

Máquina automática procesadora de papa

JAIRO ORLANDO MONTOYA GÓMEZ ⁽¹⁾ , ÁLVARO ANTONIO PATIÑO FORERO ⁽²⁾ ,
JOSÉ LUIS RUBIANO FERNÁNDEZ ⁽³⁾

(1) jamontoya@unisalle.edu.co

(2) alapatino@unisalle.edu.co

(3) jorubiano@unisalle.edu.co

Universidad de la Salle
Ingeniería en Automatización
Bogotá, Colombia

Máquina automática procesadora de papa

RESUMEN

Palabras clave:

**Agroindustria;
automatización; diseño de
máquinas; procesamiento de
papa.**

Las pequeñas y mediana empresas procesadoras de papa, debido a la escasez de capital, en muchas ocasiones no tienen acceso a tecnologías modernas para dar un valor agregado a su materia prima. Este artículo presenta la implementación de una máquina procesadora de papa, desde el diseño mecánico mostrando cada uno de los pasos necesarios para llegar a la construcción. Además, se presenta la forma de seleccionar los instrumentos adecuados para automatizar la máquina. Los resultados obtenidos permiten identificar la efectividad del pelado y tajado de papa, como también evaluar las ventajas de utilizar tecnologías de automatización en proceso agroindustriales para pequeñas empresas de manufactura. Como resultado se obtuvo un prototipo que permite pelar, tajar y freír papa sabanera y pastusa.

I. INTRODUCCIÓN

El diseño de máquinas procesadoras de alimentos es un tema de interés industrial, debido al valor agregado dado a la materia prima procesada, en el sector manufacturero agroalimentario [1]. La papa, debido a su alto consumo a nivel nacional, se ha convertido en un cultivo de gran importancia, el cual es ofrecido en dos presentaciones, como papa fresca y como papa procesada; donde la mayor exportación se muestra en la papa fresca [2]. En Colombia existen organizaciones que tienen equipos que ofrecen valor agregado a este producto como es el caso de Coagrounión, la cual es una asociación de 31 productores que han adquirido máquinas para lavar, secar, clasificar y empaclar papa [3]. Sin embargo, el mercado de la papa fresca muestra un decremento en comparación con la papa procesada (francesa, congelada y deshidratada) por lo que se ha convertido en sector de rápido crecimiento dentro de la economía mundial, tendencia presentada también en países como Colombia, Argentina, Egipto y China [4].

Existen trabajos relacionados con el procesamiento de papas como son: máquinas automatizadas para el cortado y freído, buscando mejorar el tiempo de producción y la calidad del producto [5]; máquina dosificadora y empacadora de Snacks, de la empresa Ecuamex S.A, la cual se encarga de dosificar y empaclar papas, presentando la estrategia de automatización utilizada [6]; automatización de una máquina empacadora de papas a escala, donde se presentan diferentes diseños de empacadoras y se basan en una empacadora vertical de la empresa Multipack, utilizando sistemas de supervisión y un controlador lógico programable [7]. Estos trabajos y otros, buscan impactar el sector agroindustrial, por lo que se ha convertido en tema de interés de investigación en universidades [8]. Este artículo presenta la implementación de una máquina automatizada para pelar y tajar papa. La metodología seguida consistió en: búsqueda de alternativas de pelado, definición de las variables críticas que influyen en el proceso, realización de ensayos para determinar los valores promedio de las variables, definición de los parámetros de evaluación, selección de la alternati-

va más adecuada, diseño de los subsistemas, y construcción y puesta a punto del prototipo. El objetivo de este artículo es presentar la metodología seguida para el pelado y tajo de papa a nivel industrial.

II. DISEÑO DE LA MÁQUINA AUTOMATIZADA

Con el fin de garantizar que la máquina diseñada y construida cumpla su función, es necesario seguir una serie de etapas: La primera consiste en indagar sobre las opciones que existen para el procesamiento de la papa cruda con cáscara hasta que esta se convierte en una papa pelada y tajada, lista para un siguiente proceso.

A. Alternativas de Solución para la Etapa de Pelado de Papa

La cáscara de la papa se caracteriza por ser muy delgada y de fácil eliminación, por lo que se analizaron las siguientes alternativas de pelado: con abrasivo (lija), con tambor y agujeros, con vapor y con solución cáustica, [9], [10], [11]. Para elegir la alternativa a emplear, se consideró aquella que afecte en forma mínima las propiedades físicas de la papa, tales como el color, olor y textura, [12] y [13], para evitar rechazo por parte del consumidor.

• *Pelado por Abrasión*

Consiste en pelar la papa en un tambor cubierto en las paredes laterales con un material abrasivo y un disco giratorio en la parte inferior, el cual por fuerza centrífuga obliga a la papa a chocar contra las paredes abrasivas del tanque, que la pelan. Se requiere el empleo de agua a presión para eliminar del material abrasivo, los residuos de papa después de pelada. Este método de pelado tiene las siguientes ventajas: permite procesar lotes de varias papas simultáneamente, no afecta las propiedades físicas de la papa, las pérdidas de materia prima no superan el 20% y no requiere personal especializado para operar el equipo, lo cual lo hace económico. Las desventajas de este método son: el uso de agua y la necesidad de cambiar periódicamente el material abrasivo.

- **Pelado con Tambor y Agujeros**

Consiste en pelar la papa en un tambor al cual se le hacen entre 10 y 20 agujeros por pulgada cuadrada, de un tamaño de 3 mm. Un disco giratorio en la parte inferior del tambor obliga a la papa a chocar contra las paredes, debido a la fuerza centrífuga. A diferencia del pelado con abrasivo, este no requiere gran cantidad de agua para eliminar la cáscara de la papa y tampoco el cambio periódico del material abrasivo.

- **Pelado con Vapor**

Se introduce la papa en un tanque cerrado herméticamente que gira a baja velocidad, y al cual una vez se le carga una determinada cantidad de papa, se le agrega vapor a alta presión durante un corto periodo de tiempo, lo cual desprende la corteza de la papa. Este método de pelado tiene las siguientes ventajas: permite procesar lotes de varias papas simultáneamente, no afecta las propiedades físicas de la papa y las pérdidas de materia prima no superan el 10%. Las desventajas de este método son el uso de agua y energía para convertirla en vapor, instalaciones especiales por las propiedades del vapor y personal especializado para el manejo del proceso.

- **Pelado con Solución Cáustica (NaOH)**

Consiste en sumergir la papa en una solución cáustica con concentración entre 10 y 20%, durante un tiempo suficiente para lograr la separación de la cáscara de la papa. La ventaja de esta alternativa de pelado es la realización del proceso en lotes de muchas unidades. Las desventajas son: el uso de un producto químico altamente corrosivo, el cual afecta las propiedades físicas y químicas del producto y la contaminación ambiental al momento de eliminar la solución cáustica.

En la tabla 1, se hace la evaluación de estas alternativas, teniendo en cuenta como criterios de evaluación: producción, afectación de propiedades del producto, costos de operación e infraestructura requerida. Se asignan los siguientes valores: 5 cuando se cumple completamente el criterio, 3 cuando se cumple medianamente y 1 cuando no se cumple.

TABLA 1. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PELADO

	<i>Abrasivo (lija)</i>	<i>Tambor agujeros</i>	<i>Vapor</i>	<i>NaOH</i>
Producción	3	5	5	3
Propiedades finales	5	5	3	1
Costos	3	5	1	3
Infraestructura	5	5	1	3
TOTAL	16	20	10	10

Sumado el puntaje asignado a cada alternativa de solución, el total de la tabla 1 y seleccionando el valor más alto, la opción adecuada para el pelado es la de tambor con agujeros.

B. Alternativas de Solución para la Etapa de Tajado de Papa

En esta etapa, se desea obtener papa tajada con un espesor máximo de 2 mm. Se analizaron las siguientes alternativas de tajado: con cilindro neumático y rejilla de cuchillas, cilindro neumático y cuchilla fija, y disco rotatorio dentro de un tambor con cuchillas laterales.

- **Tajado con Cilindro Neumático y Rejilla con Cuchillas**

Este consiste en empujar cada papa ya pelada a través de un arreglo de cuchillas con separación de 2 mm. Tiene la ventaja de no afectar las propiedades de la papa. Las desventajas son la fuerza requerida para empujar la papa, atascamiento del producto en las cuchillas, cilindro neumático de gran diámetro para suministrar la fuerza requerida y demora en el proceso.

- **Tajado con Cilindro Neumático y Cuchilla Fija**

Este consiste en empujar cada papa ya pelada a través de una cuchilla con separación de 2 mm de una guía horizontal, tantas veces sea necesario hasta tajarla completamente. Al igual que la alternativa anterior, tiene la ventaja de no afectar las propiedades del producto. Las desventajas identificadas son: necesidad de un dispositivo que devuelva la papa con el vástago del cilindro en cada pasada por la cuchilla, desgaste excesivo del cilindro por la cantidad de ciclos a realizar y una baja producción.

• *Tajado con Disco Rotatorio y Tambor con Cuchillas*

La papa pelada, se introduce en un tambor, el cual cuenta con una cuchilla en la pared lateral. El disco giratorio ubicado en la parte inferior del tambor hace girar la papa a una velocidad tal que la obliga a chocar contra la cuchilla, encargada de tajarla. Esta alternativa tiene la ventaja de presentar alta producción, por la posibilidad de aumentar el número de cuchillas, se puede integrar al sistema de pelado y no afecta las propiedades del producto. Las desventajas de esta alternativa son: necesidad de controlar la velocidad de giro del disco y la posibilidad de atasco, si se alimenta gran cantidad de producto.

En la tabla 2, se hace la evaluación de estas alternativas, teniendo en cuenta como criterios de evaluación: producción, afectación de propiedades del producto, costos de operación e infraestructura requerida. Se asignan los siguientes valores: 5 cuando se cumple completamente el criterio, 3 cuando se cumple medianamente y 1 cuando no se cumple.

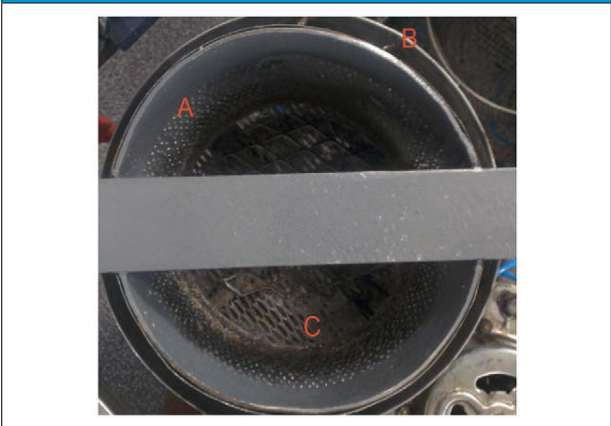
TABLA II. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TAJADO

	<i>Cilindro y rejilla</i>	<i>Cilindro y cuchilla</i>	<i>Tambor con cuchillas</i>
Producción	1	3	5
Propiedades finales	3	5	5
Costos	1	1	3
Infraestructura	1	1	3
TOTAL	6	10	16

Sumado el puntaje asignado a cada alternativa de solución, el total de la tabla 2 y seleccionando el valor más alto, la opción adecuada para el tajado es la de tambor con cuchillas.

Ahora, teniendo en cuenta que existe una restricción de volumen ocupado por la máquina (0.07 m^3), debido al poco espacio disponible en las pequeñas empresas, se procede a determinar la configuración más adecuada para la ubicación de la peladora y cortadora, con el fin de ajustarse a esta restricción. Después de analizar diferentes opciones y debido a la restricción de espacio, se optó por integrar el pelado y tajado en un solo dispositivo, como se presenta en la figura 1.

Fig. 1. Dispositivo de pelado y tajado de papa.



El tambor A, estático, es el encargado del pelado de la papa. El tambor B, también estático, concéntrico respecto al tambor A, es de mayor diámetro, y es el encargado del tajado de la papa. El fondo C, es rotatorio, está encargado de mover la papa, de tal forma que por fuerza centrífuga, se pone en contacto con la pared interna del cilindro que las contiene. Esta acción hace que la papa se friccione con el tambor A, de tal forma que es eliminada la corteza de la papa. Después, por acción de un cilindro neumático, asciende el tambor de pelado para que la papa, la que sigue girando por acción del fondo C, sea ahora tajada por el tambor B.

Para el cálculo del cilindro neumático encargado de desplazar verticalmente el tambor A, se tuvo en cuenta el peso de este tambor y la platina de soporte con el cilindro de accionamiento, ver figura 3. Para el cálculo de la potencia del motor eléctrico que hace girar el fondo C, y por ensayo y error, se fue estimando la velocidad de rotación que mejor se adecuara a la productividad deseada para la máquina (0.5 kg/min) y que permitiera el eficiente pelado de la papa, la cual se estableció en 900 rpm.

En el tajado es importante conocer la fuerza de corte empleada en la obtención del chip de papa, con el fin de determinar la potencia mínima requerida del motor eléctrico, para realizar el proceso. Esta fuerza se determinó por medio del siguiente procedimiento: sobre un abalanza digital se ubica una papa del tamaño promedio a procesar en el dispositivo de pelado, se ubica un cuchillo para realizar

cortes en 5 puntos distintos. Durante el proceso de corte, se toma el dato de la fuerza máxima registrada en la báscula, como se muestra en la figura 2. Los valores obtenidos de todo el proceso de medición, se registraron en la tabla 3.

Obteniendo la media aritmética de la fuerza de corte y la desviación estándar, se tiene que la fuerza de corte en el tajado es 28.50 ± 3.14 N. Debido a la irregularidad en la resistencia de la papa al corte, por variedades de papa, condiciones de cultivo, almacenamiento, transporte y tiempo de procesamiento, se toma el valor máximo de corte, equivalente a 31.64 N, para establecer el torque mínimo necesario (torque estático), para el pelado de la papa.

Fig. 2. Determinación fuerza de tajado de papa.

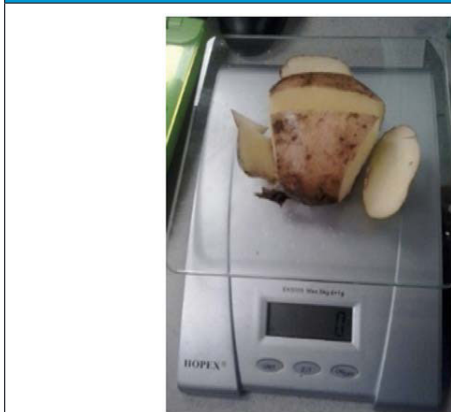


TABLA III. FUERZA DE CORTE PARA EL TAJADO

Corte	Fuerza aplicada (g)	Fuerza (N)
1	2756	27.027
2	2890	28.341
3	3463	33.960
4	2745	26.919
5	2678	26.262

Para una operación adecuada de los sistemas de pelado y tajado de papa, y conociendo que la cantidad a procesar es de 0.5 kg/min, se selecciona un tambor para tajado con un radio de 0.1 m, obteniéndose así un torque estático de 3,017 N-m. El torque en condiciones dinámicas, condición de corte de la papa, se obtuvo así: Calculando la inercia total del sistema (disco giratorio, papa a pelar y sistemas de transmisión) de 0.028 kg-m^2 y la aceleración angu-

lar de 200 rad/s^2 , para una velocidad de rotación de 94.25 rad/s , se obtuvo que el torque es de 5.6 N-m (superior al torque estático), con lo cual se garantiza el pelado, y una potencia de 741 W (1Hp).

Con los valores anteriores se procede a diseñar el sistema de transmisión mecánica y a construir la estructura para su posterior evaluación y puesta a punto, como se muestra en la figura 3.

Fig. 3. Estructura final de pelado y tajado de papa.



C. Selección de la instrumentación para el control de la máquina

Para la selección se establecieron tres pasos, de acuerdo con el diseño mecánico:

- *Identificación de los estados:* Encendido del fondo rotatorio para el pelado, apagado de fondo rotatorio, ascenso del tambor de pelado, encendido del fondo rotatorio, apagado del fondo rotatorio y descenso del tambor de pelado.

- *Determinación de criterios de selección:* para los sensores se tuvo en cuenta: facilidad de instalación, tamaño, disponibilidad, resistencia al ambiente de trabajo, alcance y sensibilidad; para los actuadores: velocidad de operación, capacidad, tipo de movimiento, facilidad de instalación; para el controlador: escalabilidad, flexibilidad, entradas y salidas, posibilidades de expansión y costo.

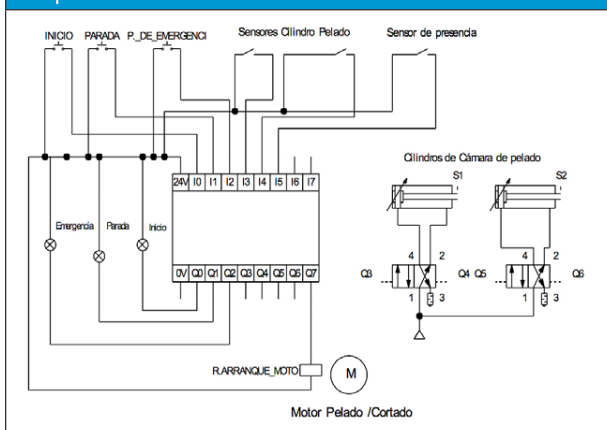
- *Selección de instrumentos:* Con base en los criterios anteriores se evaluaron las alternativas para la selección de sensores, actuadores y controlador del proceso.

En la tabla 4 se presenta el resumen de los instrumentos utilizados.

TABLA IV. INSTRUMENTACIÓN

Instrumentos	Cantidad
Controlador Lógico Programable (PLC)	1
Final de carrera	2
Sensor Capacitivo	1
Pulsadores	3
Pilotos	3
Cilindro doble efecto	2
Válvulas	2
Motor Monofásico	1

En la figura 4 se presenta el plano de conexión de los instrumentos utilizados en la máquina. En la parte superior se observa las entradas conectadas al controlador, las cuales son alimentadas con una fuente de 24 V. En la parte inferior se observa las conexiones de los actuadores.

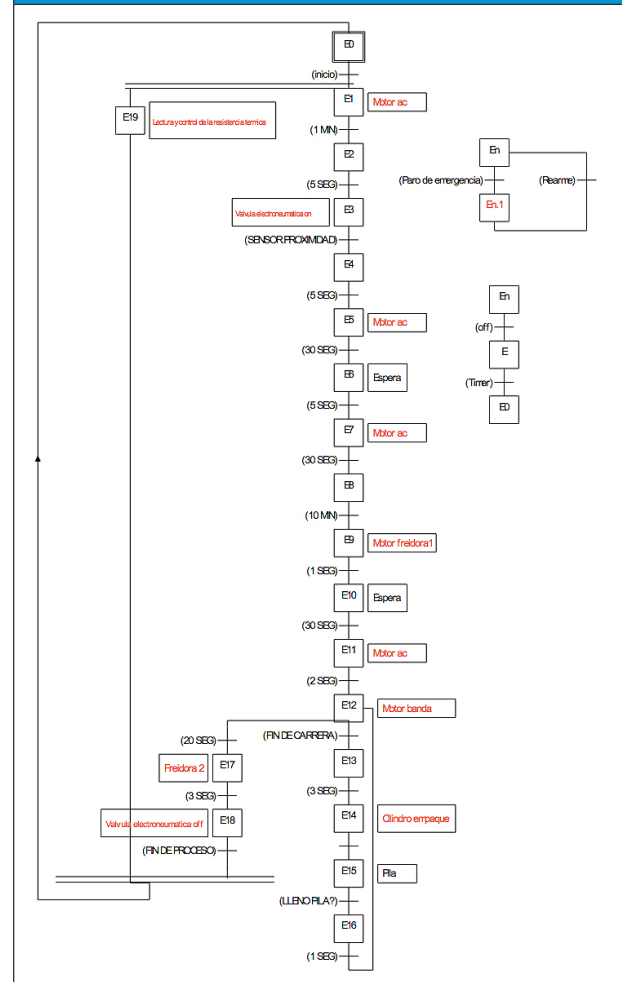
Fig. 4. Plano de los instrumentos a implementar en la máquina

El controlador seleccionado (PLC S7_1200), cuenta con altas prestaciones, tales como: Conexión a sistemas de supervisión, bloques de control PID y especializadas para trabajo con equipos industriales.

D. Algoritmo de control de la Máquina

El algoritmo de control diseñado en Grafset, ver figura 5, se elaboró para el pelado y tajado de papa y adicionalmente se le agregaron estados para operaciones como freído, dosificado y empaque, en el caso de interés por parte del microempresario de aumentar la capacidad de proceso e incrementar valor agregado a la materia prima. Además, se tuvo en cuenta

la seguridad del sistema para su operación manual y automática. Este algoritmo en Grafset se puede traducir a código Ladder, para su implementación.

Fig. 5. Algoritmo de control de la máquina

III. RESULTADOS DE IMPLEMENTACIÓN

Se desarrolló y evaluó una metodología para el diseño y construcción de máquinas procesadoras de alimentos abaja escala, que va a beneficiar a pequeños productores del producto.

Se obtuvo una máquina peladora y tajadora que se ajustó a las restricciones de diseño de volumen ocupado y productividad deseada (0.5 kg/min).

El sistema de supervisión, a través de un PLC y sensores, permiten determinar la cantidad de producto procesado por unidad de tiempo.

El espacio asignado para el procesamiento de las papas, según la productividad establecida, es adecuado y permitió el pelado de la papa, como se muestra en la figura 6.

Fig. 6. Evaluación de la etapa de pelado de papa.



Para determinar si el tambor de pelado cumple con el requerimiento de pelar 0.5 kg/min de papa, se realizaron varios ensayos de pelado, cuyos resultados se pueden observar en la tabla 5.

TABLA V. PORCENTAJES DE PELADO

Papa	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Pelado (%)
1	0,080	0,059	100
2	0,093	0,066	92,5
3	0,140	0,112	92,8
4	0,111	0,085	92,8
5	0,059	0,043	93,1
6	0,111	0,080	100
7	0,088	0,0667	92,7
8	0,089	0,059	100
9	0,078	0,055	92,4
10	0,085	0,061	92,5

Con base en la tabla 5, se obtiene que la efectividad de pelado es de 94.88 +/- 2.20 %, valor adecuado para pasar a la siguiente etapa del proceso.

Evaluada la etapa de tajado, se obtuvo el resultado mostrado en la figura 7, con lo que se evidencia que es necesario mejorar la geometría de las cuchillas de corte para obtener un tajado más homogéneo. La productividad en esta etapa también cumple con las condiciones de diseño.

Fig. 7. Evaluación de la etapa de tajado de papa.



La figura 8 muestra la forma y distribución de los componentes de la máquina procesadora de papa, la cual se compone de cuatro partes, el sistema de pelado y tajado en la parte superior de la figura, en la parte inferior se encuentra el motor eléctrico, en la parte derecha se encuentra el sistema de freído y la banda para la salida de papa frita.

Fig. 8. Prototipo final de la peladora y tajadora de papa.



IV. CONCLUSIONES

Se desarrolló una metodología de diseño que permitió tomar la información existente, las restricciones dadas al diseño y conjugar esta información de forma que se obtuvo un prototipo que produjo los resultados esperados.

La restricción de espacio a ocupar por parte de la máquina, condujo a una revisión muy exhaustiva de la literatura relacionada, lo que permitió encontrar alternativas de pelado y tajado ajustadas a las condiciones del proyecto, pero que no se adecuaban a la restricción de espacio establecido, obligando a una integración como la obtenida en este proyecto.

La implementación de un sistema de control al proceso de pelado y corte de papa, permite supervisar el proceso en la parte relativa a la productividad sin entrar en contacto con la materia prima en proceso, generándose un alto grado de higiene.

El uso de PLC, permitió el seguimiento de una secuencia organizada y optimizada en el tiempo de tal manera que se lograra la productividad establecida. Además, permite la escalabilidad del proceso, logrando la integración de otras etapas de proceso, como pueden ser freído, dosificado y empacado de papas.

REFERENCIAS

- [1] E. Edward, «Agricultura con Valor Agregado. Es lo correcto para mí?», UF, IFAS Extension, University of Florida, p. 3, 2015.
- [2] P. A. M. B. J. K. J. E. P. Cantillo Bertel D, «Análisis del comportamiento de la producción y exportación de papa en Colombia entre el periodo de 2008-2014», Incuestionable, pp. 22-30, 2014.
- [3] Fedepapa, «Oportunidades ante posibles tratados de comercio con países de Asia», papa, pp. 42-44, 2013.
- [4] M. d. A. y. d. Rural, Observatorio Agroacadenas Observatorio 2005, Bogotá: Mundo 3D, 2005.
- [5] L. L. A. M. J. T. Héctor Esparza, Equipo Cortador y Freidor de Papas Automatizado, México D.F, 2008.
- [6] A. M. Mairicio Iza, «diseño y construcción de una máquina dosificadora y empacadora controlada por PLC para la línea de producción de snacks de la empresa ECUAMEX S.A.,» p. 13, 2013.
- [7] J. C. V. RINCÓN, ELABORACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA EMPACADORA INDUSTRIAL A ESCALA, BUCARAMANGA, 2009.
- [8] Seidel Ch., Díaz J., Morales L., Ciendua L., Patiño A. y Montoya J., «Design and implementation of a machine for the production of potato chips,» IEEE Explore, p. 9, 24 Octubre 2013.
- [9] J. Walter, W. M y W. Schadel, «Journal Of Food Science,» 1 7 1982. [En línea]. Available: <http://www.ncsu.edu/foodscience/USDAARS/Acrobatpubs/S31-60/S56.pdf>. [Último acceso: 15 7 2015].
- [10] A. Özlem, B. Levent y A. Nevzat, «Effect of Peeling methods on quality of carrots,» de Ankara University, Turkey, 2009.
- [11] F. L., Pelado Cáustico de Yuca, United States: Proquest, 2009.
- [12] R. Alain-Claude, Reología y análisis de la textura de los alimentos, Zaragoza: Acribia, 2004.
- [13] N. I, S. F. y C. P, Practical Food Rheology An Interpretive Approach, New Delhi: Wiley Blackwell, 2011.