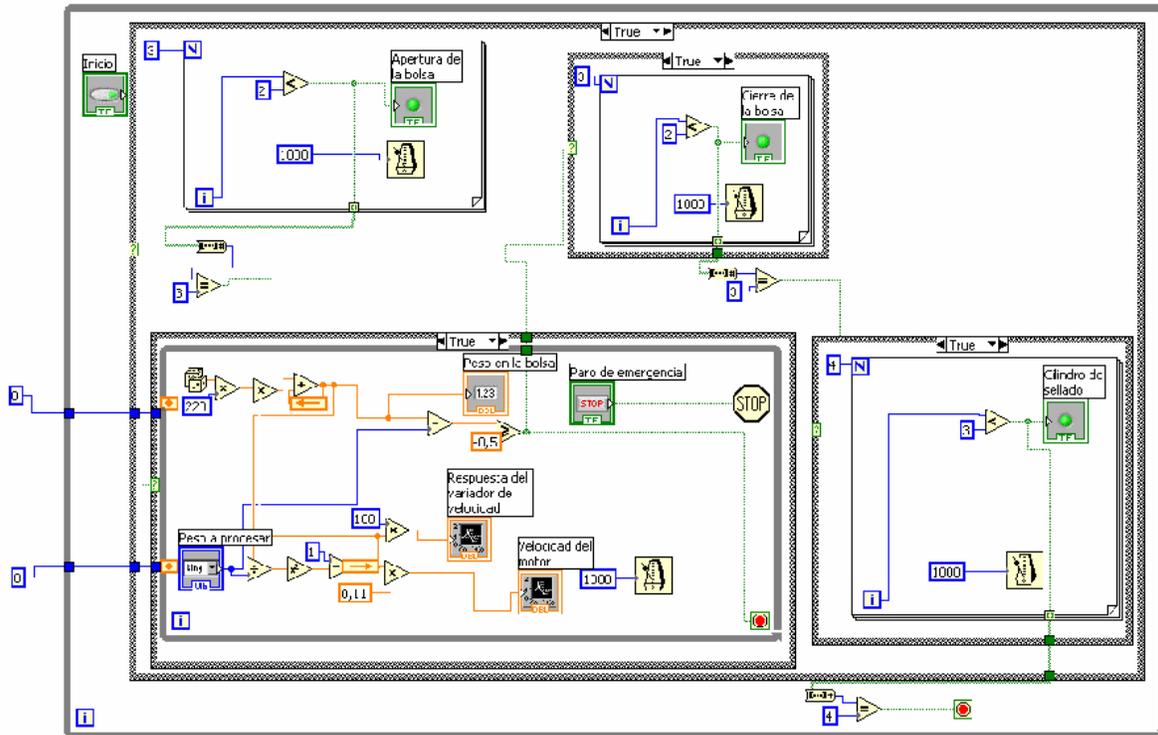


Figura 37. Diagrama de bloques del proyecto en Lab View

Para entender el funcionamiento del diagrama de bloques, es necesario analizar paso a paso el sistema.

7.4.1. Simulación del mecanismo de apertura

El sistema de apertura de la bolsa se compone de un ciclo *for*, el cual realiza las iteraciones necesarias para que el proceso dure los 2 segundos establecidos en la fase de diseño, y envía una señal booleana de verdadero si los dos segundos aún no han transcurrido para que el mecanismo de apertura se active, en el diagrama de Lab View está representado por el bloque:

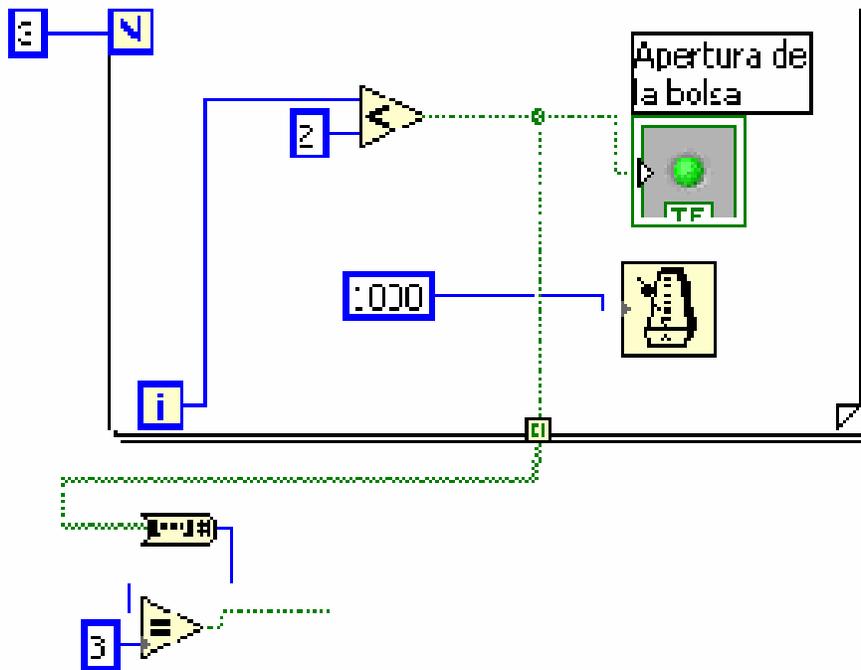


Figura 38. Bloque del sistema de apertura de la bolsa

En el diagrama se puede observar una función *wait* , que permite que cada iteración se realice cada 1000ms. es decir cada 1 segundo, por ello el valor de N es 3, para que en la tercera iteración genere la condición de falso que apagará el mecanismo.

Al ser un ciclo *for*, la comparación que realiza la función *menor que* va a ingresar los datos de la comparación en un arreglo unidimensional que no va a funcionar como condición para el arranque del ciclo de empaque. Para que la condición se cumpla, es necesario utilizar una función de tipo arreglo a número , que permite utilizar el número de índice en que el arreglo genera la condición falsa y compararlo con otro valor numérico para generar la condición de arranque deseada.

7.4.2. Simulación del sistema de empaque y pesado

Para el empaque y pesado, es necesario simular el comportamiento del flujo de papas, esto requiere el uso del valor máximo de flujo de papas y el uso de un número aleatorio; también hay que tener en cuenta que a medida de que disminuya la velocidad del motor disminuirá en el mismo porcentaje el flujo de papas. El bloque que representa el sistema de pesado y empaque es:

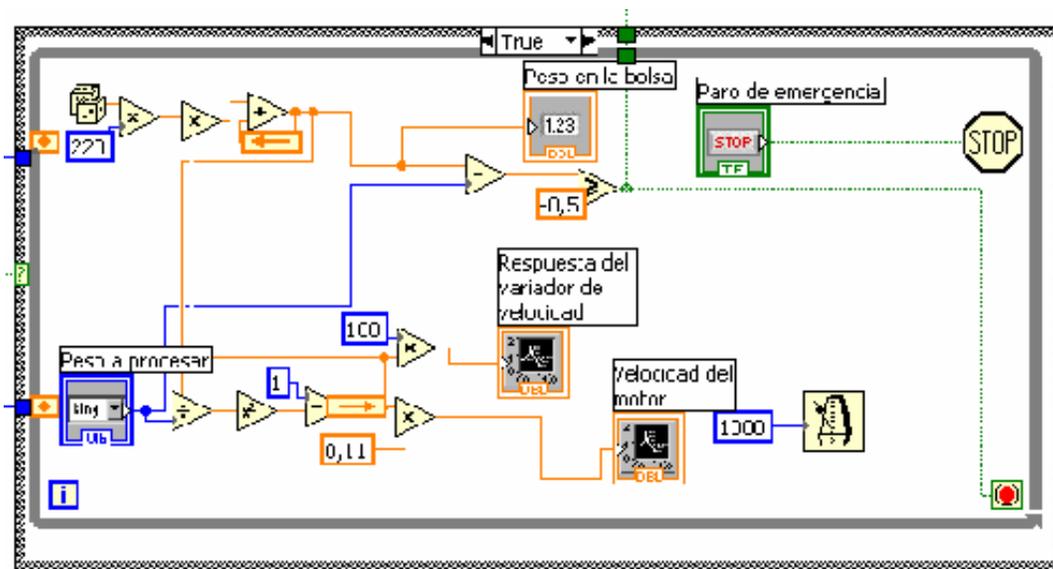


Figura 39. Bloque del sistema de empaque y pesado

La estructura *case* es la más apropiada para iniciar el ciclo, ya que permite una condición de arranque, que proviene del sistema de apertura de la bolsa. Dentro de esta estructura hay otra de tipo *while* que permite realizar el proceso de empaque y pesado hasta que una condición ocurra. En la parte superior del bloque, se aprecia la estructura del sistema de pesado que está conformada por un número aleatorio multiplicado por el flujo máximo determinado en el diseño, que a su vez es multiplicado por el factor de decremento porcentual determinado por la velocidad del motor, y la salida de la función que es realimentada para que sume el peso del flujo con el peso en el tiempo anterior.

En la parte inferior se aprecia la estructura del sistema de empaque, que tiene como entrada en peso a procesar y el peso actual, después se aplican los factores correspondientes a la función de velocidad y se grafican la respuesta del variador de velocidad. Se puede notar que la condición de parada de este ciclo es la comparación entre el peso actual y el deseado, pero aunque lo ideal sería que el resultado de la resta de los dos números fuera 0, Lab View por las mismas características de la programación muestra que el valor con el que se debe comparar el resultado de la sustracción es con -0.5.

Se puede observar que al igual que en la simulación del sistema de apertura de la bolsa se ingresó una estructura wait, para que las gráficas, la generación de los números aleatorios y las operaciones matemáticas se realicen en intervalos de 1 segundo.

7.4.3. Simulación del sistema de cierre de la bolsa

El mecanismo de funcionamiento de este bloque, es similar al del sistema de apertura. El bloque que representa este sistema es:

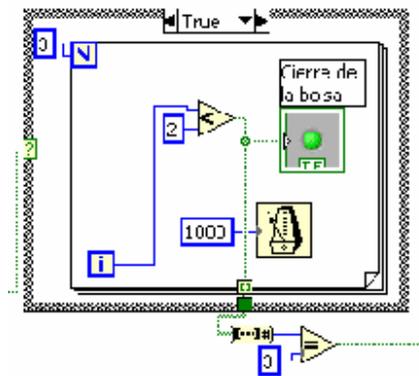


Figura 40. Bloque del sistema de cierre de la bolsa

La diferencia entre el bloque de apertura y el de cierre, es básicamente que el ciclo *for* de este último está dentro de una estructura *case* que permite iniciar el ciclo cuando el sistema de empaque y pesado generen la condición necesaria para el arranque.

7.4.4. Simulación de la electroválvula

Para la electroválvula se determinó que cuando la bobina Y1 deba estar activa, el indicador ilumine de color verde, y cuando la bobina Y2 se active la iluminación sea roja. El bloque que representa el sistema de control de la electroválvula es:

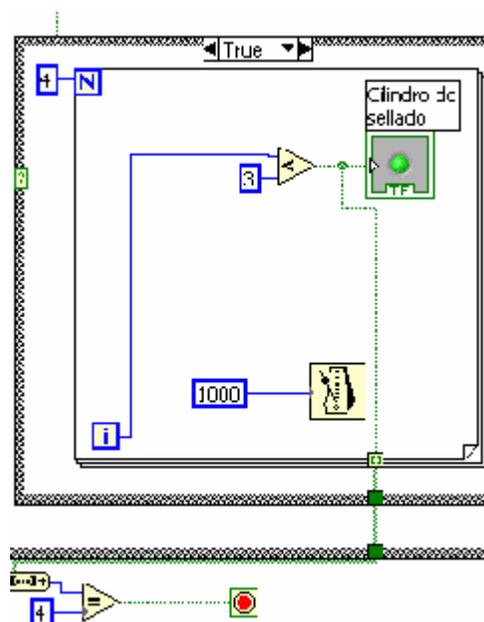


Figura 41. Bloque del control de la electroválvula

El funcionamiento es muy similar al de los sistemas de apertura y cierre de la bolsa, sin embargo, al necesitar de tres segundos para el correcto sellado, el valor de N debe ser 4 y la condición de paro también debe ser comparada con este valor para generar la parada del sistema general y finalizar el proceso.

Además de todo lo nombrado respecto a la simulación de los subsistemas, se logró observar que las fallas del sistema se pueden dar en el bloque de empaque y pesado, así que se ubicó el paro de emergencia dentro de este bloque, para que el operador pueda detener el sistema en determinado caso de una falla o un error.

También es necesario destacar que mediante este control se puede observar el comportamiento de la velocidad del motor respecto al tiempo y la aleatoriedad del sistema respecto al flujo lo que implica comportamientos distintos para cada proceso, lo cual se puede observar en la siguiente figura:

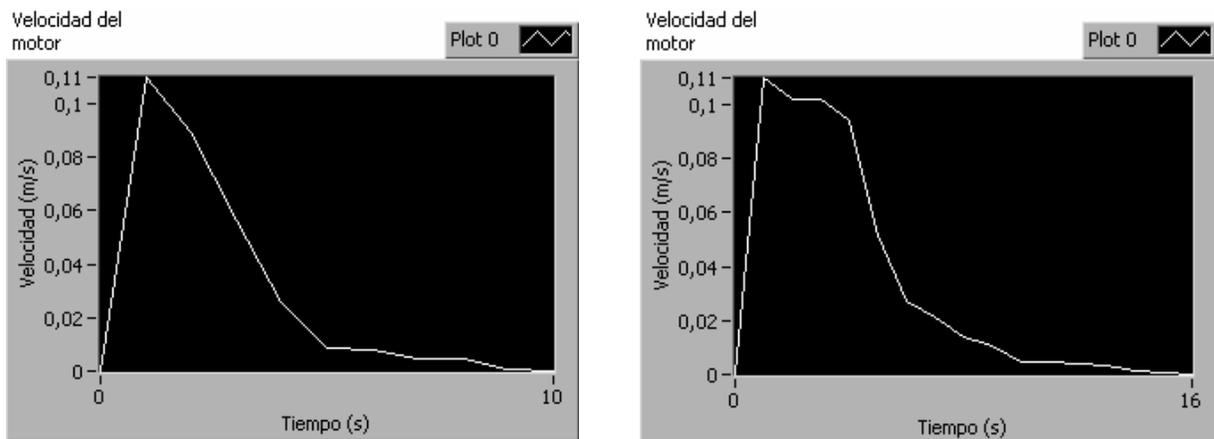


Figura 42. Comportamiento del motor respecto al tiempo y aleatoriedad del proceso

Para verificar el tiempo de proceso total es necesario hacer corridas de prueba del sistema, para cada peso a empacar se realizaron 10 corridas del sistema que arrojaron los siguientes resultados:

- Para 500g

CORRIDA	TIEMPO
1	21
2	21
3	19
4	20
5	20
6	20
7	18
8	20
9	21
10	20

Tabla 16. Resultados en tiempo de la simulación de empaque para 500g

Lo que implica que el tiempo estimado para el empaque de 500g. está entre 18 y 21 segundos.

- Para 1000g

CORRIDA	TIEMPO
1	37
2	47
3	42
4	45
5	36
6	40
7	40
8	43
9	45
10	35

Tabla 17. Resultados en tiempo de la simulación de empaque para 1000g

Lo que implica que el tiempo estimado para el empaque de 500g. está entre 36 y 47 segundos.

- Para 3000g

CORRIDA	TIEMPO
1	136
2	134
3	133
4	133
5	135
6	133
7	136
8	134
9	136
10	134

Tabla 18. Resultados en tiempo de la simulación de empaque para 3000g

Lo que implica que el tiempo estimado para el empaque de 500g. sobre los 130 segundos

Sin embargo, el tiempo puede disminuir en el experimento real ya que por las condiciones de la simulación el sistema asume muchos tiempos sin flujo y sin entrada de peso ya que en ocasiones el flujo llega a ser poco significativo, lo que puede variar en la banda real al tener un flujo pequeño pero con pesos considerables.

Por último, es necesario recomendar el realizar un reseteo general del sistema al menos cada 500 empaque realizados para garantizar que el sistema no se sobrecargará con los datos de los procesos anteriores.

7.5. Simulación del sistema final

Para la simulación del sistema final, se realizará una integración de los módulos ya simulados mediante Visual Nastran. Cabe aclarar que mediante este modelo se pretende presentar una visión aproximada a la real, sin embargo al no poder manejar el parámetro peso en el software de simulación, se utilizaron fórmulas que permitieran ver el comportamiento del sistema basándose en la misma variación del motor de la banda transportadora, pero esta vez en base al tiempo. El primer paso es importar y organizar todos los elementos que componen físicamente el sistema, es decir, el *conveyor* que representa la banda transportadora, el mecanismo piñón cremallera esta vez con las dos cremalleras necesarias, el soporte que va a sostener los componentes de empaque y sellado, y una placa que servirá para el sellado; el cilindro neumático será simulado mediante la opción de actuador lineal del software. Al terminar de organizar los elementos el modelo debe lucir así:

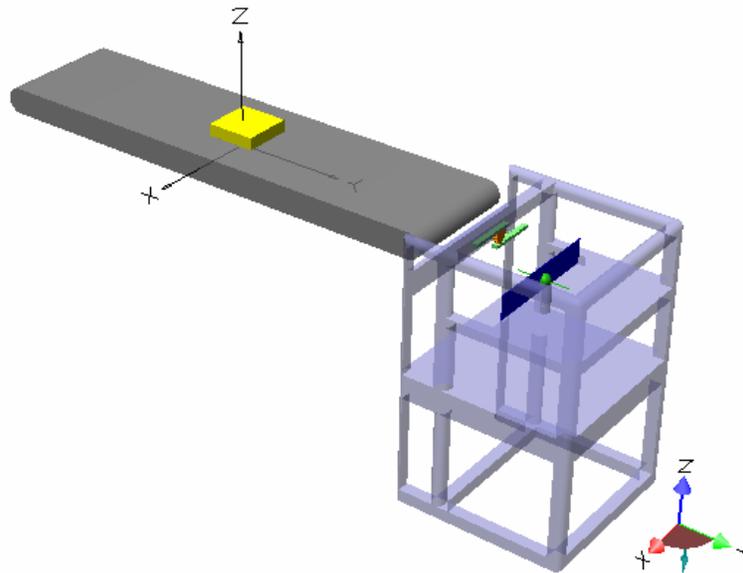


Figura 43. Modelo final en Visual Nastran

Para la simulación del cilindro neumático es necesario definir un actuador lineal, mediante la restricción *linear actuator*, las especificaciones de esta restricción son:

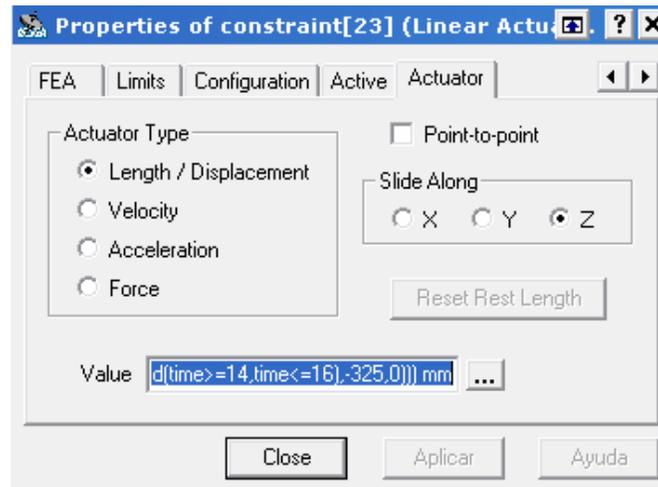


Figura 44. Parámetros del actuador lineal

Para realizar el control, se utilizaron fórmulas basadas en tiempo, y cada evento está temporizado de tal forma que inmediatamente acaba el evento siguiente se activa. A continuación se presentan las fórmulas utilizadas para simular el control de manera secuencial:

- Apertura de la bolsa: En el valor de velocidad del motor se utilizó $((if(time \leq 2, -90, if(and(time \geq 12, time \leq 14), 90, 0)))) deg/s$
- Funcionamiento de la banda transportadora: En surface velocity se utilizó $((if(and(time \geq 2, time \leq 12), 112 * (1 - (((15 * (time - 2))^2) / 25000)), 0))) mm/s$, aquí se puede ver como se acomoda el tiempo para que su variación sirva igual que la variación del peso en el modelo real.

- Cierre de la bolsa: Se utilizó la fórmula de apertura para la condición de tiempo mayor o igual a 12 y menor o igual a 14.
- Sellado: En las propiedades del actuador lineal en la pestaña *actuador* se utiliza la fórmula $((if(and(time \geq 14, time \leq 16), -325, 0)))$ mm.

Es de recordar que la caja ubicada sobre la banda, se utiliza para poder monitorear la velocidad de la banda transportadora, además se puede observar el comportamiento de los demás componentes así:

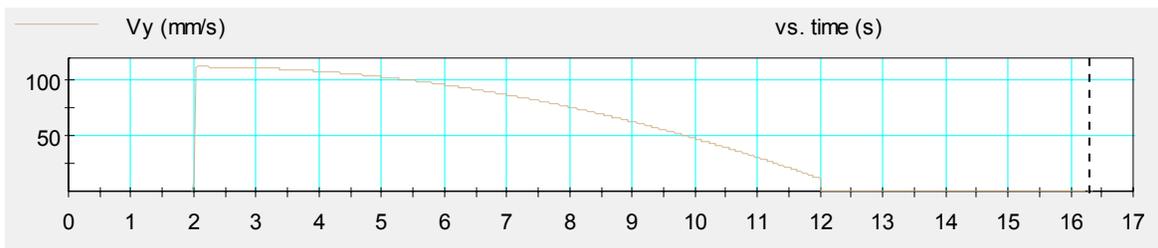


Figura 45. Velocidad de la banda transportadora

Se puede observar que el comportamiento de la velocidad de la banda sigue siendo el mismo pero tiene un desfase de 2 segundos, los cuales pertenecen a la apertura de la bolsa.

Para el comportamiento de la posición de las cremalleras se puede observar que:

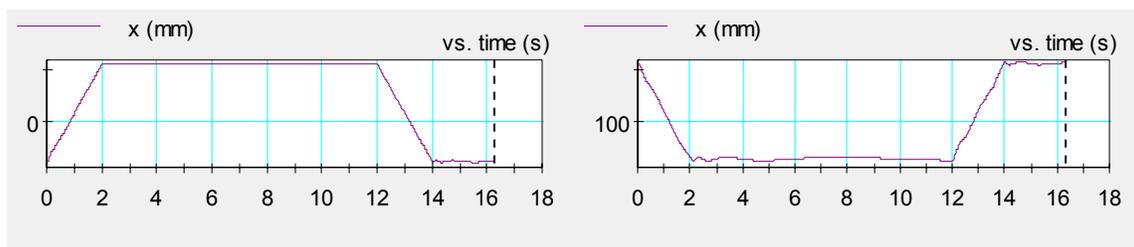


Figura 46. Posición de las cremalleras

Se puede observar que el comportamiento de la posición de las cremalleras es inverso, ya que mientras una pasa de menos a más la otra tiene un comportamiento inverso; además se puede observar el comportamiento tanto en apertura como en cierre de la bolsa.

Por último se observa que el comportamiento del cilindro neumático es de la forma:

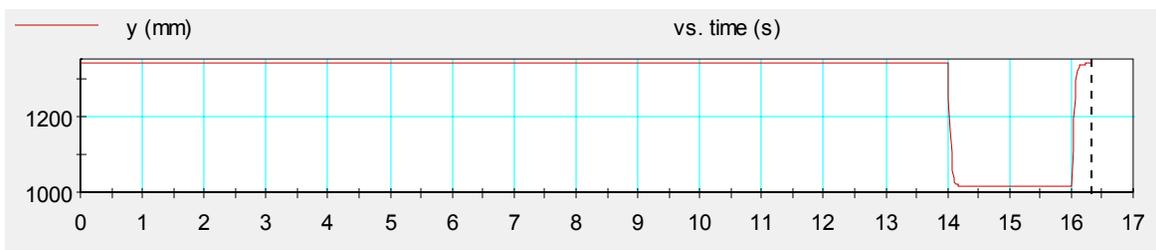


Figura 47. Posición del cilindro neumático

Se puede observar que el comportamiento de la posición del cilindro neumático no varía de una forma muy veloz lo que en el modelo real es controlado por las válvulas estranguladoras.

Se puede concluir mediante esta simulación, que el sistema funciona de manera apropiada de acuerdo al diseño estipulado y según los criterios que se tuvieron en cuenta desde el inicio del desarrollo, tales como economía, arquitectura abierta y facilidad de manejo y operación.

8. ANALISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO

Dentro de los objetivos de este proyecto se tenía estipulado el cálculo de costos, tiempos, eficiencias y velocidades de las posibles alternativas, para así escoger la más apta para este proyecto; sin embargo al haber utilizado el análisis DOFA se pudo acelerar el proceso de selección.

En este apartado se mostrará la viabilidad del proyecto realizado frente a las otras posibles alternativas que se estimaron en su elaboración. Para este análisis se estimará el costo total de la máquina, el tiempo de procesamiento, la eficiencia del sistema en términos de precisión en el peso y la velocidad del proceso.

En primer lugar se mostrará los costos de cada uno de los elementos que se tomaron en cuenta, así como sus eficiencias en términos de precisión.

ELEMENTO	COSTO	EFICIENCIA
Banda	\$ 350.000	88%
Motor banda	\$ 120.000	95%
Báscula	\$ 220.000	90%
Piñón-cremallera	\$ 75.000	82%
Motor piñón	\$ 70.000	95%
Soporte	\$ 180.000	No aplica
Cilindro	\$ 50.000	90%
Compresor	Ya se tiene	No aplica
Resistencia	\$ 20.000	85%
PC	\$ 1.090.000	83%
Tarjetas de potencia	\$ 45.000	93%
Variador	\$ 80.000	95%
Total	\$ 2.300.000	81%

Tabla 19. Costos y eficiencias de los elementos del sistema final

El siguiente paso es analizar esta propuesta, frente a la contraparte presentada en el análisis DOFA, para ello se denominará la alternativa desarrollada como proyecto, y la máquina conformada por los otros elementos considerados en el DOFA como alterna. En la siguiente tabla se puede apreciar la diferencia entre los parámetros considerados en este apartado:

	COSTO	TIEMPO	EFICIENCIA	VELOCIDAD	MONTAJE
Proyecto	\$ 2.300.000	15 -- 140s	81%	Hasta 34g/s	\$ 300.000
Alternativa	\$ 2.060.000	20 --100s	55%	Hasta 30g/s	\$ 740.000

Tabla 20. Comparación entre el proyecto final y el proyecto alternativo

Se observa claramente que aunque el costo de la máquina desarrollada es mayor a la alternativa, su montaje es muchísimo más económico y en términos monetarios se obtiene una ventaja mucho mayor a favor del proyecto, en términos del tiempo de proceso se puede observar que el intervalo manejado por la máquina alternativa es mucho mejor el límite mayor (mayor tiempo de empaque para pesos grandes) y no existe una diferencia grande entre el límite menor (menor tiempo para empaques pequeños), en cuanto a la eficiencia en términos de precisión, la máquina proyecto garantiza un mayor grado de aproximación al peso que se desea empaquetar, por último se puede apreciar que la diferencia en términos de velocidad de procesamiento no existe mucha diferencia, y aunque se podría pensar que la tolva superaría a la banda por mucha diferencia, el control de flujo que requiere la tolva limita mucho su velocidad de procesamiento.

Se debe tener en cuenta que el proyecto está pensado para ser implementado especialmente en pequeñas y medianas empresas del sector, así que se recomienda implementar el sistema únicamente en caso de que la fábrica esté necesitando procesar mínimo 10.000 kilogramos y máximo 45.000 kilogramos mensuales. La otra condición que se debe cumplir para que la implementación sea óptima es que se generen ganancias mayores a \$1.000.000 por encima de lo que se estaba generando sin la máquina, lo cual permitiría recuperar el costo del

sistema en aproximadamente 3 meses, este último punto es fácil de lograr teniendo en cuenta que la demanda diaria de una planta pequeña está distribuida así:

Peso	No. de bolsas
500 g	300
1000 g	150
3000 g	75

Tabla 21. Demanda diaria promedio de bolsas de papa

Sin embargo, bajo el concepto de empaque actual que se tiene en este tipo de plantas, la capacidad real de producción llega a ser la mitad del valor de demanda además de la necesidad de trabajar horas extras horas extras. Al realizar el cálculo de tiempo necesario para procesar la cantidad promedio de demanda se obtiene:

No. de bolsas	Presentación	Tiempo
300	500 g	1hora 45min
150	1000 g	1hora 58 min
75	3000 g	2horas 43min

Tabla 22. Tiempo estimado de procesamiento diario

Este cálculo se realizó con los límites superiores de los intervalos de tiempo obtenidos en la simulación (ver tablas 16 – 17 – 18), es decir con los peores tiempos de procesamiento y aún así se puede observar que el tiempo estimado no supera las 8 horas laborales estipuladas, lo cual permite disminuir los costos de producción al no tener que contratar personal en horas extra. Por otro lado, es necesario decir que las ganancias netas promedio actuales de una planta de este estilo son de \$5'335.000, al duplicarlas y no pagar horas extra se tendrían ganancias de aproximadamente \$12'170.000, con lo cual se podrían bajar los precios para ganar competitividad y compensar la inversión de la máquina en dos o tres meses.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se puede decir que el proyecto es viable y cumple los requisitos para ser implementado en pequeñas y medianas empresas ya que la inversión que se debe hacer para la implementación del sistema se recupera fácilmente si se tienen ventas acordes con la capacidad de procesamiento del sistema.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se logró realizar el diseño y la simulación del sistema deseado, que era el objetivo principal del proyecto, además de esto mediante la simulación se logró observar los comportamientos del sistema ante diferentes condiciones y se llegó a optimizarlo para que se pueda seguir mejorando si es necesario.
- Se revisaron los sistemas existentes en cuanto a empaque, pesaje y sellado; se logró observar que para la industria de alimentos existen ciertos conceptos diferentes que en las demás industrias, ya que al requerir de condiciones de higiene y salubridad específicas, también requieren de elementos que garanticen la limpieza de los procesos que se requieran para su fabricación y distribución.
- Al realizar el flujograma del proceso que se quería lograr, se pudo definir que subsistemas o módulos deberían componer el modelo que posteriormente se simularía.
- El diseño conceptual, es la base del sistema final, ya que en este proceso se idean las posibles alternativas y posteriormente se evalúa su viabilidad o se retrocede para optimizar el sistema deseado.

- Mediante un análisis DOFA, se logró definir los elementos a utilizar en el proyecto, y se logró establecer las ventajas y desventajas de las posibles opciones de acuerdo a los criterios de costo, tiempo, eficiencia dentro del sistema y velocidad.
- Se realizó la integración de los subsistemas mediante un control en el cual se definían las condiciones en que cada módulo debería funcionar y la secuencia correcta para el funcionamiento del sistema, para ello también se establecieron características técnicas que permiten que el control sea confiable y que responda de manera correcta.
- Se logró simular no sólo el sistema completo, también se hizo con los elementos más relevantes de los subsistemas ya diseñados, y se pudo observar que la simulación es una técnica bastante flexible, adaptándose a las necesidades de acuerdo al modelo y al diseñador. Así, la simulación puede realizar funciones de secuenciación una vez que la información básica del proceso y de las órdenes está en el modelo.
- Se documenta además, las condiciones necesarias y recomendadas para la futura implementación del sistema y se anexan los planos respectivos para facilitar la construcción o compra de los elementos necesarios.
- Se pudo observar que para el proceso de simulación se debe tener en cuenta la mayoría de las características reales del evento en estudio y abstraer de la situación real, y sólo se deben ignorar aquellos aspectos que no sean relevantes para garantizar la funcionalidad del sistema..
- Se realizaron las pruebas necesarias para comprobar el comportamiento de la simulación lo que permitió analizar los resultados y obtener un mejor desempeño del sistema.

- En el proceso de modelamiento del sistema, los factores del mismo se pueden ir limitando; sin embargo a veces el querer eliminar ciertos aspectos de alta relevancia genera conflictos en la relación entre el diseño y la simulación; así pues el modelo debe ser lo más sencillo posible para poder entenderlo pero debe contemplar las características fundamentales y relevantes de su funcionalidad.
- La simulación permite que a futuro se pueda implementar el sistema propuesto a través del diseño presentado y realizar los respectivos ajustes del mismo para comprobar su desempeño y establecer las diferencias.

BIBLIOGRAFIA

CHAPMAN, Stephen. Máquinas eléctricas. Mc Graw Hill. Bogotá. 2000.

GARCIA MORENO, Emilio. Automatización de procesos industriales. Ed. Alfaomega. México. 2001.

ACEDO SANCHEZ, J. Control automatizado de procesos. Ediciones Díaz de Santos. Madrid. 2003.

ORTHWEIN, William. Diseño de componentes de máquinas. Compañía editorial continental. México. 1996.

RODRIGUEZ MATA, Antonio. Desarrollo de sistemas secuenciales. Parainfo. España. 2000.

SPOTTS M. F., SHOUP T. E. Elementos de máquinas. Prentice Hall. México. 1998.

MILLAN, Salvador. Automatización neumática y electroneumática. Marcombo. 1995.

www.redepapa.org

www.monografias.com

www.wikipedia.com

www.agrocardenas.gov.co

www.ni.com

ANEXOS

ANEXO A. Bandas transportadoras (Norma DIN 22101)

A continuación se presentan los parámetros necesarios para la elección de una banda transportadora, teniendo en cuenta que los valores y las tablas se encuentran normalizados, esto permite facilidad y flexibilidad en la elección de la misma, dependiendo de las características.

ANCHOS DE BANDA NORMALES SEGÚN ISO

400	500	650	800	1000
1200	1400	1600	1800	2000

SELECCIÓN DE RODILLOS

Utilización de la fórmula:

$$K_R = R + L1 \left(G_G + \frac{Q_R}{3.6V} \right) F_C * F_i * F_v$$

Kr (Kp) = Carga sobre un rodillo

R (Kp) = Peso de las partes rodantes de los rodillos (Ver catálogo)

L1 (m) = Separación entre dos estaciones consecutivas (Ver tabla A)

Gg (Kp/m) = Peso de la Banda (Ver tabla B) o cálculo del peso de la banda

Qr (Tm/h) = Capacidad de carga real Qr=Q x Peso específico (Cálculo capacidad de transporte)

V (m/s) = Velocidad de la banda (Tabla I)

Fc = Factor de carga (Ver tabla C)

Fi = Factor de impacto (Ver tabla D)

Fv = Factor de vida del rodillo (Ver tabla E)

Una vez calculada la carga sobre un rodillo (Kr), se elige el rodillo en la tabla H.

NOTA: Para rodillos inferiores la capacidad de carga Q es igual a 0.

Una vez calculada la carga sobre un rodillo (Kr), se elige el rodillo en la tabla H.

NOTA: Para rodillos inferiores la capacidad de carga Q es igual a 0.

VIDA DE LOS RODAMIENTOS

Vida del rodamiento (horas) = $(2.C)^3 \cdot 106 / P^3 \cdot n \cdot 60$

C (kg.) = Capacidad de Carga Dinámica del rodamiento.

P (kg.) = Carga nominal sobre dos rodamientos.

n (r.p.m.) = Velocidad de giro de los rodamientos.

CÁLCULO PESO/M DE LA BANDA

Banda Textil Gg (kp/m) = $B \cdot (1,2 \cdot E + PI \cdot Z)$

Banda Metálica Gg (kp/m) = $B \cdot (1,2 \cdot E + Pm)$

Cg (kp/m) = peso de la banda

B (m) = ancho de banda

E (mm) = espesor total de los recubrimientos

PI (kp/m²) = peso por m² de cada lona (tabla B2)

Z = número de lonas

Pm (kp/m²) = peso por m² de los cables y goma intermedia (tabla B1)

Distancia entre estaciones superiores e inferiores (L1)

Tabla A

ANCHO DE BANDA (mm)	SUPERIORES		INFERIORES
	& = 0,6	& 0,6	
400	1,35	1,35	3,00
500	1,35	1,20	3,00
650	1,20	1,10	3,00
800	1,20	1,00	3,00
1000	1,00	1,00	3,00
1200	1,00	1,00	3,00
1400	1,00	1,00	3,00
1600	1,00	1,00	3,00
1800	1,00	1,00	3,00
2000 Y ^	1,00	1,00	2,40

& = PESO ESPECIFICO EN Tm/m²

Peso por metro orientativo (Gg) para bandas de alma textil

Tabla B

ANCHO DE BANDA (mm)	PESO/METRO (Kp/m)	ESPESOR TOTAL (mm)
400	4	8
500	5	8
650	6,5	8
800	8,5	8,5
1000	13	11
1200	15,5	11
1400	18	11
1600	25	13
1800	30	14
2000 Y ^	33	14

Peso por m² de cables y goma intermedia (kp/m²) Pm

Tabla B1

TIPO	VALOR DE Pm (kp/m ²)
ST-1,000	10
ST-1,250	11
ST-1,600	15
ST-2,000	16
ST-2,500	22
ST-3,500	26
ST-4,000	31

Peso por m² de cada lona (kp/m²) PI

Tabla B2

TIPO DE LONA	EP-100	EP-125	EP-160	EP-200	EP-250	EP-315	EP-400	EP-500	EP-630
PI (kp/m ²)	1,2	1,4	1,5	1,9	2	2,2	2,6	3	3,5

Factor de carga (Fc)

Tabla C

Horizontal	V 20°	Artesa 20°	Artesa 30°	Artesa 35°	Artesa 45°
Fc = 1	Fc = 0,55	Fc = 0,60	Fc = 0,63	Fc = 0,66	Fc = 0,70

Factor de impacto (Fi)

Tabla D

TAMAÑO DEL MATERIAL	VELOCIDAD DE LA BANDA		
	2,5 m/s	2,5 a 4 m/s	4 a 5 m/s
100 m/m	1,000	1,000	1,000
100 a 175 m/m	1,025	1,060	1,110
175 a 300 m/m	1,075	1,140	1,280
325 a 500 m/m	1,260	1,600	2,100

Factor de vida (Fv)

Tabla E

HORAS DE FUNCIONAMIENTO	10.000	20.000	30.000	40.000	50.000	60.000	70.000
Factor Fv	1,445	1,145	1,000	0,907	0,843	0,792	0,753

CONSIDERACIONES GENERALES

Velocidad máxima de transporte (V) (m/s)

Tabla F

- A) Granos y otros materiales de relativa fluidez y baja abrasión
 B) Carbón en mina y materiales moderadamente abrasivos
 C) Minerales duros, piedras y materiales muy abrasivos.

Ancho de Banda	A	B	C
400	3	2,5	2,5
500	4	3	3
650	4	3,5	3,3
800	4,5	4	3,7
1000	5	4,2	4
1200	5,5	5	4,5
1400	6	5,5	4,5
1600	6	5,5	4,5
1800		6	5

Tamaño del material y ancho mínimo de banda

Tabla G

Ancho mínimo (m/m)	TAMAÑO DE LOS TROZOS (m/m)	
	A) Uniforme	B) Mezclado
400	65	100
500	85	150
650	125	225
800	160	300
1000	200	400
1200	250	500
1400	300	600
1600	350	700
1800	380	800
2000	450	900
2200	500	1000
2400	550	1100
2600	600	1200

Capacidad de carga (kg) del rodillo en función de la velocidad (r.p.m.)

Longitud en (mm) y vida de 30.000 horas

Tabla H

Ø Eje Rodamiento	r.p.m.	30	60	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Ø 20 6.240	Longitud												
	200												
	250	410	350										
	315	380		280									
	380		320		205	170	157	149	140	132			
	465			271							128		
	530			232	200	165	150	140	133	125			
	600			201	190	158	145	136	130	122			
	670			178	170	150	140	132	126	119			
	750				157	142	135	129	122	117			
	950						121	119	113	106			
1150							99						
Ø 25 6.205	200												
	250	600	500										
	315			400									
	380		450		312								
	465					260	240	220	215	192	178		
	530												
	600		365										
	670			300									
	750			284									
	950				219								
	1150					178							
Ø 25 6.305	200												
	250	836	700										
	315			592									
	380		637		470								
	465		576			399							
	530		494				358	328	290	284	264		
	600			428									
	670				377								
	750					333							
	950						257						
	1150							209					
Ø 30 6.306	200												
	250	1050											
	315		880										
	380	900		750	578								
	465		780			506							
	530		668				443	418	387	361	352		
	600												
	670			510									
	750				449								
	950						346						
	1150							282					

R.P.M. de los rodillos en función de la velocidad del transportador

Tabla I

VELOCIDAD BANDA M/S	DIAMETRO DEL RODILLO mm										
	63,5	70	76	89	102	108	127	133	152,4	159	193,7
0,25	75	68	63	53	47	44	38	36	31	30	25
0,50	150	136	126	107	90	88	75	72	63	60	49
0,75	225	205	189	161	141	132	113	107	94	90	74
1,00	300	273	251	214	188	176	150	143	125	120	98
1,25	376	341	314	268	235	221	188	179	157	150	123
1,50	451	409	377	322	282	265	226	215	188	180	148
1,75	526	478	440	375	329	309	263	251	219	210	172
2,00	601	546	503	429	376	353	301	287	251	240	197
2,25	676	614	566	483	423	398	338	323	282	270	222
2,50	752	682	628	536	470	442	376	359	313	300	246
2,75	827	750	691	590	517	486	414	395	345	330	271
3,00	902	819	754	643	564	530	451	430	376	360	295
3,25	977	887	817	697	611	574	489	466	407	390	320
3,50	1052	955	880	758	658	619	526	502	439	420	345
3,75	1128	1023	943	804	705	663	564	538	470	450	369
4,00	1203	1092	1005	858	752	707	602	574	501	480	394
4,25	1278	1160	1068	912	799	751	639	610	533	510	419
4,50	1354	1228	1131	965	846	795	677	646	564	540	443
4,75	1429	1296	1194	1019	893	840	714	682	595	570	468
5,00	1504	1364	1257	1073	940	884	752	718	627	600	493
5,25	1579	1433	1320	1126	987	928	790	754	658	630	517
5,50	1655	1501	1382	1180	1030	973	827	790	689	661	542
5,75	1730	1569	1445	1234	1077	1017	865	826	721	691	567
6,00	1805	1637	1508	1288	1124	1061	902	862	752	721	592

Recomendación de diámetro de rodillos por ancho de banda

Tabla J

BANDA ø Rodillo	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
63,5	x	x	x								
70		x	x	x							
76		x	x	x	x						
89		x	x	x	x						
102			x	x	x	x					
108			x	x	x	x	x				
127				x	x	x	x	x			
133				x	x	x	x	x			
152,4						x	x	x	x		
159						x	x	x	x		
193,7									x	x	x

Capacidad de transporte

$$Q = Q_m \cdot V \cdot K \cdot F_c$$

DIN 22101

Q (m³/h) = Capacidad de transporte

Q_m (m³/h) = Capacidad teórica de transporte a V=1 m/s (Tabla K)

V (m/s) = Velocidad

K = Factor de reducción por inclinación de la banda (Tabla L)

F_c = Factor de carga (Tabla C)

Q_m en m³/H para V=1m/seg (Talud 20°)

Tabla K

Ancho de Banda	Montaje Plano	Montaje en artesa				
		20°	25°	30°	35°	45°
400	23	41	45	49	52	56
500	38	70	77	83	88	96
650	69	128	141	152	162	175
800	108	200	221	239	254	275
1.000	173	327	360	390	414	447
1.200	255	479	528	571	607	656
1.400	351	665	734	794	843	910
1.600	484	849	917	987	1.053	1.144
1.800	592	1.076	1.185	1.280	1.362	1.478
2.000	735	1.347	1.484	1.604	1.706	1.850
2.200	893	1.654	1.823	1.970	2.095	2.270
2.400	1.070	1.986	2.189	2.367	2.516	2.724
2.600	1.260	2.354	2.595	2.806	2.982	3.227
2.800	1.465	2.740	3.022	3.267	3.472	3.756

Factor K de reducción por inclinación de la banda

Ángulo de inclinación (grados)

VALOR K

Tabla L

2	1
4	0,99
6	0,98
8	0,97
10	0,95
12	0,93
14	0,91
16	0,89
18	0,85
20	0,81
21	0,78
22	0,76
23	0,73
24	0,71
25	0,68
26	0,66
27	0,64
28	0,61
29	0,59
30	0,56

Valores del coeficiente f de fricción en los rodillos de apoyo

Tabla Ñ

TIPO COJINETE	ESTADO	VALOR DE f
RODAMIENTOS	favorable	0,018
	normal	0,02
	desfavorable	0,023–0,030
FRICCION		0,05

ANEXO B. Variador de velocidad

A continuación se presenta los datos más relevantes del variador de velocidad D2-3231-4:

Table 2-1. Open and Plate Style Chassis Controllers Listed by Features and Configuration.

Controller Features	Controller Model Number by Configuration	
	Speed Control	Torque Control
Basic	DC2-40U DC2-45U ¹ DC2-50U DC2-55U ¹	DC2-43U DC2-53U
Basic plus Process Control Interface	DC2-42U DC2-46U ¹ DC2-52U DC2-56U ¹	DC2-44U DC2-54U

¹ Special customer model.

Table 2-2. NEMA 12 Enclosed
Controllers Listed by Features and Configuration.

Controller Features	Controller Model Number by Configuration	
	Speed Control	Torque Control
Basic	DC2-60U DC2-65U ¹ DC2-70U ² DC2-75U ^{1 2}	DC2-63U DC2-73U ²
Basic with Jog	DC2-60U DC2-79U ²	Not Available
Basic plus Process Control	DC2-62U DC2-66U ¹ DC2-72U ² DC2-76U ^{1 2}	DC2-64U DC2-74U ²
Basic plus Dynamic Braking (DB)/ Reversing	DC2-71U ^{2 3}	Not Available
Basic plus DB/ Reversing plus Jog	DC2-78U ^{2 3}	Not Available

¹ Special customer model.

² Includes operator's controls.

³ Cannot be used with D-C tachometer speed feedback

Table 2-3. NEMA 4/4X/12 Enclosed
Controllers Listed by Features and Configuration.

Controller Features	Controller Model Number by Configuration	
	Speed Control	Torque Control
Basic	DC2-80U DC2-90U ¹ DC2-95U ¹	DC2-83U DC2-93U ¹
Basic with Jog	DC2-80U DC2-99U ¹	Not Available
Basic plus Process Control	DC2-82U DC2-92U ¹ DC2-97U ¹	DC2-84U DC2-94U ¹
Basic plus DB/Reversing	DC2-91U ^{1 2}	Not Available
Basic plus DB/ Reversing plus Jog	DC2-96U ^{1 2}	Not Available

¹ Includes operator's controls.

² Cannot be used with D-C tachometer speed feedback

Motor HP	115-Volt A-C Input					
	230-Volt A-C Input					
	Rated A-C Line Amperes ¹	Input KVA	D-C Armature Voltage	Rated Armature Current (amperes)	Available Field Voltage	Available Field Current (amperes)
1/4	3.1	.36	90	2.5	50	2.0
	—	—	—	—	—	—
1/3	4.2	.48	90	3.7	50	2.0
	—	—	—	—	—	—
1/2	6.2	.71	90	5.0	50	2.0
	3.1	.71	180	2.5	100	2.0
3/4	9.4	1.00	90	7.5	50	2.0
	4.7	1.00	180	3.7	100	2.0
1 ²	12.5	1.40	90	10.0	50	2.0
	6.2	1.40	180	5.0	100	2.0
1-1/2	—	—	—	—	—	—
	9.4	2.20	180	7.5	100	2.0
2 ²	—	—	—	—	—	—
	12.5	2.90	180	10.0	100	2.0

¹ Includes motor field current.

² DC2-50, 52, 53, 54, 55 and 56 plate design controllers must be mounted to a metal plate 18" x 18" to meet 1 HP @ 115 VAC and 2 HP @ 230 VAC ratings, or an optional heatsink (model number HS1-50) can be purchased.

Table 2-6. Speed Regulation Characteristics.¹

Type of Regulation	Line Voltage ±10%	Load Change 95%	Regulated Speed Range	Temperature ±10°C	Field Heating Cold Normal ²
Armature Feedback (Voltage)	0.1%	2-5% ³	20:1	1.0%	5-12%
Tachometer Feedback (Speed) ⁴	0.1%	1%	30:1	1.5%	0.5%

¹ All percentages expressed relative to maximum speed.

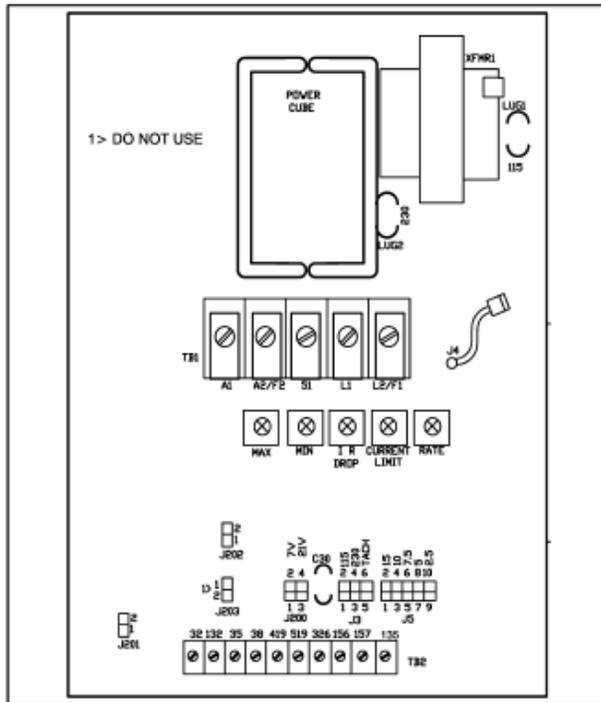
² Applies to wound field D-C motors only.

³ Dependent upon specific motor characteristics and IR drop compensation adjustment.

⁴ Applicable to non-reversing models only.

Table 2-7. Dynamic Braking Capabilities (with Switch Reversing Models DC2-71, 78, 91 and 98 only).

Description	Input Voltage	Motor Horsepower						
		1/4	1/3	1/2	3/4	1	1-1/2	2
Braking Torque (% Full Load Torque)	115	129	103	66	44	34	–	–
	230	–	–	200	190	130	88	62
Allowable Stops Per Minute	115	12	11	8	6	2	–	–
	230	–	–	8	6	1	1	1



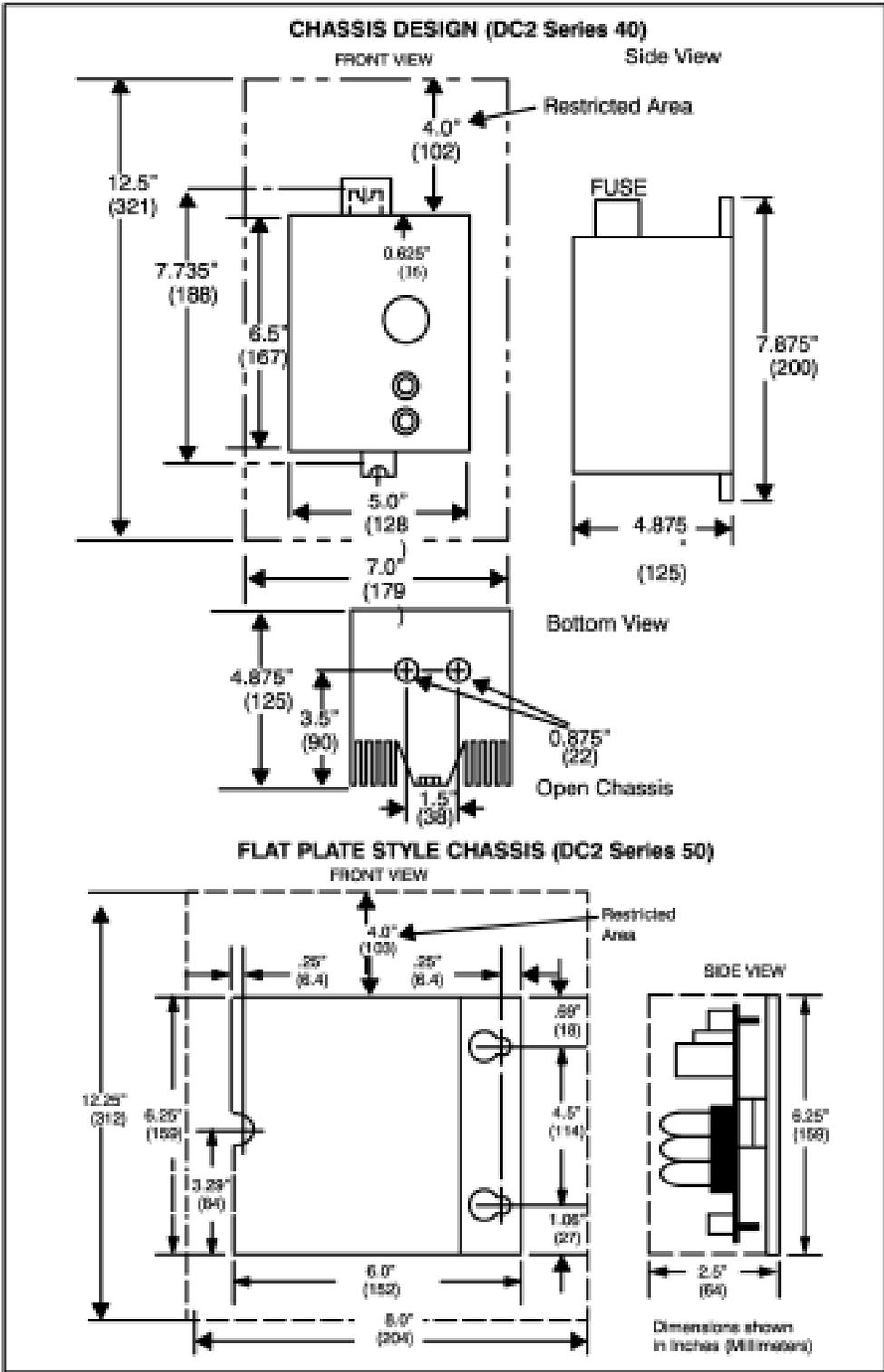


Figure 3-2A. Dimension and Mounting Data for Chassis Style Controllers.

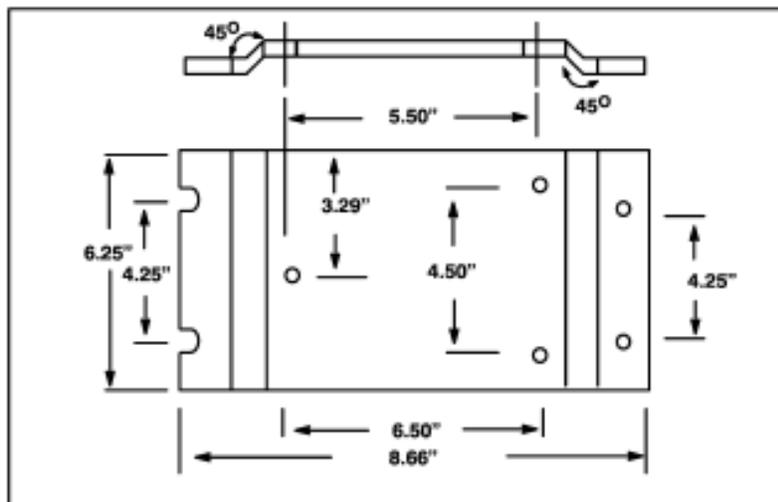
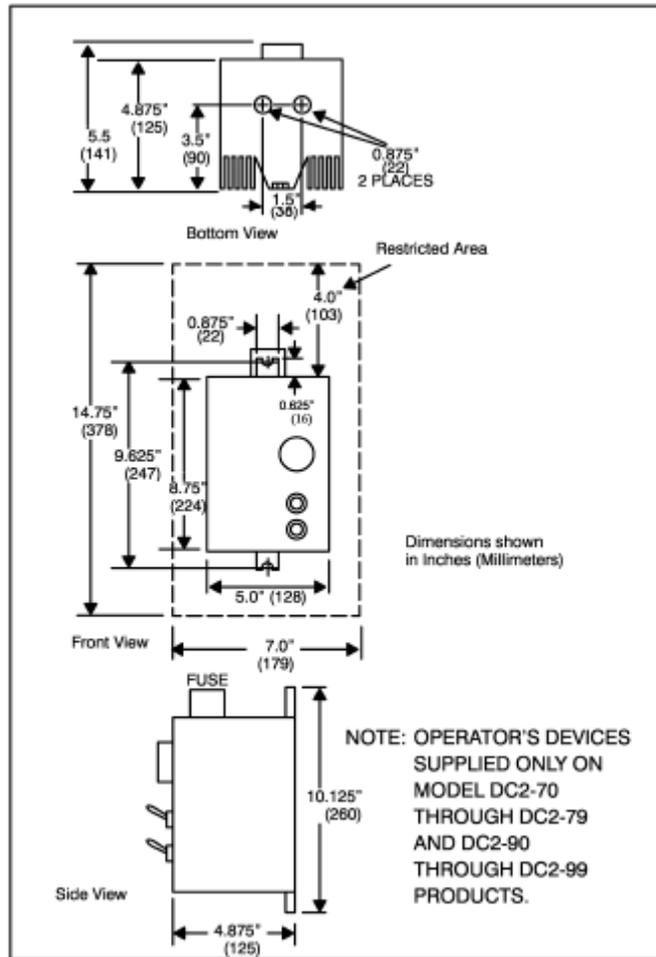


Figure 3.2C. HSI-50 Heatsink Dimensions

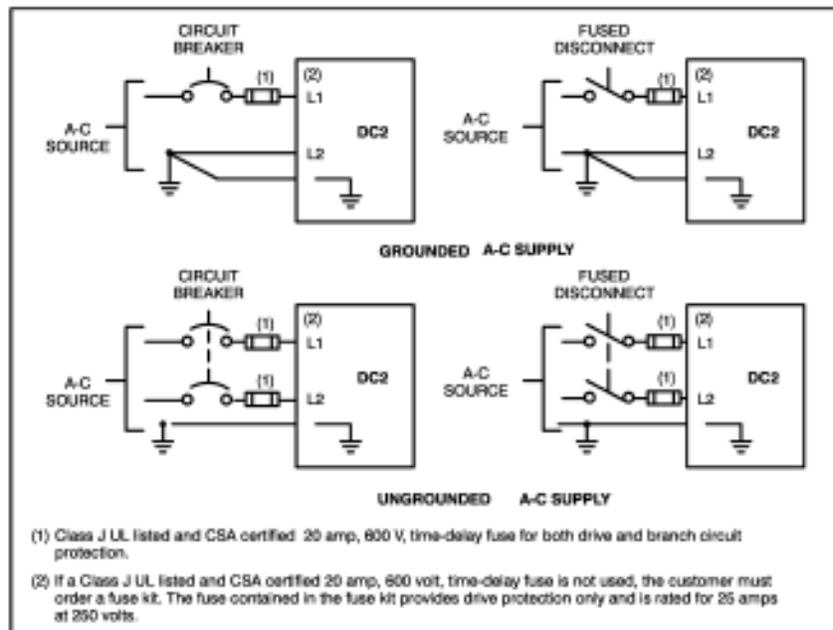


Figure 3-3. Fused Disconnect or Circuit Breaker Connections.

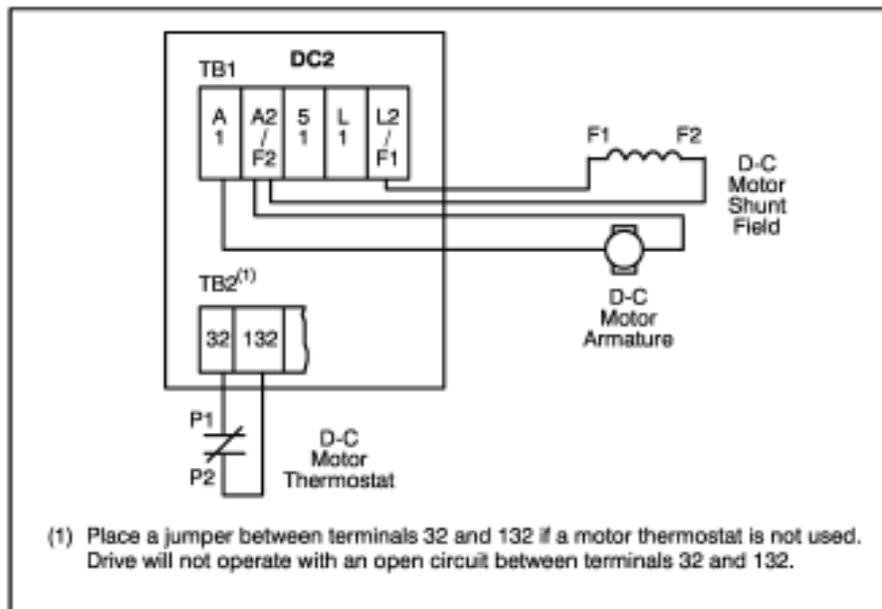


Figure 3-4. Armature, Field and Thermostat (CCW Rotation) Connections

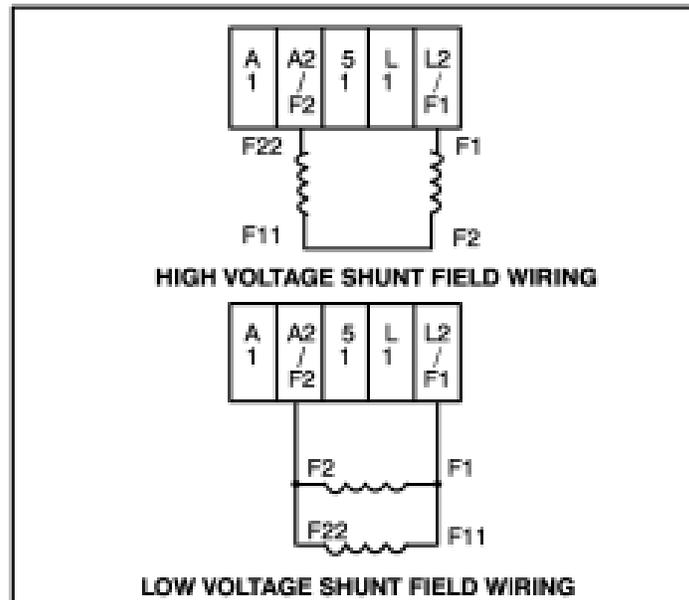


Figure 3-5. Connection for Dual Voltage Fields

Position the Controller Jumpers to Fit Application

The controller can operate on either 115V or 230V at multiple horsepower ratings and in various modes. Make sure the circuit jumpers are properly set for the application as described on the following pages. See Figure 4-1, which locates these special selector jumpers and pins.

J4: A-C Input Voltage Jumper

NOTE: This jumper is on all controller models and is factory set for 230 VAC.

1. Verify that J4 is positioned to match A-C input line power.
2. If operation is on 115V, relocate J4 to the 115-volt jumper position.

J3: Voltage/Tach Feedback Selection Jumper

NOTE: This jumper is on all controller models and is factory set for a voltage feedback of 180V.

1. If operation is to be on 115V with voltage feedback, relocate J3 to the 90V jumper position.
2. If a tachometer feedback is to be used, relocate J3 to 'TACH' position irrespective of input voltage.

J200: Tachometer Scaling Jumper

NOTE: This jumper is on all controller models and is factory set for 7 VDC/1000 tachometer scaling (pins 1 and 2).

1. If 20.8 VDC/1000 tachometer scaling is desired, relocate jumper to the 21V position (pins 3 and 4).
2. If the controller is to be used as a voltage regulator, or torque regulator, leave this jumper set for the factory setting of 7 VDC/1000 (pins 1 and 2).

J5: Controller Output Current Jumper

NOTE: This jumper is on all controller models and is factory set for 2.5 amperes.

1. Select the appropriate controller output current rating from the Table 4-1.
2. Position J5 for the current rating selected in Step 2.

Table 4-1. Controller D-C Output Current Rating.¹

Motor HP	Controller Output Current Rating by Input Voltage Rating	
	115 VAC	230 VAC
1/4	2.5	—
1/3	5.0	—
1/2	5.0	2.5
3/4	7.5	5.0
1	10.0	5.0
1-1/2	—	7.5
2	—	10.0

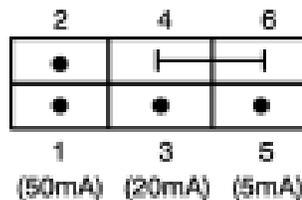
¹ Measured with average reading D-C ammeter.

J8: Process Control Interface Jumper (On 0-57210-31 Regulator Boards only)

NOTE: This jumper is on process control interface controllers (Models DC2-42, 44, 46, 52, 54, 56, 62, 64, 66, 72, 74, 82, 84, 92, 94 and 97) and is factory set for a 10V input signal.

1. Select the J8 jumper position based on the process control signal to be used:

Process Control Signal	Jumper Position	Input Impedance
1 – 5 mA	5 mA (Pins 5 and 6)	2K Ω
4 – 20 mA	20 mA (Pins 3 and 4)	450 Ω
10 – 50 mA	50 mA (Pins 1 and 2)	200 Ω
0 – 10 VDC	10 V (Pins 4 and 6)	688 Ω



J201: Minimum Speed Disable

J202: S-Curve Acceleration

NOTE: A 4.7 μ FD (Reliance part #69380-51PS) capacitor is provided in a plastic bag shipped with the drive.

1. Attach the capacitor to J202 (pins 1 and 2) if S-Curve acceleration characteristics are desired.

J203: Regulation Mode Jumper

NOTE: Do not move this jumper on 0-57210-30 Regulator Boards.

1. For Voltage/Speed regulation, place jumper on pins 2 and 4.
2. For Torque regulation, place jumper on pins 1 and 3.

J401: Rate Range Jumper

(On 0-57210-31 and 0-57210-32 Regulator Boards only)

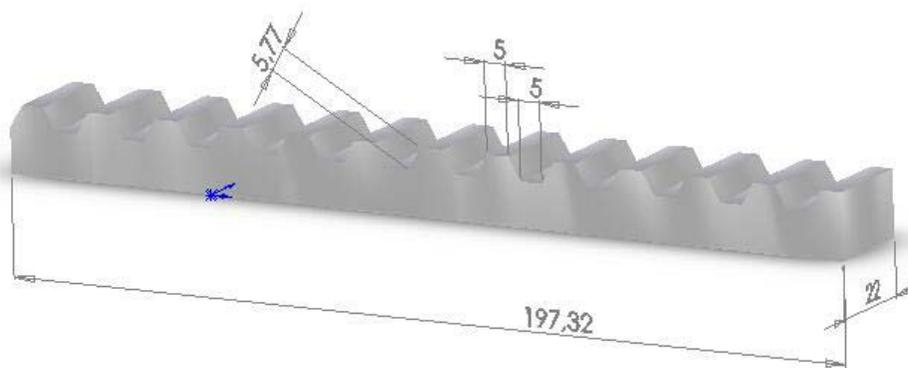
NOTE: This jumper is factory set for the slow rate range (upper and middle pins). The slow rate range is 3.5 to 40 seconds.

1. Select the fast rate range for better resolution. To select the fast rate range (0.3 to 3.5 seconds), move this jumper to the lower and middle pins.

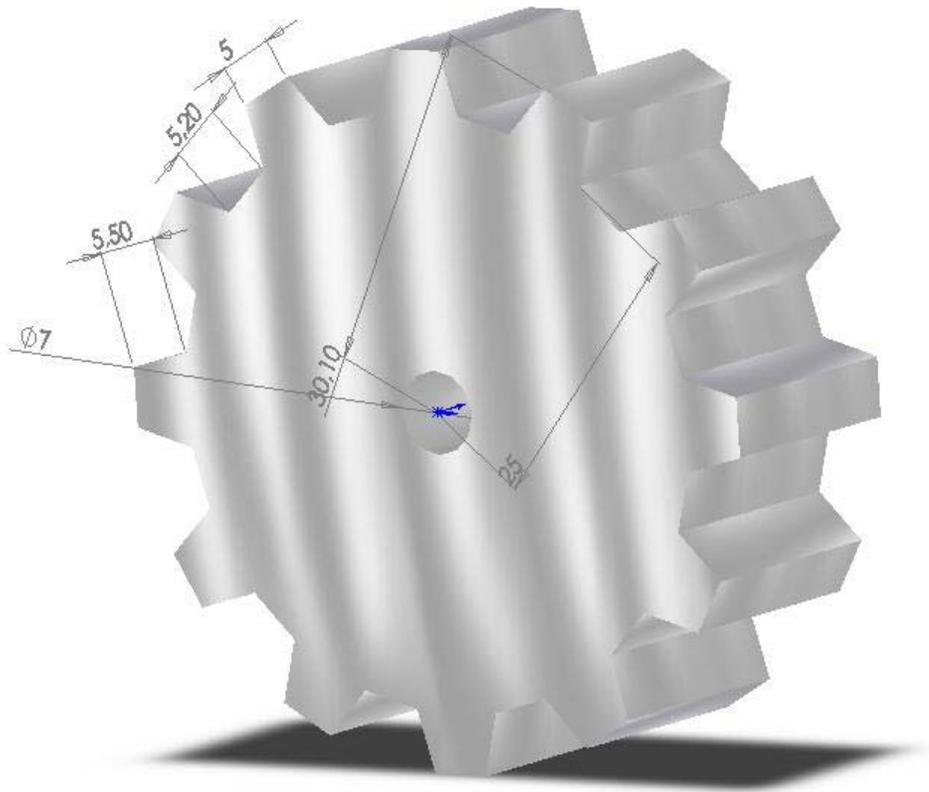
ANEXO C. Consideraciones acerca del piñón y las cremalleras

En primer lugar se debe hablar del material en el cual se deben fabricar el piñón y la cremallera, así que se debe mencionar que el material escogido para su construcción es el acero 1020. Por otro lado se deben considerar las medidas que se utilizaron para la simulación de estos elementos.

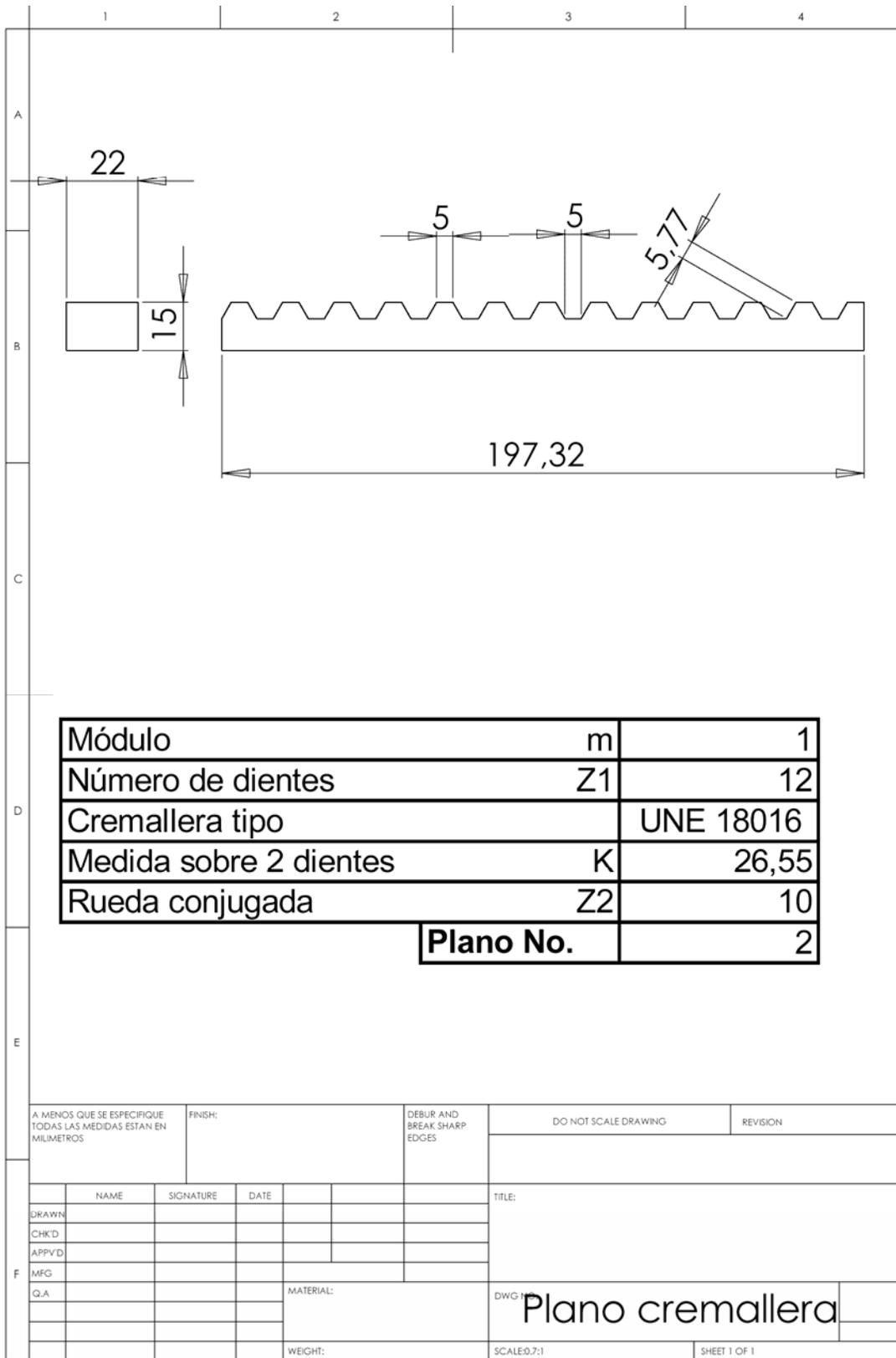
- Dimensiones de la cremallera



- Dimensiones del piñón

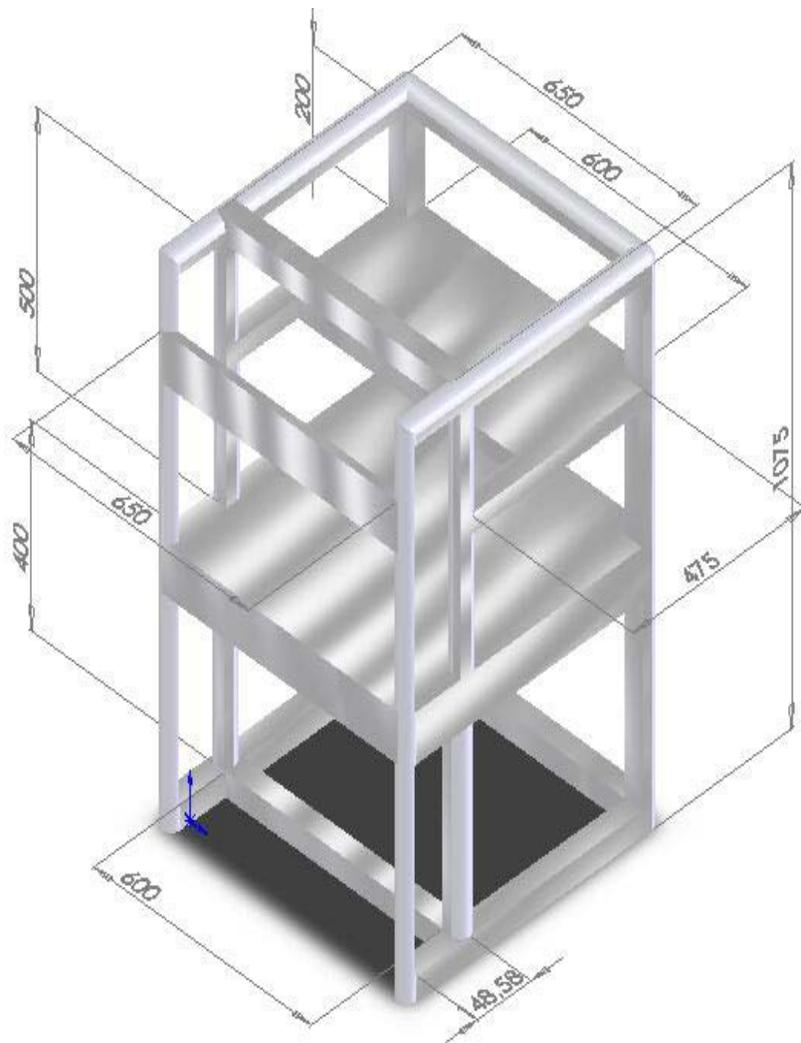


Se puede observar que aquí ya se tiene en cuenta el agujero para el eje del motor, se debe decir que la tolerancia a manejar en ese agujero es de $\pm 0.1mm$ lo cual implica un ajuste fino para un eje único que en este caso es de 7mm. Para una mejor referencia de los parámetros del piñón y la cremallera referirse a los siguientes planos.



ANEXO D. Consideraciones acerca de la estructura de soporte

Ya se había comentado que el material recomendado para el soporte es el acero 1020, sin embargo se deben tener en cuenta ciertas medidas las cuales se presentan a continuación.



Por otro lado, es necesario especificar que para su fabricación se sugiere soldar las piezas que conforman el soporte o ajustarlas mediante tornillos que garanticen una estabilidad bajo las cargas que se trabajarán.

Por último cabe decir que las medidas recomendadas no son estrictas y pueden ser cambiadas, sin embargo esto implicará que se reevalúen los conceptos de diseño y no garantizará el completo funcionamiento del sistema diseñado.