



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de
Ingeniería Eléctrica

**Implementación del accionamiento de
velocidad variable (VSP) para optimizar la
productividad de la planta de lavado de
zanahoria Ace EIRL de 20 tn/h de capacidad
en San Miguel de Pincha-Chupaca**

Percy Navarro Rojas

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Ing. Cesar Chilet León

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento sincero al Señor Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Continental.

Al Ing. Ricardo Salcedo Zárate por su valioso aporte al desarrollo de las Ciencias de Ingeniería y su constante preocupación para motivarnos en el desarrollo de la investigación científica y engrandecimiento de la Universidad.

Al asesor, Ing. César Chilet León por sus acertadas sugerencias y orientaciones en el campo metodológico de la Ingeniería Eléctrica, quien con su destreza y habilidades nos conduce por el camino exitoso de la investigación.

DEDICATORIA

Este proyecto, dedico al personal docente de mi querida Facultad, por las sabias enseñanzas que me han brindado, también a todo su personal administrativo. Este trabajo es mensajero de sinceros agradecimientos a todas las personas que me ayudaron a que este proyecto se realice.

ÍNDICE

PORTADA	I
ASESOR.....	II
AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE TABLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE ANEXOS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN.....	XIII
CAPÍTULO I.....	11
PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA.....	11
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1.1. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	11
1.2. OBJETIVOS	12
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	13
1.3.1. Justificación.....	13
1.3.2. Importancia.....	13
CAPÍTULO II.....	14
2. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	14
2.2. BASES TEÓRICAS.....	20
2.2.1. Estudio de campo en la planta y descripción del lavado de zanahorias.....	20
2.2.2. Descripción y funcionamiento de la planta de lavado de zanahoria ACE	
EIRL	25

2.2.3.	Descripción de algunos tipos de máquinas lavadoras de zanahorias ACE EIRL.	30
2.2.4.	Diseño del sistema de lavado de zanahorias en la planta ACE EIRL.....	31
2.2.5.	Sistema de accionamiento y control con VSD	40
2.2.6.	Productividad.....	49
2.3.	DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS	51
CAPÍTULO III.....		52
3.1.	HIPÓTESIS	52
3.1.1.	Hipótesis general.....	52
3.1.2.	Hipótesis específicas.....	52
3.2.	VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN	52
3.2.1.	Variables	52
3.2.2.	OPERACIONALIZACIÓN	52
CAPÍTULO IV		53
4.	METODOLOGÍA.....	53
4.1.	MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	53
4.1.1.	Método de investigación.....	53
4.1.2.	Tipo de investigación	54
4.1.3.	Diseño de la investigación.....	54
4.1.4.	Población y muestra.....	54
4.1.5.	Técnicas de recolección de datos.....	55
4.2.	ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	56
4.2.1.	Presupuesto.....	56
4.2.2.	Calculo del van y el TIR	57
CAPÍTULO V		59
5.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL	59
5.2.	ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL 2014	59
5.3.	CONSUMO DE ENERGÍA EN KW-H FACTURADO EN EL 2014	60
5.5.	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AÑO 2014 VS LA ESTIMACIÓN DEL GASTO POR USO DE COMBUSTIBLES	61
5.6.	COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA ENTRE SISTEMA DE LAVADO MANUAL, SISTEMA DE LAVADO CON MOTORES DIÉSEL Y SISTEMA CON ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE VSD	62

CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXOS.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Producción promedio de la zanahoria – Junín.....	25
Tabla 2. Especificaciones técnicas.	42
Tabla 3. Entrada y salida del VSD.	48
Tabla 4. Técnica e Instrumento para observación de datos.....	56
Tabla 5. Presupuesto de implementación del VSD.....	57
Tabla 6. Análisis del VAN y TIR.	58
Tabla 7. Tiempo de Operación del sistema de lavado.....	59
Tabla 8. Costos del consumo de energía estimado anual para el año 2014.	60
Tabla 9. Consumos de electricidad facturados en el año 2014.	60
Tabla 10. Estimación de gastos por combustible en el año 2014.....	61
Tabla 11. Cuadro comparativo de costos por consumo de combustibles entre tecnología de motores eléctricos y motores diésel.	62
Tabla 12. Cuadro de comparación técnica económica entre diferentes sistemas de lavado de zanahorias.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zanahoria ensacada para lavar.	20
Figura 2. Zanahoria almacenada en el tendal.	23
Figura 3. Zanahoria lavada y empacada.	24
Figura 4. Captación de agua para la cisterna.	26
Figura 5. Cisterna subterránea.	26
Figura 6. Conducción de zona de remojo a Cilindros.	27
Figura 7. Motor Toshiba – 2HP.	28
Figura 8. Corriente vs velocidad.	28
Figura 9. Cilindros parte interna.	29
Figura 10. Cilindros accionados por el motor.	29
Figura 11. Tendales – tramo final.	30
Figura 12. Diseño del sistema de lavado de PNR.	32
Figura 13. Diagrama de bloques de un motor eléctrico.	33
Figura 14. Diagrama de bloques de un sistema hidráulico.	33
Figura 15. Distribución de carga sobre la pared.	34
Figura 16. Sustitución empotramiento y soportes.	34
Figura 17. Distribución de carga sobre la pared.	35
Figura 18. Sustitución empotramiento.	36
Figura 19. Diagrama de bloques.	42
Figura 20. Instalación de equipo.	44
Figura 21. Variador de frecuencia y motor de inducción.	45
Figura 22. Variador de velocidad - VSD.	46
Figura 23. Ahorro de energía.	47

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia de la tesis	63
Anexo 2. Planta general de lavado de zanahorias.....	64
Anexo 3. Poza de almacenamiento de agua.....	65
Anexo 4. Faja de llenado al tanque.....	65
Anexo 5. Canales de distribución.	66
Anexo 6. Zona de remojo	66
Anexo 7. Cilindro de lavado	67
Anexo 8. Canal de unión.....	67
Anexo 9. Zona de embarque.....	68
Anexo 10. Tablero de control	68
Anexo 11. Circuitos de corriente alterna.	69

RESUMEN

En el Valle del Mantaro en la provincia de Chupaca, la zanahoria es la hortaliza de mayor producción que se comercializa en distintos mercados a nivel nacional, en la tesis se diseñó una planta de zanahoria de 20 T/m. automatizado, eléctrico e hidráulico con un sistema de control variador de velocidad (VSD).

Es un accionamiento eléctrico en un sistema capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica en movimiento manteniendo los controles del proceso de conversión, este normalmente se utiliza para el accionamiento de máquinas en equipos que requieren movimiento controlado como velocidad de rotación de eje de una máquina de alto torque. Su accionamiento eléctrico moderno está conformado normalmente por los siguientes elementos:

- Motor o convertidor de energía eléctrica en energía mecánica.
- Dispositivo electrónico: comando y controladores de potencia eléctrica que entrega el motor.
- Transmisión mecánica: adaptar a la velocidad de la inercia entre el motor, el eje y la carga.

Palabras Claves; Accionamiento de velocidad variable, Productividad de la planta, Lavado de zanahoria.

ABSTRACT

In the Mantaro Valley in the province of Chupaca, the carrot is the highest production vegetable sold in different markets nationwide, in the thesis a carrot plant of 20 T / m was designed. automated, electric and hydraulic with a variable speed control system (VSD). The carrot is one of the most demanded vegetables and washing is one of the most important steps for further marketing.

It is an electrical drive in a system capable of converting electrical energy into mechanical energy in motion while maintaining the controls of the conversion process, this is normally used for the operation of machines in equipment that requires controlled movement such as shaft rotation speed of a machine. high torque. Its modern electric drive is usually made up of the following elements:

- Motor or electric power converter in mechanical energy.
- Electronic device: electric power command and controllers that deliver the motor.
- Mechanical transmission: adapt to the speed of inertia between the motor, the shaft and the load.

Keywords: Variable speed drive, Plant productivity, Carrot washing.

INTRODUCCIÓN

El presente informe de investigación titulado: IMPLEMENTACIÓN DEL ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE (VSD) PARA OPTIMIZAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA ACE EIRL DE 20TN DE CAPACIDAD EN SAN MIGUEL DE PINCHA – CHUPACA, se elaboró con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Electricista, según las normas vigentes emanadas por la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Continental.

La creación e implementación de sistemas de alta tecnología de punta y la automatización en procesos de la industria, en proyectos de transferencia de sistemas de automatización, ayude a que las empresas pueden desarrollar sus procesos con mayor facilidad. También ayuda a maximizar su producción y sea más fácil. Implementar un accionamiento eléctrico capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica en movimiento manteniendo los controles del proceso de conversión que normalmente se utiliza para el accionamiento de máquinas y equipos que requieren movimiento controlado como velocidad de rotación del eje del sistema del lavado de zanahorias.

Un accionamiento eléctrico moderno está conformado por los siguientes elementos

- Motor: convertidor de energía eléctrica en energía mecánica.
- Dispositivo electrónico: comandos o controladores de potencia eléctrica que entrega al motor.
- Transmisión mecánica: adaptar de la velocidad de la inercia entre el motor y la carga.

La tesis se ha organizado en 4 capítulos:

CAPÍTULO I. Trata del planteamiento del problema, formulación del problema, problema general, específicos; objetivo general, específicos; justificación e importancia de la investigación.

CAPÍTULO II. Se presentan antecedentes del estudio, el marco teórico, bases teóricas, aspectos generales del área de estudio, se define los términos básicos.

CAPÍTULO III. Se presenta la hipótesis general y específica; las variables y operacionalización.

CAPÍTULO IV. Se expone la metodología de la investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, método de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos: técnicas, instrumentos y criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.

CAPÍTULO IV. Se presenta el análisis e interpretación de resultados, análisis de datos, prueba de hipótesis y discusión de resultados.

Finalmente se dan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El lavado de la zanahoria se realiza en las acequias a orillas del río, se tiene que pisar con botas de jebe, este proceso demanda mucho tiempo; la investigación tiene la finalidad de disminuir el tiempo de lavado y mejorar la presentación del producto, en mayor cantidad de lavado, a menor tiempo y a bajo costo.

La investigación pretende ayudar al agricultor del Valle del Mantaro a disminuir el tiempo del proceso de lavado, utilizando tecnología y sistemas automáticos y así puedan ahorrar dinero y energía eléctrica. El manejo y las técnicas para el propósito es de suma importancia en el ejercicio del ingeniero electricista, quien propone la implementación de un accionamiento de velocidad variable en una planta de lavado de zanahoria emplea un sistema eléctrico e hidráulico.

Por consiguiente, en relación a lo expuesto anteriormente surge el siguiente problema: ¿De qué manera la implementación de un sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) permitirá mejorar la productividad en la planta de lavado de zanahoria ACE EIRL en San Miguel de Pincha - Chupaca?

1.1.1. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cómo afecta el uso de equipos eléctrico-hidráulico como el accionamiento de velocidad variable (VSD) a un sistema de lavado de zanahoria ACE EIRL en San Miguel de Pincha Chupaca?
- ¿Qué ventajas ofrece la instalación de un sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) dentro planta de lavado de zanahoria ACE EIRL en San Miguel de Pincha Chupaca?

- ¿Cómo influye la implementación de un sistema de accionamiento de velocidad variable – VSD como una forma de ahorro energético, utilizando motores de Corriente Alterna?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema de proceso de lavado de zanahorias ACE EIRL en el barrio de Pincha Provincia de Chupaca mediante un sistema de accionamiento de velocidad variable – VSD.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar de qué manera el uso de equipos eléctrico – hidráulicos como el sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) afecta al sistema de lavado de zanahorias ACE EIRL en San Miguel de Pincha Chupaca.
- Identificar las ventajas que ofrece la instalación de un sistema de accionamiento de velocidad variable - VSD en la planta de lavado de zanahorias ACE EIRL en San Miguel de Pincha Chupaca.
- Analizar de qué manera influye la implementación de un sistema de accionamiento de velocidad variable – VSD como una forma de ahorro energético, utilizando motores de Corriente Alterna.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.3.1. JUSTIFICACIÓN

A. Justificación teórica

La información recopilada y procesada servirá para el modelamiento de la carga que representa la cantidad de zanahorias lavadas en un tiempo corto, pudiendo así seleccionar el motor que estará acompañado con un accionamiento de velocidad variable adecuado para dicha carga.

Al mismo tiempo servirá de sustento para esta y otras investigaciones similares, ya que enriquecerá el marco teórico y/o cuerpo de conocimientos que existe sobre el tema en mención.

B. Justificación metodológica

Es evidente que la aplicación de los instrumentos de investigación va a servir para diseñar la planta de lavado de zanahorias, con lo cual puede ser extensivo en la capacidad de lavado al día teniendo un fuerte cambio de 160 TM en comparación a 7 TM de lavado manualmente, logrando obtener así una eficiencia de estos lavaderos de zanahoria en la productividad agronómica.

1.3.2. IMPORTANCIA

El desarrollo de la investigación técnico - productiva, tiene importancia académica, debido al estudio agrónomo básico de la zanahoria; en el estudio de terreno se determina la cantidad, diseño, análisis y selección de alternativas a partir de propuestas escogiendo la mejor alternativa económica en la construcción y montaje del lavadero de zanahoria ACE EIRL en San Miguel de Pincha Chupaca; optimizando el sistema mecánico que se traducirá en la mejora del rendimiento, el incremento de la producción, la reducción de personal y el ahorro energético, mostrando los resultados obtenidos que contribuirán, de una u otra manera, a servir de antecedente para otros investigadores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Según Vargas (2012): “Conversión a auto eléctrico basada en un accionamiento trifásico: diseño, modelación e implementación”. Año 2012. Facultad de Ciencias Físicas y Matemática, Ingeniería Eléctrica – Chile.

El autor hace mención sobre la conversión de un vehículo de combustión interna a eléctrico en sus etapas de diseño, modelación e implementación, el que se encontrará disponible para realizar estudios sobre los impactos que tendrá la movilidad eléctrica en el transporte comercial. Junto con la conversión a auto eléctrico, también incluye el desarrollo de un controlador de motor de inducción utilizando un inversor de potencia comercial, uno de los módulos de mayor valor agregado en la integración de los distintos sistemas que conforman un vehículo eléctrico. Se realiza un estudio del estado del arte de los distintos sistemas que conforman un auto eléctrico de accionamiento trifásico. Esto sirve de base para la elección de los equipos necesarios para realizar una conversión que mantenga las características de un auto convencional.

El sistema de control del motor eléctrico se realiza usando un módulo de potencia comercial para el cual se diseñan y fabrican los circuitos de control. También se programan dos estrategias de control. La primera de ellas corresponde al control escalar o V/Hz que se implementa y valida en el laboratorio con éxito. El segundo esquema corresponde al control por orientación de flujo, que reduce los peaks de corriente y entrega una mejor respuesta transitoria, presenta problemas en su implementación debido a las mediciones de corriente.

Los resultados de estas pruebas son satisfactorios al mantener las características de torque de la máquina, con un error menor al 5 % y el seguimiento del control en

vacío, tiene un error menor al 1 % con respecto a las referencias de velocidad entregadas.

Las conclusiones a las que arribó el autor son:

- Se realizó una revisión bibliográfica en la que se expusieron las distintas tecnologías que se ocupan en la fabricación de autos eléctricos. Se describen también los principales métodos de control usados en el control de motores de inducción. También se caracterizaron y detallaron los equipos necesarios para llevar a cabo esto. También se desarrolló el control del motor de inducción usando un módulo de potencia comercial y un procesador DSP.
- Los equipos especificados para la conversión responden a la necesidad de fabricar un auto eléctrico capaz de tener un desempeño similar al de un vehículo convencional. El motor elegido corresponde a un motor de inducción trifásico Siemens de 250V, 42HP nominales y capaz de alcanzar peaks de 90 HP. Otra característica importante es su bajo peso, solo 77 kg., que corresponde aproximadamente a la mitad del peso de un motor de combustión interna con similares características de torque y potencia.
- Para lograr una autonomía de 70 km sin aumentar en forma considerable el peso del vehículo, se diseñó un banco de baterías de Ion Litio de química LiFeYPO₄ marca Thundersky. Su densidad energética es sobre los 90W h/kg por lo que se tiene un banco de 19.8kW h que pesa 250kg. También es importante notar que, debido a las características propias de este tipo de baterías, el banco es capaz de entregar una corriente peak que sobrepasa con creces la demanda del sistema de tracción.

Así mismo Cárate (2011). Tesis: “Diseño y construcción de un módulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla trifásicos para el laboratorio de control industrial”. Año 2011. Facultad de Ingeniería de Mantenimiento de Ecuador.

El autor ha diseñado y construido un módulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asincrónicos jaula de ardilla trifásica para el laboratorio de Control Industrial, que permite la variación de velocidad de los motores eléctricos. Con este equipo se podrán realizar las respectivas prácticas y pruebas de control de velocidad, que instruirá a los estudiantes de forma técnica,

desarrollando sus destrezas intelectuales y así ser aplicadas en el campo profesional.

Con la implementación de este módulo se estudia a los variadores de frecuencia su composición en sus diferentes etapas llevando a cabo la variación de la frecuencia y por tal motivo su velocidad.

Sus conclusiones a las que arribó el autor son:

- Se conoció que los motores MAJA 3F, dan la posibilidad de variar su velocidad cambiando la frecuencia de alimentación.
- Se determinó que el método más eficaz para controlar la velocidad de un motor eléctrico es por medio de un variador electrónico de frecuencia. La investigación realizada a los variadores SINAMICS G110, permitió entender su composición, estructura y funcionamiento, en sus diferentes etapas para llevar a cabo la variación de la frecuencia y su velocidad.
- Se conoció las distintas formas de puestas en marcha del variador conociendo cada uno de sus parámetros que existen en su programación, construyendo un módulo de micro controlador, para el control del variador de forma digital opcional para arranque, paro e inversión de sentido de giro del motor, mostrando la lectura de giro en la pantalla del LCD.

Por otra parte, Pérez (2009): “El Ahorro De Energía Con Un Variador De Frecuencia Y Las Diferentes Aplicaciones, En La Industria Con Equipo Mitsubishi”. Año 2009. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería Eléctrica - Guatemala.

El autor hace un análisis de los variadores son convertidores de energía encargados de modular la energía que recibe el motor. Otra definición sería, los variadores de velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad son dispositivos que permiten variar la velocidad y el acople de los motores asíncronos trifásicos, convirtiendo las magnitudes fijas de frecuencia y tensión de red en magnitudes variables.

Se utilizan estos equipos cuando las necesidades de la aplicación sean:

- Dominio de torque y velocidad

- Regulación sin golpes mecánicos
- Movimientos complejos
- Mecánica delicada

El control de los motores eléctricos mediante conjuntos de conmutaciones es una solución bien adaptada para el accionamiento de una amplia gama de máquinas. No obstante, conlleva limitaciones que pueden resultar incómodas en ciertas aplicaciones.

Sus conclusiones a las que arribó el autor son:

- Se puede plantear que la aplicación de los variadores de velocidad en el control de motores eléctricos, cómo en sistemas de bombeo y ventilación (entre otros), a pesar de su inversión inicial (que se amortiza en un breve tiempo a partir de ahorro que introduce), logra una mayor eficiencia y racionalidad en la operación del sistema, debido a los niveles de ahorro de energía eléctrica que se obtienen.
- Tenemos también que resaltar que el ahorro energético se podrá hacer si los motores están sobredimensionados, si el motor trabaja mucho tiempo en vacío (cómo en compresores), entre otros. El variador generara el ahorro energético si se le baja la velocidad al motor.
- Las ventajas que daría el variador de frecuencia en caso no se pueda bajar la velocidad al motor, sería la protección al motor, cambio de velocidad en funcionamiento (para evitar cambios mecánicos), autodiagnóstico (en el motor o efectos externos), arranque y paro controlado.

Al igual que Saavedra (2007). Tesis. “Control de Presión de agua mediante variador de frecuencia y electrobomba”. Departamento de Electricidad. Facultad de Ingeniería Eléctrica, universidad de Magallanes - Chile.

En este trabajo presenta una estrategia de control de presión para un sistema de suministro de agua o hidro sistema, variando la velocidad de giro de una motobomba. El sistema está conformado por una motobomba Jacuzzi, un vaso de expansión Zilmet, un PLC Modicon E984-265, un variador de velocidad Eurotherm y un sensor de presión Gems. El error en la presión del sistema se

procesa con un controlador tipo PI, que genera la referencia de velocidad para el variador de frecuencia.

Debido a la complejidad del sistema, se optó por un método empírico, el método de la curva de reacción de Cohen y Coon, para el diseño del controlador. La no linealidad del sistema requirió la implementación de un controlador con ganancia variable o "Gain Scheduling". Mediante ensayos, se determinó que con ocho ganancias se obtenía un control satisfactorio en el rango de operación.

La verificación experimental permitió corroborar la estrategia de control planteada para regular la presión del sistema bajo estudio, observándose una buena respuesta dinámica tanto para cambios en la referencia de tipo escalón como para rechazo de perturbaciones.

Las conclusiones del autor son:

- Se implementó una estrategia de control para la presión de un hidrosistema, variando la velocidad una motobomba. Se utilizó un controlador PI de ganancia variable para ajustar la velocidad de rotación de la bomba, alimentada a través de un variador de velocidad. Debido a la complejidad y característica no lineal del sistema, el diseño del controlador se realizó utilizando el método empírico de la curva de reacción de Cohen y Coon.
- Se desarrolló una interfaz hombre-máquina para monitoreo y cambio de set point del sistema, usando el software "Lookout", que permite leer y escribir datos en el PLC desde un computador personal con la ventaja que permite desarrollar ventanas más amigables y acerca el control a usuarios sin experiencia en el uso y programación de PLC.
- Es importante destacar que el software Concept utilizado resultó una herramienta muy útil para programar PLC, pero sus capacidades para monitorear son limitadas, y si bien resulta útil para algunas tareas, para corregir las ganancias y analizar la respuesta dinámica del sistema es necesario una herramienta que despliegue de manera gráfica lo que está ocurriendo a cada instante en la planta.

Por lo anterior, la utilización del Lookout permitió desarrollar un diagrama que ilustraba el sistema completo y que hacía entendible el proceso para cualquier usuario, permitiéndole además realizar cambios de referencia y ver si el sistema alcanzaba el valor de presión deseado.

De acuerdo a Mohamed (2002): “Estudio y realización del control directo del par (DTC) para accionamientos de motores de inducción con inversores de diferentes topologías”. Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica de Catalunya.

El objetivo principal de la tesis es la aplicación del método de control directo del par para un motor de inducción utilizando inversores de diferentes estructuras que parecen ofrecer algunas ventajas, bajo ciertas condiciones, y que aún no han sido utilizados para el desarrollo de esta técnica de control.

La idea y el tema de la tesis surgieron de la gran importancia del método control directo del par (DTC), que últimamente se planteó como estrategia alternativa del control vectorial debido a ciertas ventajas frente a este último. Por este motivo, y animados por el éxito logrado por el DTC, se quiere contribuir a un aumento del mismo utilizando varias topologías de inversores que amplíen o extiendan el área de aplicación de los accionamientos basados en el mismo en un rango que vaya desde bajas potencias hasta las potencias medianas.

Aunque los objetivos principales de aplicar el DTC son obtener un accionamiento de comportamiento dinámico alto y buen funcionamiento durante el régimen estático, no obstante, los requisitos de funcionamiento en el rango de las bajas potencias no son los mismos que aquellos de potencias medianas. En el rango de las bajas potencias, el coste total del conjunto del accionamiento (inversor - motor - circuitos de control) es un factor muy importante. Especialmente con las normas europeas que obligan a los fabricantes de inversores a mejorar la utilización de la red, por ejemplo, limitando la tasa de distorsión armónica, y mejorando el factor de potencia, con lo cual se sustituyen el rectificador pasivo (diodos) por un rectificador activo (transistores), lo que aumenta el coste del accionamiento.

- En la tesis, se propone utilizar un inversor de tipo cuasi- resonante que tiene las ventajas de inversor resonante y las ventajas del inversor de conmutación dura. En tal caso, se conmutan los interruptores bajo la condición de cero tensiones (ZVS) bajando al mínimo las pérdidas de conmutación lo que finalmente permite aumentar la frecuencia de conmutación hasta valores elevados del orden de 10 kHz. Además, la utilización de este tipo de inversor ofrece algunas ventajas como: Limitar la dv/dt de la tensión que alimenta el motor, por tanto, las corrientes de fugas parásitas se disminuyen, reduciendo

la degradación o el envejecimiento de los aislantes de los devanados y de los cojinetes de la máquina, prolongando su vida útil.

- Bajar el nivel de las interferencias electrohidráulico.
- Reducir el tamaño de los radiadores de calor necesarios.

Se ha diseñado y construido un inversor cuasi-resonante con los correspondientes circuitos de control para aplicar el DTC a los accionamientos de baja potencia. Además, se han desarrollado dos circuitos de resonancia. Los resultados obtenidos por simulación y los ensayos experimentales han probado el buen comportamiento de estos circuitos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. ESTUDIO DE CAMPO EN LA PLANTA Y DESCRIPCIÓN DEL LAVADO DE ZANAHORIAS.

A. Lavado Manual

Entrevistando a un agricultor especialista en cultivo y productor de zanahorias en el Valle del Mantaro – ubicado en el distrito de Huayao de Chupaca, nos explica que para la cosecha de las zanahorias primeramente se tiene que cortar las matas, luego, los varones especialistas sacan con picos y las mujeres recogen y llenan en sacos en el cual permanecen entre 5 a 6 horas antes de su proceso de lavado.

Figura 1. Zanahoria ensacada para lavar.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Después de cultivar la zanahoria esta es transportada en camión hacia el lugar donde está ubicado el lavadero de zanahorias ACE EIRL:

a. **Procesos:**

Las zanahorias se lavan, seleccionan y acondicionan a orillas del río, este procedimiento, se considera antihigiénico debido a que el producto se lava en el río que está contaminado.

b. **El proceso consta de las siguientes fases:**

- **Remojo:** se realiza en canales o pozas de remojo separados por piedras por las cuales fluye el agua, este proceso tiene una duración de 2 horas aproximadas.
- **Lavado:** Luego del remojo, se efectúa el lavado por el personal contratado entre varones y mujeres quienes provistos de botas pisan sobre unas mallas el producto por un espacio de 2 a 3 horas. El lavado se realiza para despojar del resto de tierra a las zanahorias. El mayor inconveniente en este proceso es que existe el riesgo de dañar las zanahorias al ser pisadas.
- **Selección:** en esta fase, una vez limpias, las zanahorias son trasladadas a un lugar seco para dar inicio con la selección por 2 horas aproximadamente.

Las mujeres se encargan de seleccionar y los varones son los encargados de llenar a los sacos y ordenar, la mayoría de los agricultores cosechan la zanahoria un día y lavan al día siguiente, es decir, la zanahoria permanece de 12 a 24 horas entre cosecha y lavado, tiempo en que la dureza de la tierra e impurezas aumenta y la zanahoria se marchita.

B. Lavado sistematizado

a. **Estado de la planta**

La planta de lavado de zanahorias ACE EIRL se ubica en San Miguel de Pincha distrito de Chupaca, provincia de Chupaca, región de Junín.

El estado de la planta muestra el panorama general y principal de todo el proceso de lavado, se aprecia la entrada que hace referencia al inicio del sistema de control para poder empezar a trabajar, llegando así hacia los tendales. Esta subrutina se

inicia por un proceso de remojo, direccionamiento a la zona de tendal y la subrutina del control de nivel de la poza de almacenamiento

b. Proceso de remojo

Consiste en juntar agua en la poza para vacien los sacos y el agua evita que se rompan las zanahorias, este proceso de remojo ayuda que el lavado sea en menor tiempo y la zanahoria mejora su presentación, asimismo mencionamos los tiempos referenciales de proceso que debe tener las compuertas de entrada y salida de las zanahorias

- Remojo de la zanahoria: 15 min.
- Dejar verter agua en los cilindros: 5 min
- Pasar las zanahorias al cilindro: 10 min.

c. Proceso de lavado

El lavado se realiza en el tanque automático por un periodo de 30 minutos, cada 7 minutos se hace un proceso de enjuague por 3 minutos y cuando ya el agua y la zanahoria tienen un color anaranjado lacro, es que se encuentra listo para evacuar la compuerta de salida y se debe abrir.

- Lavado de zanahorias: 7 min.
- Intercambio de Agua: 3 min.
- Repetición de lavado en el cilindro: 3 veces

d. Direccionamiento a la zona de tendal

En este sistema la compuerta se abre del tanque de lavado automático para que por el canal se trasladen hacia la compuerta del tendal N° 1 luego de evacuar toda la zanahoria del tanque de lavado automático la compuerta de salida se cierra, para así dar inicio del segundo proceso de lavado, se cierra la compuerta de salida y se abre la compuerta de ingreso

de agua, luego se tiene que abrir la compuerta de ingreso de zanahorias al tanque de lavado automático.

El paso de las zanahorias a la zona de tendal es de 5 min. Una vez que se tiene la cantidad de zanahoria lavada, se agrupa en el tendal como muestra la Figura 2. El mismo personal que realizó la descarga del producto se encarga del seleccionado.

Figura 2. Zanahoria almacenada en el tendal.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Luego del lavado y evacuado a la zona del tendal la zanahoria se encuentra lista para ser seleccionada y embalada en sacos y colocados en filas en la zona de embarque, listo para cargarse en los camiones para su venta.

Figura 3. Zanahoria lavada y empacada.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Tiempo de Operación del Sistema de Lavado aproximado debido a la variación de algunos procesos se aproxima a una hora por lavado, realizándose 8 lavados por día considerando las 8 horas de jornada de trabajo.

C. Variedad

En la región Junín se registra una gran variedad de semillas de zanahorias que los agricultores siembran según el tipo de terreno y la tierra sea honda o cascajal. En Chupaca en la zona de Huayao, la tierra es especial para la zanahoria por ser tierra colorada y honda, allí la mayoría siembran semillas: VilMorín, Bonanza, Niagara entre otros. La producción promedio de esta hortaliza se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Producción promedio de la zanahoria – Junín.

PRODUCCIÓN PROMEDIO DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS: 2012-2015			
	Junín (En miles de T.M.)	Nacional (En miles de T.M.)	Participación (%)
Apio	1,7	31,1	5,4
Arveja Grano Verde	29,8	106,7	28,0
Betarraga	2,9	32,9	9,0
Cacao	6,1	51,4	11,8
Café	77,0	298,9	25,8
Cebada Grano	26,9	210,4	12,8
Col	5,8	38,1	15,3
Espinaca	10,9	24,9	43,7
Haba Grano Verde	17,0	63,8	26,6
Lechuga	7,8	50,9	15,3
Maíz Amiláceo	17,4	264,2	6,6
Maíz Choclo	79,7	379,3	21,0
Mandarina	39,4	246,1	16,0
Mashua	5,9	30,0	19,8
Naranja	219,0	412,4	53,1
Oca	5,5	92,3	6,0
Olluco	17,9	167,0	10,7
Palta	30,7	216,1	14,2
Papa	390,9	4 116,5	9,5
Papaya	7,9	145,1	5,5
Piña	270,0	380,6	70,9
Plátano	184,0	1 947,7	9,4
Trigo	14,7	219,9	6,7
Yuca	64,0	1 159,1	5,5
Zanahoria	50,9	181,8	28,0

Fuente: INEI, 2016.

2.2.2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA ACE EIRL

En la planta de lavado de zanahorias de Tn/hr se desarrollan varios procesos como el remojo para lo cual se tiene que almacenar agua y bombear con una electrobomba sumergible de alto caudal, para poder llenar de agua a las pozas y al tanque de lavado automático luego se distribuye las zanahorias al canal para que conduzcan a los tendales de selección y zonas de embarque.

A. Cisterna subterránea

Para el lavado de zanahorias se utiliza grandes cantidades de agua y para ello se tiene que almacenar en un tanque cisterna de 700 m³ el cual se emplea para el remojo, lavado y evacuación a la zona de selección, generalmente el agua es captada del río Cunas, la cisterna

es para acelerar el lavado y aumentar la demanda de lavado de zanahorias también ayuda a un buen enjuague mediante electrobombas.

Figura 4. Captación de agua para la cisterna.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 5. Cisterna subterránea.



Fuente: elaboración propia, 2016.

B. Pozas de remojo

La planta tiene 7 pozas, 6 de ellas sirven de remojo de enjuague de tanque de lavado automático de zanahorias. Cada una tiene las dimensiones de 9 m. de largo por 3 m. de ancho y 1.7 de altura su base tiene una pendiente de 25°, cada una de ellas y con tipo badén. Están equipados por dos compuertas, una de ingreso de agua y la otra de salida de zanahorias conjuntamente con el agua hacia el tanque de lavado.

Figura 6. Conducción de zona de remojo a Cilindros.



Fuente: elaboración propia, 2016.

C. Cilindro de lavado

La planta cuenta con dos tanques de lavado automático, una de ellas tiene una capacidad de 25 m³, está implementado con un eje de 3m. y paletas especiales para zanahoria fina, el otro tanque tiene una capacidad de 2 m³ y su sistema es de tipo sin fin, este sistema es llamado raspadora; sirve para zanahorias maduras y de mala calidad; ambos tanques están comunicados con las pozas de remojo y la poza de enjuague y tiene un sistema de transporte hacia los dos tanques.

Los cilindros son accionados por dos motores de 10HP controlados por un accionamiento de velocidad variable – VSD que permitirá evaluar el ahorro energético mediante este dispositivo, como también mejorar la productividad del lavado de zanahorias. El tanque de lavado automático tiene un eje de 3m y paletas de acero

negro una bocina de baquelita para soporte del eje, dos motoras de 10 HP / 1200 rpm y una moto reductora de 1/25 de alto torque. Siendo su capacidad de 40.000 kg. F para movimiento de las paletas

MOTOR TOSHIBA.

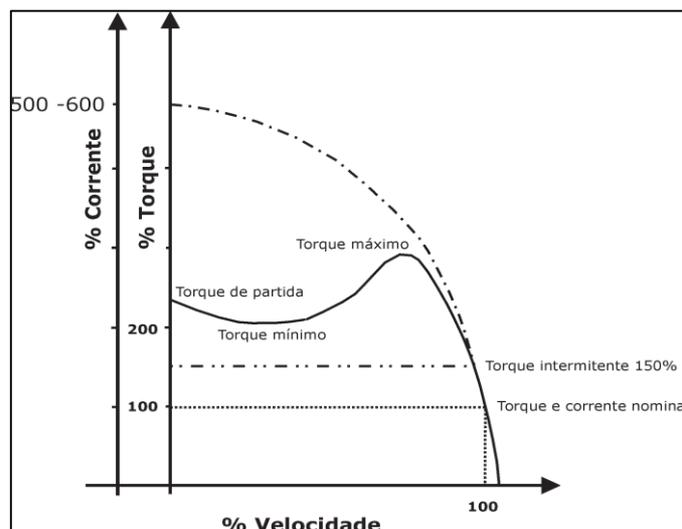
Modelo de Motor : B0102FLF3BMHJ02
Potencia. : 7.460 KW - 10 HP
Rpm. : 1200 rpm - 60 Hz
Eficiencia (%). : 90.2 - Phase 3

Figura 7. Motor Toshiba – 2HP



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 8. Corriente vs velocidad.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 9. Cilindros parte interna.



Fuente: elaboración propia, 2016.

Figura 10. Cilindros accionados por el motor.



Fuente: elaboración propia, 2016.

D. Zona de tendal

La planta cuenta con zonas de selección (tendal), estas están divididas en 15 partes con las dimensiones de 5m por 10m, en cualquiera de los tendales pueden ser ubicadas las zanahorias, así se evita que se mezclen y que cada usuario tenga su espacio para el seleccionado de su carga para después poder encostalar y luego comercializar o vender.

Figura 11. Tendales – tramo final.



Fuente: elaboración propia, 2016.

E. Canal de transporte

Mediante canales se transporta las zanahorias hacia las zonas de selección o (tendales). Estos canales tienen las dimensiones de 70 cm. por 80cm. de altura y cada tendal está equipado con su respectiva compuerta y un amortiguador para evitar que la zanahoria se dañe o rompa.

2.2.3. DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS TIPOS DE MÁQUINAS LAVADORAS DE ZANAHORIAS ACE EIRL.

En la actualidad existe diversidad de máquinas de lavado de zanahorias y todos tienen el mismo principio de lavado, pero se diferencia en el tamaño, la cantidad de lavado, características del motor y sistemas de control automático.

El estudio nos dará a conocer los diferentes sistemas de lavado de zanahorias que se encuentran en el Valle del Mantaro.

A. Máquina MEP

Este sistema de lavado es una máquina agrícola preparada especial para lavar zanahorias y está compuesta por un tanque giratorio con un motor eléctrico monofásico; dentro del tanque giratorio se encuentra la zanahoria y con el movimiento de inicio y final se realiza el lavado

mediante un sistema de bombeo a presión, distribuidos al interior del tanque para que las zanahorias no se queden pegados dentro de la tambora giratoria. Para el lavado perfecto se tiene que regular la compuerta manualmente con la palanca de acero negro.

B. Máquina Romero: (instalación)

Este diseño Romero de lavado de zanahoria también está compuesto por un tanque giratorio por medio de un motor de carro y para regular la velocidad utilizaban la caja de cambio de velocidad y en la parte superior tenía un canal tipo tobogán donde se descarga las zanahorias y por gravedad y un poco de agua, es llevada hacia al interior del tanque de lavado; también tiene un sistema de presión de agua al interior de la tambora para mejorar su lavado y evitar que las zanahorias se queden pegadas y está alimentada por una electrobomba.

C. Máquina Clamahort: (instalación)

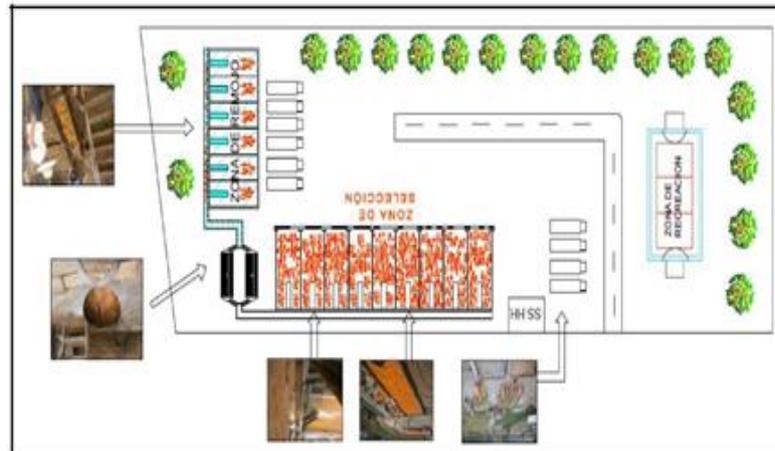
En esta máquina de lavado, las zanahorias entran por la boca del tanque al interior del tambor que se encuentra sumergido a media altura y esta gira en sentido horario y la transmisión se realiza con correas o fajas de nylon conectados a las poleas y estas están conectadas a un moto reductor donde las zanahorias son agitadas dentro del tambor por uñas de goma en forma espiral. Esta hace que las zanahorias se laven al estar sumergidas dentro del agua y luego de un tiempo se procede a abrir las compuertas para así evacuarlas, también se retiene las zanahorias mediante el cierre de la compuerta y así queda dentro de la tambora para mejorar su lavado.

2.2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE LAVADO DE ZANAHORIAS EN LA PLANTA ACE EIRL.

El objetivo principal es investigar un nuevo diseño en el sistema de lavado de zanahorias saliendo de lo convencional entre las distintas máquinas lavadoras pudiendo modificar el sistema tradicional por un sistema automático mejorando en menor tiempo de lavado por horas para satisfacer la necesidad de los agricultores. El usuario podrá identificar componentes, ubicar el proceso de lavado, conocer la descripción básica del

funcionamiento específico de este y su relación con el resto de los sistemas al cual pertenece.

Figura 12. Diseño del sistema de lavado de PNR.



Fuente: elaboración propia, 2016.

A. ¿Qué máquinas o motores se están usando y cuál utiliza VSD?

Se están utilizando variadores de velocidad y motores Toshiba AC.

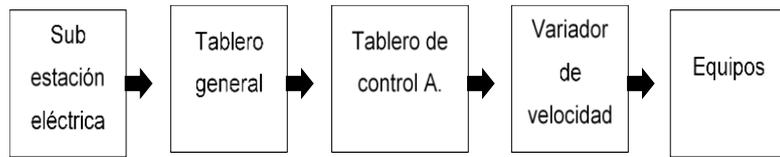
B. Sistemas para el accionamiento

El accionamiento de la planta fue cambiado por un equipo de última tecnología que conlleva también al ahorro de energía eléctrica y ahorro de agua y tiempo de lavado, también se implementará compuertas hidráulicas y para el arranque de motor se utilizará variadores de velocidad con sistemas de control automático.

a. Sistema eléctrico

Está compuesto por una subestación eléctrica de uso exclusivo por un tablero general, tablero de transferencia y un tablero de control automático, que comanda a todo el sistema del lavado de zanahoria como: motores, electrobombas, solenoide y otros equipos, también cuenta con un generador eléctrico y estas entran en funcionamiento en caso de cortes de energía eléctrica mediante un tablero de transferencias automático. Esta ayuda a que la planta de lavado de zanahorias no se interrumpa y así no crea incomodidad a los agricultores.

Figura 13. Diagrama de bloques de un motor eléctrico.

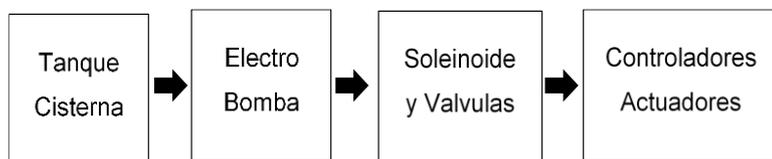


Fuente: elaboración propia, 2016.

b. Sistema hidráulico

Este sistema está compuesto por electrobombas de alto caudal y sistema de presión constante para el enjuague durante el proceso de lavado el cual esta conectados a los solenoides y transmisores de presión, estas se accionan por un tablero de control automático que supervisa todo el sistema hidráulico a la vez que controla las compuertas hidráulicas de entrada y salida de las pozas de remojo y del tanque de lavado automático. Estos equipos actúan eléctricamente y son controlados de abierto y cerrado.

Figura 14. Diagrama de bloques de un sistema hidráulico



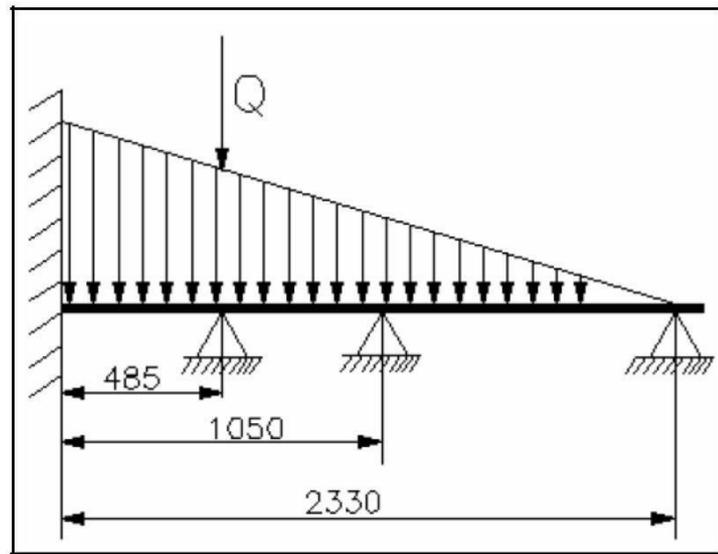
Fuente: Requena J., 2012

C. Cálculo del espesor de las paredes

Para el diseño de estas paredes se realiza una analogía con la cantidad de material que se transportará, se considera que las partes de la unión de todo el recorrido debe de cubrir el soporte y duración para dicho fin, para mayor seguridad se calcula la distribución de carga que soportará los canales de distribución.

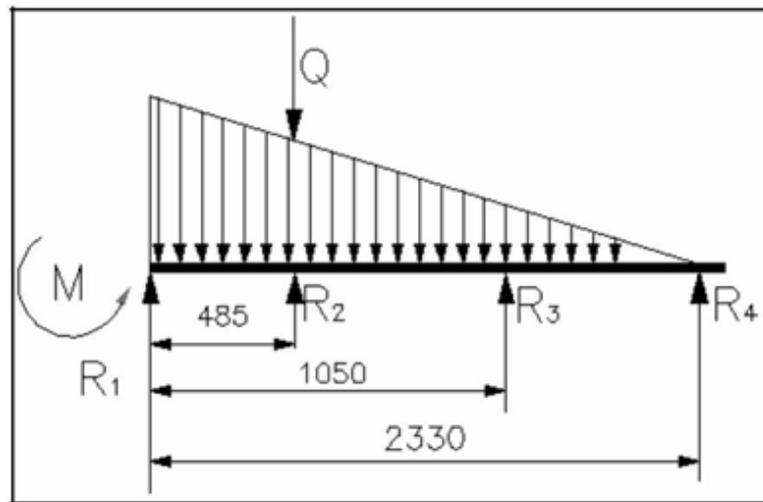
La figura 15 y 16 muestra la distribución de carga y apoyos que existen sobre la pared.

Figura 15. Distribución de carga sobre la pared



Fuente: Guido, 2007.

Figura 16. Sustitución empotramiento y soportes



Fuente: Guido, 2007.

Para realizar el cálculo de las reacciones y momentos máximos que actúan sobre la placa se debe obtener los siguientes datos:

$$V_{Tanque} = \frac{b * h}{2} * a$$

$$\rho_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{V_{H_2O}}$$

Donde:

ρ_{H_2O} → Densidad del Agua

m_{H_2O} → Masa del Agua

V_{H_2O} → Volumen del Agua

Se considera que el volumen óptimo para el lavado de zanahoria en el que se puede verificar posibles atascamientos es

$$V_{Optimo} = \frac{3}{4} V_{Tanque}$$

$$V_{Optimo} = \frac{3}{4} * 1.56 = 1.17 \text{ m}^3$$

Como este volumen óptimo está ocupado por agua, al utilizar la ecuación se tiene:

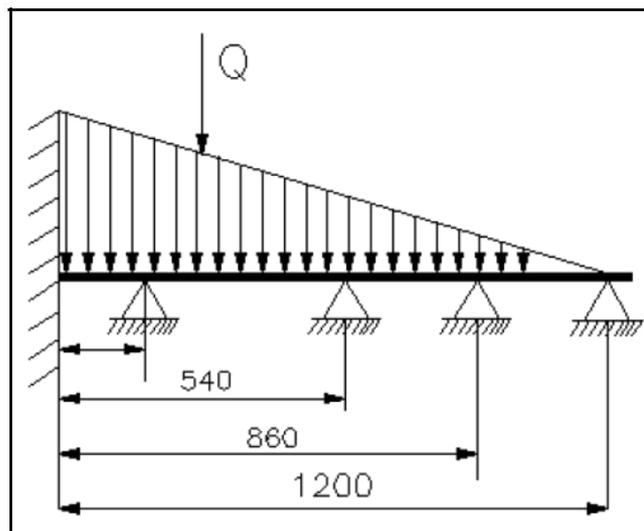
$$m_{H_2O} = 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.17 \text{ m}^3 = 1170 \text{ Kg}$$

Como los **1170 kg** es el peso total, para el análisis de una pared se toma la mitad del peso, entonces **m = 585 kg**.

D. Cálculo del espesor de las paredes paralelas

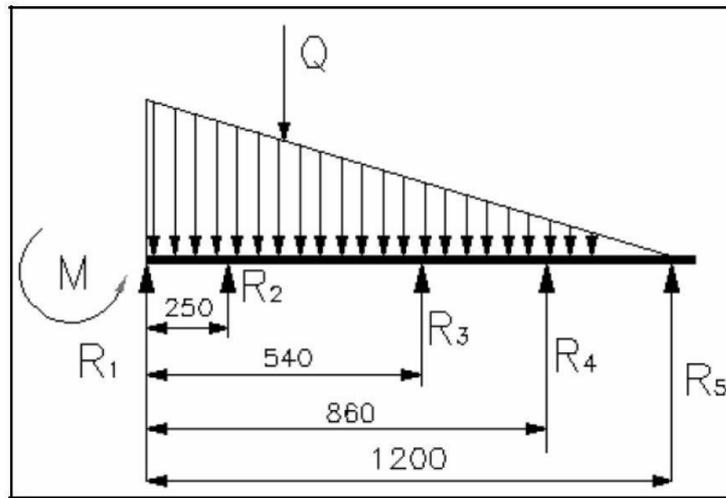
Haciendo un análisis similar al anterior, la Figura 17 y 18 muestran los diagramas de distribución de carga y apoyos.

Figura 17. Distribución de carga sobre la pared.



Fuente: Guido, 2007.

Figura 18. Sustitución empotramiento.



Fuente: Guido, 2007.

Como los **1170 kg** es el peso total, para el análisis de una pared se toma la mitad, entonces **$m = 585 \text{ kg}$** , como en este caso no se tiene inclinación no existe componente, por lo que todo el peso afecta a la pared.

Se utiliza la ecuación y se tiene:

$$P = \frac{m}{A} = \frac{585}{\frac{4 * 12}{2}} = 243.75 \frac{Kg}{m^2}$$

$$q_{max} = 243.75 * 2 = 487.5 \frac{Kg}{m}$$

Igualmente, con la ayuda el Programa SAP 2000 (ver anexo) se obtiene el momento máximo que debe resistir esta pared. El momento máximo que soporta esta pared es $M_{m\acute{a}x} = 2.24 \text{ Kg} \cdot m$.

Con la ecuación dada y el *máx.* q conocido se tiene:

$$t_p = \sqrt{\frac{6 * 2.24}{10145500}}$$

$$t_p = 0.0012 \text{ m} \cong 1.2 \text{ mm}$$

De este análisis se puede concluir que el material para el tanque de lavado es Acero ASTM A-36, las paredes triangulares del tanque son

de 1.2 mm de espesor, mientras que las paredes que convergen a un mismo segmento son de 2.5 mm de espesor.

E. Cálculo del eje de tracción – motor

Se considera el eje que tiene un área igual a 1.5 *pulgadas*, con esta área se determina el diámetro, entonces se tiene:

$$1.5 = \pi * \frac{d^2}{4} \rightarrow d = 1.382 \text{ pulg} \rightarrow 35.11 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el diámetro del eje es 35 mm.

Se deben analizar dos importantes funciones del eje motriz antes de determinar sus posibilidades de funcionar adecuadamente:

- Su capacidad para absorber la fuerza de flexión de la tracción de la banda con una deflexión aceptable del eje.
- Su capacidad para transmitir el par de torsión necesario desde el motor, sin falla alguna, para esto se realiza los siguientes cálculos:

$$D = \frac{5}{384} * \frac{w * L_s^3}{E * I}$$

Donde:

L_s → Longitud entre ejes y apoyos (mm)

E → Módulo de elasticidad

I → Módulo de inercia

w → Carga total del eje

Q → Peso del eje (Kg/m)

La carga total del eje se calcula con la siguiente ecuación:

$$w = (ABP + Q) * B$$

F. Cálculo de la potencia del motor para accionar los cilindros.

Este motor debe dar movimiento a los cepillos y al sistema de circulación continua, como para el sistema ya se conoce su potencia, entonces para el cálculo de la potencia de este motor se tiene:

$$P_T = P_{TSC} + P_{TEC}$$

Donde:

$P_T \rightarrow$ Potencia del motor.

$P_{TSC} \rightarrow$ Potencia del sistema de cepillos.

$P_{TEC} \rightarrow$ Potencia del transformador de circulacion continua

El sistema de cepillos se mueve mediante una moto reductora que gira a 60 rpm a la salida, entonces para determinar la potencia de esta moto reductor se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$P = \frac{T * n}{63000}$$

$$T = F_f * r$$

Donde:

$T \rightarrow$ Torque generado

$F_f \rightarrow$ Fuerza de fregado

$r \rightarrow$ Radio del cepillo

Del estudio de campo se tiene:

$$F = 9.32 \text{ Kg} \cong 20.5 \text{ lb}$$

$$T = 20.5 * 4.33 = 88.79 \text{ lb} - \text{pulg.}$$

$$P = \frac{88.79 * 60}{63000} = 0.084 \text{ HP}$$

Ahora se considera que esta potencia es para lavar zanahorias, en el proceso de lavado se tiene en contacto de 3 a 5 zanahorias con el cepillo en cada vuelta, lo que hace incrementar la potencia en un mínimo de tres veces, entonces se tiene:

$$P = 0.084 * 3 \text{ HP} = 0.25 \text{ HP}$$

Ahora la potencia total del sistema de cepillos es:

$$P_{HPTSC} = 0.25 * 7 = 1.75$$

Por lo tanto, utilizando la ecuación la potencia total de la moto reductora es:

$$P_T = 1.75 + 0.2 = 1.95 \cong 2 \text{ HP}$$

Entonces la potencia necesaria para mover todo el sistema de cepillos y el transportador de circulación continua es de 10 HP.

G. Cálculo del eje de acople

Por diseño geométrico el eje tiene una longitud de 80 mm y para determinar el diámetro se realizan los siguientes cálculos:

Para determinar el torque que se aplica a este, se utiliza la ecuación dada, entonces se tiene:

$$T = \frac{63000 * 0.25}{60} = 262.5 \text{ lb} - \text{pulg.}$$

Para determinar el esfuerzo cortante que produce el torque aplicado al eje se utiliza la siguiente ecuación:

$$t_{xy} = \frac{T * r}{J}$$

Donde:

t_{xy} → Esfuerzo Cortante

T → Torque aplicado al eje

r → Radio del eje $\left(\frac{d}{2}\right)$

J → Momento polar de Inercia $\left(\frac{\pi}{32} * d^4\right)$

Reemplazando los valores de r y J en la ecuación anterior se tiene:

$$t_{xy} = \frac{T * \frac{d}{2}}{\frac{\pi}{32} * d^4} = \frac{16 * T}{d^3 * \pi}$$

Por lo tanto, reemplazando los valores conocidos se tiene:

$$t_{xy} = \frac{16 * 262.5}{d^3 * 3.14} = \frac{1337.6}{d^3}$$

A partir del esfuerzo de Von – Miss se tiene la siguiente ecuación:

$$\sigma = t_{xy} \sqrt{3}$$

DONDE:

$\sigma \rightarrow$ Esfuerzo de Von – Miss

Reemplazando las ecuaciones anteriores se tiene:

$$\sigma = \frac{1337.6}{d^3} \sqrt{3} = \frac{2316.79}{d^3}$$

Para determinar el diámetro del eje se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

Donde:

$S_y \rightarrow$ Resistencia a la fluencia del material

$n \rightarrow$ Factor de seguridad

Para continuar los cálculos se considera un factor de seguridad de 2.5 y un material ASTM A-36 ($S_y=36$ Kpsi) entonces se tiene:

$$2.5 = \frac{36000}{\sigma}$$

Reemplazando la ecuación se tiene:

$$2.5 = \frac{36000}{\frac{2316.79}{d^3}} \rightarrow d = 0.544 \text{ pulg} \cong 14 \text{ mm}$$

Por lo tanto, las dimensiones del eje son: $l = 80\text{mm}$ y $\phi = 14\text{mm}$ de Acero ASTM A-36.

2.2.5. SISTEMA DE ACCIONAMIENTO Y CONTROL CON VSD

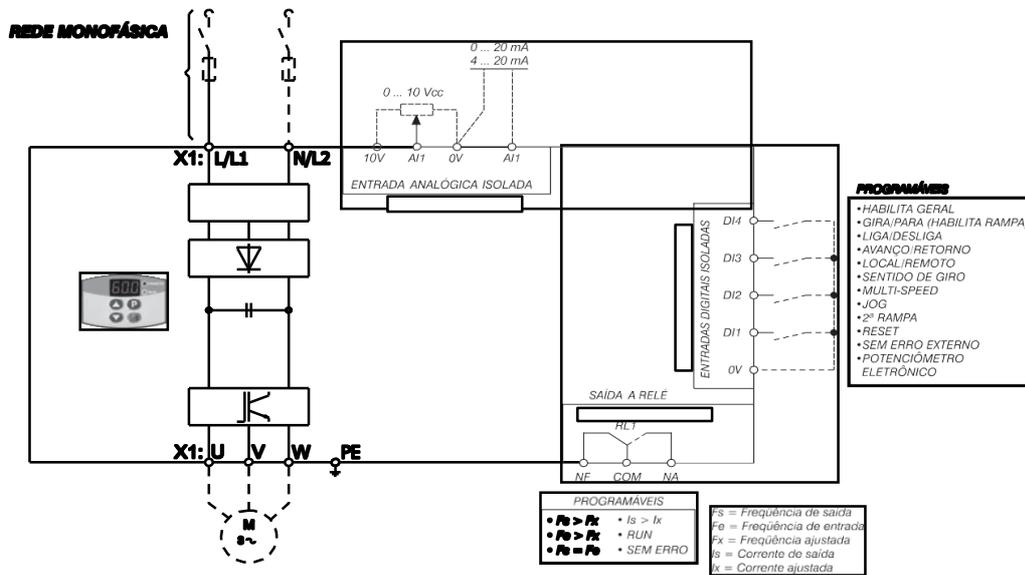
A. Sistema de accionamiento

En conclusión, las cuatro máquinas están compuesta casi con los mismos componentes: alimentación eléctrica en 220 v. monofásico motor eléctrico, fajas de trasmisión, piñón mecánico, mediante estos equipos y materiales acciona para hacer el tratamiento de lavado de las zanahorias y así poder ayudar al

agricultor en el tratamiento de lavado y libera de trabajo de lavado manual. Donde la energía eléctrica se transforma en energía mecánica y esta se transmite al sistema interior del tanque para el tratamiento de lavado. En los tres sistemas se pueden acoplar una moto reductora con un sistema de velocidad variable de alto torque; este quipo tiene las facilidades de regular la velocidad del motor y así evitar del uso de fajas, cadenas y piñones de transmisión.

Las maquinas antiguas están accionadas por motores eléctricos de C.A de jaula de ardilla y son los más usados en las máquinas para diferentes procesos en la industria nacional e internacional y dimensionado según su potencia instalada ya que puede ser de tensión variable como puede ser de tensión en 220v. / 380v. / 440v.

Figura 19. Diagrama de bloques.



Fuente: Weg, 2010.

Tabla 2. Especificaciones técnicas.

Tensión de Red	INVERSOR CFW-10				Motor Máximo Aplicable			Dimensión n (mm)			Peso (kg)		
	Alimentación	Modelo	Corriente Salida (A)	Mec.	Tensión (V)	Potencia		Altura	Largo	Prof.			
						cv	kW						
110-127	Monofásica	CFW100016S1112P SZ	1,6	1	220	0,25	0,18	132	95	121	0,9		
		CFW100026S1112P SZ	2,6	1		0,5	0,37						
		CFW100040S1112P SZ	4,0	2		1,0	0,75						
200-240		CFW100016S2024P SZ	1,6	1		220	0,25	0,18	132	95		121	0,9
		CFW100026S2024P SZ	2,6	1			0,5	0,37					
		CFW100040S2024P SZ	4,0	1			1,0	0,75					
		CFW100073S2024P SZ	7,3	2			2,0	1,50					
	CFW100100S2024P SZ	10,0	3	3,0	2,20		191	1,8					

Fuente: Weg, 2010.

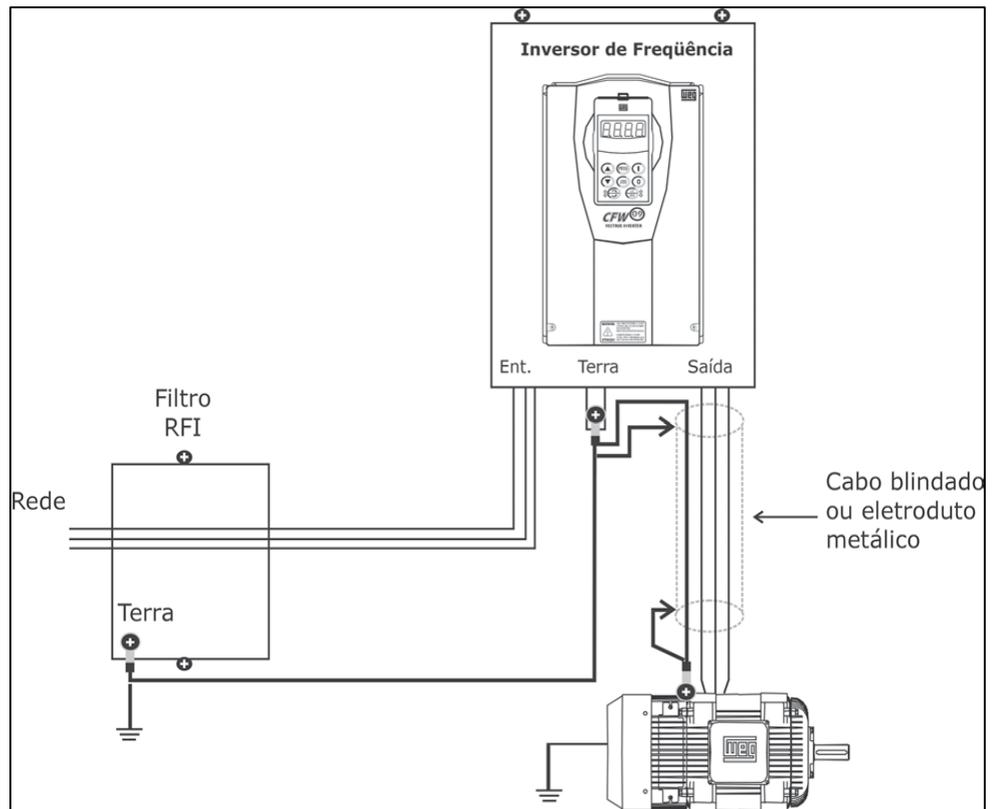
Para poder determinar la velocidad del motor para un lavado correcto se hicieron inicialmente pruebas en vacío con carga y a plena carga probando diferentes velocidades para el motor mediante un ensayo de ajuste de velocidad y de inversión de giro del motor con las zanahorias, en el cual se fue variando la velocidad hasta encontrar un rango de velocidades óptimas en las cuales es lavar las zanahorias eficientemente a velocidad adecuada sin llegar a dañar el producto.

B. La eficiencia del sistema de accionamiento

Para el accionamiento del sistema las pérdidas de los equipos y del motor son porque no se realiza los cálculos adecuados del sistema eléctrico, mecánico, hidráulico y no calcular la potencia del motor y la capacidad de torque en el eje a plena carga, si tomamos en cuenta todos esos cálculos de eficiencia del motor y del sistema en general y para eso se tiene que utilizar la ingeniería eléctrica y mecánica.

La potencia eléctrica de entrada P_{in} depende de la tensión (U), de la corriente (I) y del factor de potencia ($\cos \Phi$). El factor de potencia indica cuál es la proporción de potencia activa del total de la potencia eléctrica y qué porcentaje es potencia reactiva. A fin de producir la potencia mecánica requerida, es necesaria una potencia activa, mientras que la potencia reactiva es necesaria para producir una imanación en el motor.

Figura 20. Instalación de equipo.



Fuente: Weg, 2009.

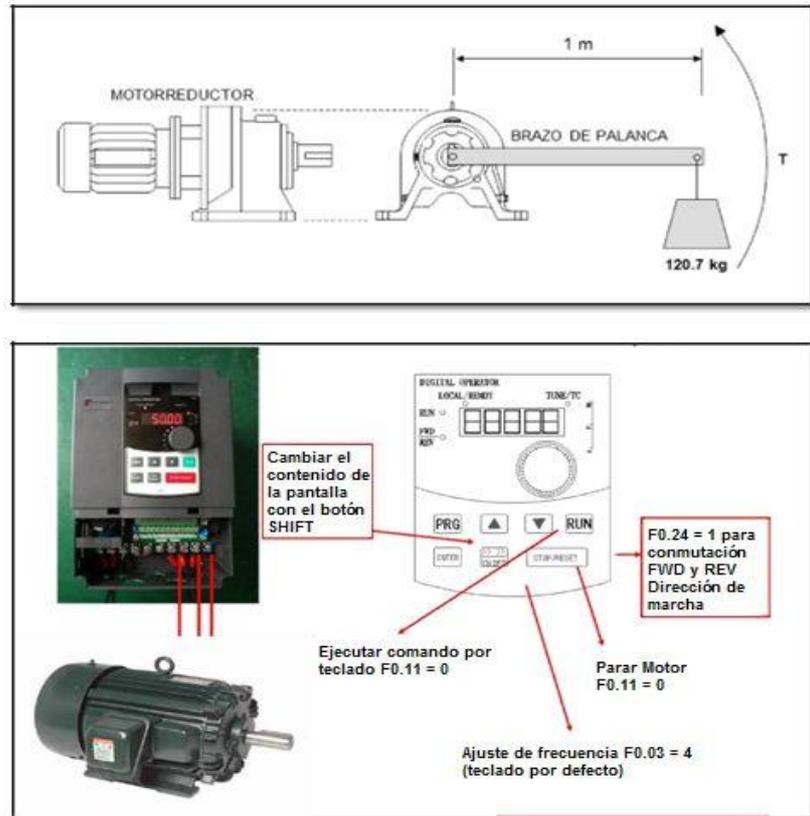
C. Accionamiento de velocidad variable (VSD)

Los accionamientos de CA de Control (VSD) ofrecen soluciones de operación a nivel mundial a una serie más amplia de aplicaciones y sectores de la industria. Estos accionamientos ofrecen:

- Amplias gamas de potencia y tensión
- Control del motor de alto rendimiento
- Facilidad de uso
- Estabilidad mediante una gran variedad de módulos opcionales conectables
- Tamaño compacto y robusto
- Automatización y control del movimiento programables integrados

- Diseño robusto para un servicio fiable y duradero de fácil instalación.

Figura 21. Variador de frecuencia y motor de inducción.



Fuente: Toshiba, 2010.

a. Características

Un accionamiento simple para la más amplia gama de aplicaciones teniendo así al accionamiento de velocidad variable – VSD; aunque el accionamiento se instala y configura de manera sencilla y en menos tiempo, ofrece las prestaciones y la diversidad de funciones que se requieren para resolver las aplicaciones más complejas, y que otros accionamientos de su clase no proporcionan. Destacando así en características técnicas de fácil operación y funcionamiento.

Figura 22. Variador de velocidad - VSD.



Fuente: Toshiba, 2010.

Entre las características fundamentales destacan:

Fácil Mantenimiento: La tarjeta opcional permite guardar la configuración del accionamiento, hacer una copia de seguridad y volver a cargarla fácilmente y tiene que estar aislada del polvo y del agua.

Aplicable: Módulos opcionales con conectividad a Internet y a bus de campo, reloj en tiempo real y E/S adicionales.

Flexible: Requisitos mínimos de inventario mediante operaciones monofásicas o trifásicas con accionamientos de 200V y doble ventilador/bomba y uso de máquinas en módulos de mayor potencia.

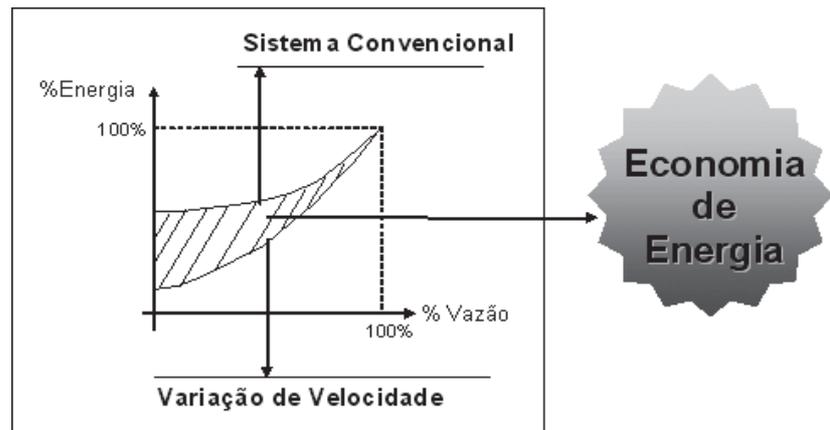
D. Ahorro de energía eléctrica

El ahorro de energía es la ventaja más importante de la tecnología VSD, pero hay otras razones para elegir un accionamiento VSD o VSD+:

- Un compresor VSD puede arrancar/parar a plena presión del sistema, sin necesidad de descargar, lo que permite ahorrar tiempo y energía.
- No hay pérdidas por tiempo de funcionamiento en vacío ni por venteo en condiciones normales de funcionamiento.

- Con la tecnología VSD, se evitan las corrientes pico en el arranque suave y, con ello, también las penalizaciones que aplican la mayoría de las compañías eléctricas.
- Gracias a una presión más baja del sistema, se minimizan las fugas y costos excesivos de consumo de energía eléctrica.

Figura 23. Ahorro de energía.



Fuente: Weg, 2010.

E. Especificaciones - VSD

- Ajuste manual y automático sin giro para una rápida optimización del rendimiento
- Variedad de velocidades predefinidas disponibles para una mayor flexibilidad en las aplicaciones y soluciones
- Acceso manual digital por teclado a todos los parámetros
- Control vectorial en bucle abierto control de velocidad o de par
- Entrada de referencia de velocidad: 0-10 V, 0-20 mA, 4-20 mA (-10 V a +10 V con opción SM-I/O Lite)
- Frecuencia de conmutación de 3 kHz a 18 kHz, con funcionamiento silencioso del motor
- Frecuencia de salida de 0 a 1.500 Hz
- Rampas de aceleración y desaceleración lineales o de tipo S
- RTU Modbus RS485 a través de conector RJ45 de serie

- Frenado de inyección de corriente continua de serie
- Transistor dinámico de frenada de serie
- Ahorro de energía con flujo de motor dinámico V/Hz
- Optimización energética para ventilación y bombeo con flujo de motor V/Hz cuadrático.

F. Entrada y salida del VSD

Tabla 3. Entrada y salida del VSD.

ENTRADAS Y SALIDAS ESTÁNDAR	FUNCIÓN DE E/S POR DEFECTO	VALOR NOMINAL	CANTIDAD
Entradas digitales	Activar/Reiniciar	24 V	4
	Marcha adelante		
	Marcha atrás		
	Referencia de velocidad local/remota		
Salidas digitales	Velocidad cero	24 V	1
Salidas de relé	Accionamiento en perfecto estado	Contacto normalmente abierto	1
Entrada analógica 1	Referencia de velocidad local	0 - 10 V	1
Entrada analógica 2	Referencia de velocidad remota	0-20 mA o 4-20 mA	1
Salida analógica	Velocidad del motor	0 - 10 V	1

Fuente: Toshiba, 2010.

Las funciones de E/S mostradas presentan los ajustes por defecto para Europa; es posible configurar otras funciones. Las E/S pueden ser ampliadas mediante el uso de módulos opcionales.

G. Seguridad y conformidad eléctrica - VSD

- IP65 (NEMA 1)
- Bandejas de conductos disponibles para montaje en pared
- Temperatura ambiente de -10 °C a 40 °C
- Inmunidad electromagnética de conformidad con EN61800-3, EN 61000-6-1 y EN 61000-6-2
- Humedad máxima del 95% (sin condensación)

Las emisiones electromagnéticas cumplen la norma EN61800-3 (segundo entorno) de serie. Cumple con las normas genéricas EN61000-6-3 (residencial) y EN61000-6-4 (industrial) con el filtro CEM opcional en superficie de contacto.

2.2.6. PRODUCTIVIDAD

A. Factores que afectan la productividad

Estos factores son muy numerosos y a menudo mal dimensionados o desconocidos. Sin embargo, se les puede agrupar en cuatro categorías:

- **Inversión:** Las inversiones tienen un efecto importante en la productividad de la planta. En la planta, las inversiones en equipos y maquinaria están en función de las necesidades del productor o agricultor y del mercado.
- **Investigación y desarrollo:** Está basada a la necesidad del agricultor, la investigación y el desarrollo contribuyen en varias formas al crecimiento de la productividad. El desarrollo de nuevos procedimientos y equipos que permitan producir más rápidamente y con menos mano de obra por unidad. La modificación y el perfeccionamiento de la planta acelera los procedimientos y de los equipos permiten reducir y acelerar los procesos de la fabricación.
- **Reglamentación gubernamental:** Durante la década anterior el número de leyes y de reglamentos aumentó en la mayoría de los países industrializados para todos los sectores

económicos, desencadenando con ello gastos adicionales que afectan directamente la productividad de las empresas.

- **Mano de obra:** Depende de la producción en la planta principalmente de este factor, puesto que es con la mano de obra calificada como empiezan la investigación y el desarrollo, y es en función de su desempeño como se mide la productividad.

B. Mejora de la productividad

Depende de técnicas en manejos de Gestión Total de la Productividad (GTP) implica llevar de manera sistemática los siguientes pasos:

- Seleccionar el conjunto de técnicas más apropiadas para la mejora de la productividad en función de las características propias de la planta de su manejo.
- Desarrollar un plan de implementación adecuada a poner en práctica las técnicas de operación seleccionadas.

Para la selección del conjunto de técnicas de operación más apropiado es necesario tomar debidamente en consideración:

- El sentido común, las técnicas de campo respaldado por la experiencia.
- Utilización de modelos y cálculos matemáticos.
- Utilización metodologías semi-cuantitativas, resultantes de combinar de manera real y efectivas lo mejor de las dos anteriores consideraciones.
- Las limitaciones presupuestarias o financieras.
- El tiempo mínimo y real establecido para la recuperación de la inversión.
- El tiempo máximo para implementar las técnicas seleccionadas

2.3. DEFINICIÓN DE TERMINOS BÁSICOS

- **ACCIONAMIENTO ELÉCTRICO:** Son conjunto de elementos mecánicos, eléctricos hidráulicos (de potencia), y electrónicos (de control), interconectados adecuadamente y alimentado desde un sistema eléctrico de potencia con el fin de obtener un resultado mecánico de control automático tanto en sus parámetros cinemáticos y dinámicos.
- **MOTOR ELÉCTRICO:** es una máquina eléctrica que transforma la energía eléctrica a mecánica produciendo el movimiento deseado, resulta capaz de transformar la energía eléctrica propiamente dicha en energía mecánica, todo logrado a través de diferentes interacciones electromagnéticas.
- **SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN:** Es un sistema donde se transfieren tareas de producción a diferentes áreas, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos, constando de dos partes; de mando y operativa.
- **SISTEMA DE CONTROL:** Es un conjunto de sistemas o dispositivos electrónicos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de otro sistema, con el fin de reducir las probabilidades de fallo y obtener los resultados deseados. Por lo general se usan sistemas de control industrial en procesos de producción industriales para controlar equipos o máquinas.
- **VELOCIDAD VARIABLE:** Es la velocidad a lo largo de una trayectoria, cambia en función de una variable (La variable puede ser el tiempo, frenadas) que modifica la velocidad.
- **VARIADOR DE VELOCIDAD (VSD):** Es un dispositivo electrónico de conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de equipos o máquinas, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. HIPÓTESIS

3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL

La implementación del accionamiento de velocidad variable (VSD), mejorará significativamente la productividad en la planta de lavado de zanahoria ACE EIRL en San Miguel de Pincha – Chupaca.

3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- A. El uso de equipos eléctrico- hidráulico como el accionamiento de velocidad variable VSD influirá positivamente en los tiempos y rendimientos de producción.
- B. Con el uso del sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) se producirá ventajas significativas en la planta de lavado de zanahorias en cuanto a: costos directos e indirectos.
- C. El sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) producirá un ahorro energético en comparación a los sistemas accionados por motores diésel convencionales.

3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

3.2.1. VARIABLES

VARIABLE INDEPENDIENTE (x): Accionamiento de Velocidad Variable (VSD)

VARIABLE DEPENDIENTE (y): Productividad.

3.2.2. OPERACIONALIZACIÓN

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

4.1. MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

A. Método general

Es el método de la investigación que se empleó como base estructural del método científico, que nos orientó como deberíamos realizar una investigación del tipo: INDUCTIVO – DEDUCTIVO, además de ser ANALÍTICO por la forma de analizar los hechos o fenómenos y relacionarlos con las bases teóricas del marco conceptual, asumiendo categorías cognitivas de síntesis.

B. Método específico

Se utilizó el: MÉTODO CUALITATIVO, en razón que los datos obtenidos, se tratan de datos descriptivos y susceptibles de interpretación, por ser datos categoriales y que se sometieron a un análisis comparativo, es decir evaluar el ahorro energético con un accionamiento de velocidad variable (VSD) – Motor TOSHIBA, en la productividad de la comercialización de la venta de zanahoria – Valle del Mantaro. Asimismo, mediante la observación se intentará captar aquellos aspectos que son más relevantes al fenómeno o hecho a investigar, recopilando los datos que se estimen pertinentes, la investigación tiene carácter cualitativo debido a que la realidad está en relación con las variables de estudio, correspondiendo a la visión y opinión de

los especialistas en Ingeniería Eléctrica sobre la problemática investigada.

4.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación de acuerdo a las variables propuestas y el objetivo general y específicos de la investigación es de tipo: APLICADA – OBSERVACIONAL – COMPARATIVA ya que en esta investigación se aplicaron los conocimientos básicos de máquinas eléctricas y automatización para resolver un problema relacionado a la productividad en un sistema de lavado de zanahorias, se observó el comportamiento del sistema de accionamiento de velocidad variable y su influencia sobre los procesos de lavado de zanahorias y también se comparó la producción con el uso del sistema VSD y sin el uso del mismo.

4.1.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño que se utilizó en el trabajo de investigación es de tipo experimental demostrativo, de acuerdo a las dimensiones consumo de energía.

4.1.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

A. Población

La aplicación del trabajo de investigación se realizará en la planta de lavado ACE EIRL en San Miguel de Pincha - Chupaca, con una población compuesta por los datos diarios de producción de zanahorias y de consumo energético durante el año 2014 (365 datos por cada dimensión).

B. Muestra

El tamaño de la muestra se determinó, considerando el muestreo aleatorio simple estratificado, para obtener porcentajes enfocados a valores reales.

La población total materia de investigación es de 365 datos.

La muestra se ha obtenido aplicando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_0^2 * p * q * N}{e^2(N - 1) + Z_0^2 * p * q}$$

Dónde:

n = Muestra

ZO = 1.96 (límite de confianza)

p = Probabilidad de acierto (80%)

q = Probabilidad de no acierto (20%)

N = Población total (365)

e² = Margen de error (5%)

1 - α = Intervalo de confianza (95%)

Reemplazando:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.8 * 0.2 * 365}{0.05^2(364) + 1.96^2 * 0.8 * 0.2}$$

$$n = \frac{224.35}{0.91 + 0.6146} = 147.15 \cong 147$$

Se empleó la técnica del muestreo intencional o crítico, porque empleando esta técnica se buscará que la población motivo de investigación sea representativa, asimismo en base a una opinión o intención particular del investigador con una muestra de 147 datos por cada dimensión sujeta al estudio.

4.1.5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

En relación a la naturaleza del trabajo de investigación se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos:

Tabla 4. Técnica e Instrumento para observación de datos.

TÉCNICA	INSTRUMENTO	PROCEDIMIENTO
Entrevista	Cuestionario	Entrevista a los usuarios de la planta.
Encuesta	Cuestionario	Encuesta a los usuarios de la planta.

Fuente: elaboración propia, 2016.

4.2. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

4.2.1. PRESUPUESTO

Se plantea un presupuesto flexible para la implementación del sistema. Para los costos de los equipos se utilizarán los valores de cotizaciones que se necesita invertir. El resumen de los costos se presenta en la Tabla 5. Donde además se incluye los costos de ingeniería. Se obtiene como presupuesto del sistema un monto de S/. 19 946.30 nuevos soles. Los precios ya incluyen IGV.

Tabla 5. Presupuesto de implementación del VSD

CANT	UND. MEDIDA	DETALLE	COSTO UNIT	COSTO TOTAL
1,00	UND	VSD – 10 HP	5000,00	5000,00
1,00	UND	Motor 10 Hp - TOSHIBA	6000,00	6000,00
14,00	kg	Eje cilíndrico de acero A-36 f1/2", i=100 mm	10,50	147,00
1,00	kg	Plancha de acero A-36, e=3mm, 1500 x 630	21,95	21,95
2,00	kg	Plancha de acero A-36, e=2.5 mm, 650 x 2330	59,44	118,88
2,00	kg	Plancha de acero A-36, e=1.2 mm, 4000 x 2330	175,58	351,16
1,00	kg	Plancha de acero A-36, e=1.6 mm, 3350 x 400	2,28	2,28
1,00	kg	Plancha de acero A-36, e=3 mm, 1000 x 1000	3,00	3,00
6,00	UND	Tubo estructural cuadrado 50x50x3 (Disponible en 6 m)	28,86	173,16
1,00	UND	Perfil estructural Canal "U" 150x50x3 (Disponible 6 m)	26,67	26,67
1,00	UND	Banda textil de PVC con grapas, 2 lonas espesor 21 mm, L=5 m	194,48	194,48
7,00	UND	Piñones 19 dientes	7,96	55,72
400,00	UND	Bolsas de cemento	19,50	7800,00
1,00	UND	Ciento de papel	12,00	12,00
1,00	UND	Impresión	40,00	40,00
COSTO TOTAL:			19.946,30	

Fuente: elaboración propia, 2016.

4.2.2. CALCULO DEL VAN Y EL TIR

Para el cálculo del VAN se ha tenido en cuenta una tasa de retorno del 15%. Para la obtención de los flujos de caja se ha comparado el ahorro económico que existe entre el uso de motores eléctricos de corriente alterna con el sistema VSD y el de los motores diésel que anteriormente se usaban en la planta, teniendo como flujo de caja anual estimado la cantidad de S/. 23.464,54. Los resultados muestran que el VAN es positivo para esta tasa de retorno y que la TIR es de 47,14%. Se puede observar a simple vista que el costo de la inversión se recupera en el primer año.

Tabla 6. Análisis del VAN y TIR.

Tasa	15%
Inversión	-19.946,30
Año 01	23.464,54
Año 02	23.464,54
Año 03	23.464,54
Año 04	23.464,54
Año 05	23.464,54
VAN	58.710,46

TIR	47,14%
------------	--------

Fuente: elaboración propia, 2016.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control realizará el sistema del lavado de las zanahorias en forma automática dada por el Accionamiento de Velocidad Variable - VSD en 55 minutos, llevando un control preciso en los tiempos de lavado y en el tiempo de funcionamiento de los motores. En la Tabla 4 se muestra el tiempo de operación del sistema de lavado ejecutado por el VSD.

Tabla 7. Tiempo de Operación del sistema de lavado.

Descripción	Tiempo
Remojo	15
Pase al cilindro	5
Lavado en el cilindro	30
Pase a la zona de tendal	5
Total	55

Fuente: elaboración propia, 2016.

6.2. ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN EL 2014

En la tabla que se muestra a continuación se muestra la estimación de consumo de energía para los cálculos del VAN y el TIR que nos permitieron determinar el consumo energético aproximado para periodos similares.

Tabla 8. Costos del consumo de energía estimado anual para el año 2014.

Mes	N° Días	Cantidad de motores	Potencia (kW)	Tiempo de función. diario (horas)	Costo del kW-h	Sub-Total	IGV (18%)	Costo Total
Enero	31	2	7,46	8	0,75	2.775,12	499,52	3.274,64
Febrero	28	2	7,46	8	0,75	2.506,56	451,18	2.957,74
Marzo	31	2	7,46	8	0,75	2.775,12	499,52	3.274,64
Abril	30	2	7,46	8	0,75	2.685,60	483,41	3.169,01
Mayo	31	2	7,46	8	0,75	2.775,12	499,52	3.274,64
Junio	30	2	7,46	8	0,75	2.685,60	483,41	3.169,01
Julio	31	2	7,46	8	0,75	2.775,12	499,52	3.274,64
Agosto	31	2	7,46	8	0,75	2.775,12	499,52	3.274,64
Septiembre	30	2	7,46	8	0,75	2.685,60	483,41	3.169,01
Octubre	31	2	7,46	8	0,75	2.775,12	499,52	3.274,64
Noviembre	30	2	7,46	8	0,75	2.685,60	483,41	3.169,01
Diciembre	31	2	7,46	8	0,75	2.775,12	499,52	3.274,64
Costo Anual								38.556,26

Fuente: elaboración propia, 2016.

6.3. CONSUMO DE ENERGÍA EN KW-H FACTURADO EN EL 2014

A continuación, se muestran los consumos de energía facturados durante el año 2014.

Tabla 9. Consumos de electricidad facturados en el año 2014.

	GASTO POR CONSUMO EN ENERGÍA ELÉCTRICA
Enero	2894.55
Febrero	2955.64
Marzo	3020.25
Abril	2765.62
Mayo	3125.50
Junio	3128.25
Julio	3235.60
Agosto	3450.68
Septiembre	3124.89
Octubre	3256.75
Noviembre	3215.65
Diciembre	3125.45
TOTAL	37928.80

Fuente: elaboración propia, 2016.

6.4. ESTIMACIÓN DEL GASTO POR CONSUMO DE COMBUSTIBLES PARA EL AÑO 2014

En esta estimación se analiza el gasto por consumo de combustible que se tendría con el uso del antiguo sistema de accionamiento de lavado de la planta con el uso de un motor de combustión interna diésel de 25 HP.

Tabla 10. Estimación de gastos por combustible en el año 2014.

Mes	N° Días	Cantidad de motores	Potencia (HP)	Tiempo de función diario (horas)	Consumo de combustible por hora (Galones)	Costo del Galón de combustible	Sub-Total	IGV (18%)	Costo Total
Enero	31	1	25	8	1,5	12,00	4.464,00	803,52	5.267,52
Febrero	28	1	25	8	1,5	12,00	4.032,00	725,76	4.757,76
Marzo	31	1	25	8	1,5	12,00	4.464,00	803,52	5.267,52
Abril	30	1	25	8	1,5	12,00	4.320,00	777,60	5.097,60
Mayo	31	1	25	8	1,5	12,00	4.464,00	803,52	5.267,52
Junio	30	1	25	8	1,5	12,00	4.320,00	777,60	5.097,60
Julio	31	1	25	8	1,5	12,00	4.464,00	803,52	5.267,52
Agosto	31	1	25	8	1,5	12,00	4.464,00	803,52	5.267,52
Septiembre	30	1	25	8	1,5	12,00	4.320,00	777,60	5.097,60
Octubre	31	1	25	8	1,5	12,00	4.464,00	803,52	5.267,52
Noviembre	30	1	25	8	1,5	12,00	4.320,00	777,60	5.097,60
Diciembre	31	1	25	8	1,5	12,00	4.464,00	803,52	5.267,52
Costo Anual									62.020,80

Fuente: elaboración propia, 2016.

6.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL AÑO 2014 VS LA ESTIMACIÓN DEL GASTO POR USO DE COMBUSTIBLES

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre el gasto mensual por consumo de energía eléctrica en el año 2014 y el gasto estimado por consumo de combustible con el antiguo sistema de lavado de zanahoria. El ahorro que se muestra es de S/. 24.721,97 para el año 2014, monto con el que se cubrió la implementación del sistema.

Tabla 11. Cuadro comparativo de costos por consumo de combustibles entre tecnología de motores eléctricos y motores diésel.

	GASTO POR CONSUMO EN ENERGÍA ELÉCTRICA	GASTO POR CONSUMO DE COMBUSTIBLE	AHORRO ECONÓMICO
Enero	2.894,55	5.267,52	2.372,97
Febrero	2.955,64	4.757,76	1.802,12
Marzo	3.020,25	5.267,52	2.247,27
Abril	2.765,62	5.097,60	2.331,98
Mayo	3.125,50	5.267,52	2.142,02
Junio	3.128,25	5.097,60	1.969,35
Julio	3.235,60	5.267,52	2.031,92
Agosto	3.450,68	5.267,52	1.816,84
Septiembre	3.124,89	5.097,60	1.972,71
Octubre	3.256,75	5.267,52	2.010,77
Noviembre	3.215,65	5.097,60	1.881,95
Diciembre	3.125,45	5.267,52	2.142,07
TOTAL	37.298,83	62.020,80	24.721,97

Fuente: elaboración propia, 2016.

6.6. COMPARACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA ENTRE SISTEMA DE LAVADO MANUAL, SISTEMA DE LAVADO CON MOTORES DIÉSEL Y SISTEMA CON ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE VSD

En la siguiente tabla se realiza un análisis comparativo técnico -económico de la producción diaria de lavado de zanahorias entre tres diferentes sistemas de lavado. Para la comparación se ha analizado los rendimientos de los diferentes sistemas, así como el consumo energético de cada uno de ellos y el monto facturado por la producción diaria. Se hace finalmente una comparación entre ingresos, egresos, utilidad y rentabilidad de cada uno de los sistemas, pudiéndose evidenciar que el sistema de lavado con VSD es el que alcanza la mayor rentabilidad.

Tabla 12. Cuadro de comparación técnica económica entre diferentes sistemas de lavado de zanahorias.

	Sistema de lavado manual	Sistema de lavado con motores diésel	Sistema de lavado con sistema VSD
Cuadrillas o unidades	2 cuadrillas de 16 trabajadores	1 motor diésel	2 motores de inducción
Personal adicional	No requiere	10 trabajadores	10 trabajadores
Potencia Total	No requiere	25 HP	20 HP
Tipo de combustible	No requiere	Petróleo	Energía Eléctrica (kW-h)
Consumo diario de combustible	No requiere	16 galones	120 kW-h
Costo por unidad de combustible		12 soles /galón	0,80 soles /kW-h
Costo diario de combustible		192,00 soles	96,00 soles
Horas de Trabajo	8 horas diarias	8 horas diarias (pero puede incrementar el periodo de trabajo)	8 horas diarias (pero puede incrementar el periodo de trabajo)
Rendimiento por día	30 TM = (225 sacos)	160 TM = (1200 sacos)	160 TM = (1200 sacos)
Salario Diario de los trabajadores (\$/ por trabajador)	30 soles Con pago por jornada diaria.	30 soles Con pago de salario mensual.	30 soles Con pago de salario mensual.
Costo total en salarios diarios	960,00 soles	300,00 soles	300,00 soles
Costo facturado por saco	5,00 soles	1,00 soles	1,00 soles
Costo facturado por día	1.125,00 soles	1.200,00 soles	1.200,00 soles
Ingresos Totales diarios	1.125,00 soles	1.200,00 soles	1.200,00 soles
Egresos Totales diarios	960,00 soles	492,00 soles	396,00 soles
Utilidad diaria	165,00 soles	708,00 soles	804,00 soles
Tasa de Rentabilidad	15%	59%	67%

Fuente: elaboración propia, 2016.

CONCLUSIONES

- Mediante la implementación del sistema se ha podido determinar que el uso de equipos eléctrico – hidráulicos como el sistema de accionamiento de velocidad variable VSD han afectado positivamente a la productividad de la planta de lavado de zanahorias, ya que han permitido aumentar la cantidad de toneladas diarias de producción.
- Afecta manualmente el control de la velocidad donde puede ser establecido o modificado en el (display de operador) posibilidad de variación en el sentido de giro.
- Ventajas controla automático y manual la velocidad, se puede ajustar la velocidad automáticamente y se aplica en la velocidad demandada y continua.
- Influye en el ahorro de energía eléctrica donde el Kw-h es de S/ 0.80 y el galón de combustible es de S/ 10.00, por lo cual se obtiene un ahorro del 10%.

RECOMENDACIONES

- El sistema estaría más protegido con un transformador de aislamiento para la toma de alimentación del tablero para así independizar completamente el suministro eléctrico externo del interno y de esta manera proteger los equipos de perturbaciones eléctricas que ocasionalmente presenta la red.
- El sistema debe tener un mantenimiento preventivo, principalmente al PLC y al Panel de Operador, asimismo a los elementos de campo, tales como: sensores, electroválvulas, unidades de mantenimiento, compresor, cilindros neumáticos y motores. De esta manera se asegurará que el sistema funcione de manera continua sin posibles fallas.
- Capacitación de un técnico electricista para la operación del sistema de accionamiento de velocidad variable.
- Mantenimiento y limpieza después de cada jornada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen Bradley - Rockwell Automation. Manual de Usuario del Panel Builder 32. [consultado 25/04/2016].
http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/2711-gr003_-es-p.pdf
- Cárate Á. (2011). *“Diseño y construcción de un módulo con variador de frecuencia para el control de velocidad de motores asíncronos jaula de ardilla trifásicos para el laboratorio de control industrial”*. Tesis, Ecuador.
- Empresa Clamhort Máquina lavadora de tubérculos [consultado 17/09/2016]
<http://www.clamhort.es/index.php>
- Empresa de Máquinas Agrícolas MEP. (2011). *“Máquina lavadora de zanahorias”*.
- García Moreno, Emilio. 2010 Automatización de Procesos Industriales. Universidad Politécnica de Valencia – España
- Máquina Lavadora de Zanahoria Romero [consultado 17/09/2016]
<http://huancayo.olx.com.pe/pictures/maquina-lavadora-de-zanahoria-papa-y-camote-iid-33170908>
- Opciones de Control de Automatización: PLC – PAC – PCbA. (2011).
<http://www.infoplcn.net/documentacion/5-automatas/1071-entender-lasopciones-de-control-de-automatizacion>.
- Pérez M. (2009). *“El Ahorro De Energía Con Un Variador De Frecuencia Y Las Diferentes Aplicaciones, En La Industria Con Equipo Mitsubishi”*. Tesis. Guatemala.
- Requena J. (2012). *“Diseño de un sistema de automatización de una planta de lavado de zanahoria de 10 t/h”*. Tesis - Lima
- Saavedra J. (2007). *“Control De Presión De Agua Mediante Variador De Frecuencia Y Motobomba”*. Chile. Tesis.
- Toshiba (2010). *“Catálogo de motores, bajo y medio voltaje”*. Houston, Texas.

Vargas J. (2012). *“Conversión a auto eléctrico basada en un accionamiento trifásico: diseño, modelación e implementación”*. Tesis, Chile.

Vega A. (2011). *“Diseño E Implementación De Un Sistema De Control De Variadores De Velocidad Para Obtener Presión De Agua Constante En Un Edificio De La Universidad Simón Bolívar”*. Tesis.

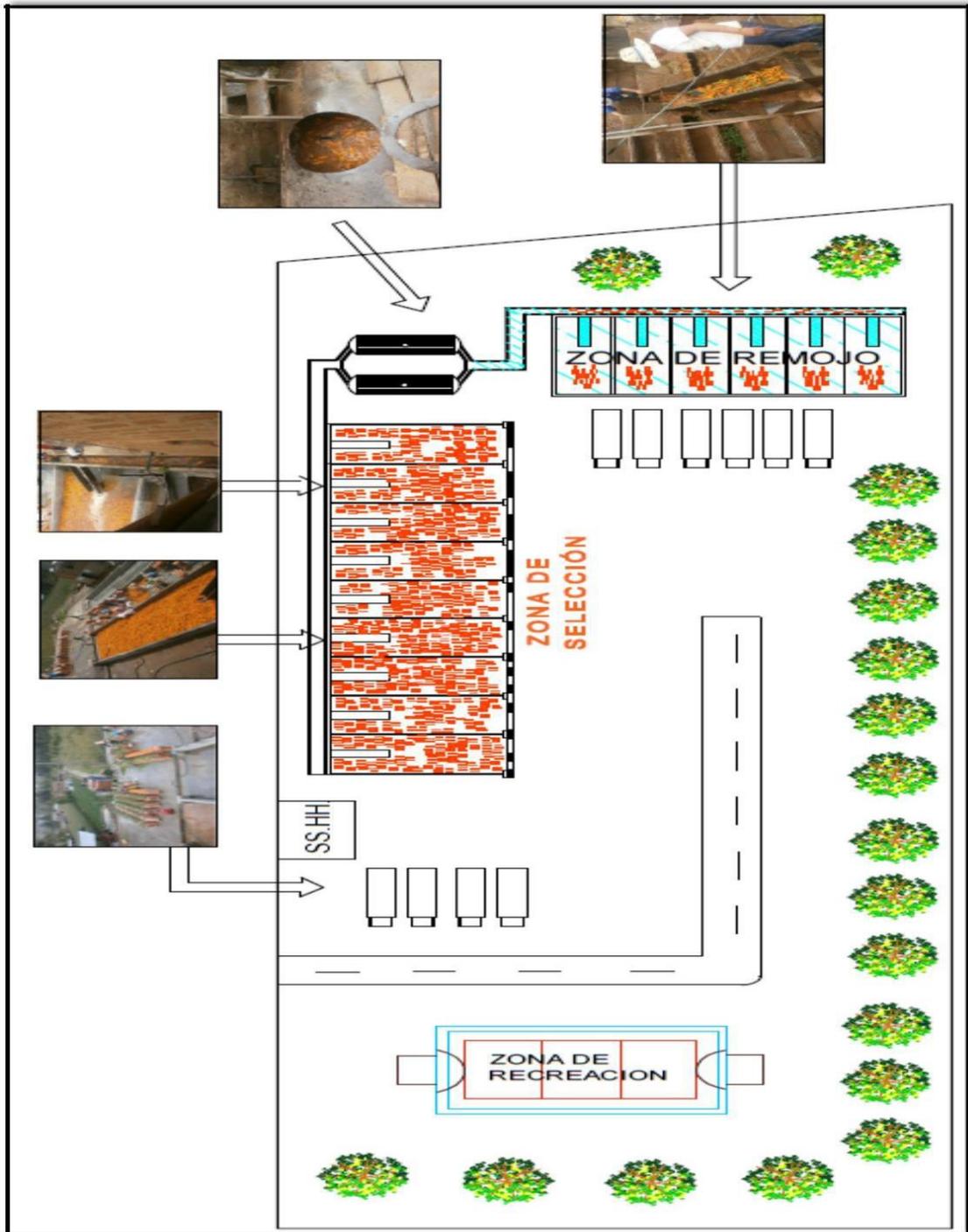
ANEXOS

Anexo 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA DE LA TESIS

TÍTULO: “IMPLEMENTACIÓN DEL ACCIONAMIENTO DE VELOCIDAD VARIABLE (VSD) PARA OPTIMIZAR LA PRODUCTIVIDAD DE LA PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA ACE EIRL DE 20TN/H DE CAPACIDAD EN SAN MIGUEL DE PINCHA - CHUPACA”

I. PROBLEMA	II. OBJETIVO	III. HIPÓTESIS	IV: VARIABLES Y DIMENSIONES	V. METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL. ¿De qué manera la implementación de un sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) permitirá mejorar la productividad en la planta de lavado de zanahoria ACE EIRL en San Miguel de pincha - Chupaca?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS. A. ¿Cómo afecta el uso de equipos eléctrico-hidráulico como el accionamiento de velocidad variable (VSD) a un sistema de lavado de zanahoria? B. ¿Qué ventajas ofrece la instalación de un sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) dentro planta de lavado de zanahoria? C. ¿Cómo influye la implementación de un sistema de accionamiento de velocidad variable – VSD como una forma de ahorro energético, utilizando motores de Corriente Alterna?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL. Mejorar la productividad en el proceso de lavado de zanahorias ACE EIRL en el barrio de pincha provincia de Chupaca mediante la implementación del sistema de accionamiento de velocidad variable – VSD.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS. A. Determinar de qué manera el uso de equipos eléctrico – hidráulicos como el sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) afecta al sistema de lavado de zanahorias. B- Identificar las ventajas que ofrece la instalación de un sistema de accionamiento de velocidad variable - VSD en la planta de lavado de zanahorias. C.- Analizar de qué manera influye la implementación de un sistema de accionamiento de velocidad variable – VSD como una forma de ahorro energético, utilizando motores de Corriente Alterna.</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL La implementación del accionamiento de velocidad variable (VSD), mejorará significativamente la productividad en la planta de lavado de zanahoria ACE EIRL en San Miguel de Pincha – Chupaca.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS. A. El uso de equipos eléctrico-hidráulico como el accionamiento de velocidad variable VSD influirá positivamente en los tiempos y rendimientos de producción. B. Con el uso del sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) se producirá ventajas significativas en la planta de lavado de zanahorias en cuanto a: costos directos e indirectos. C. El sistema de accionamiento de velocidad variable (VSD) producirá un ahorro energético en comparación a los sistemas accionados por motores diésel convencionales.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (x): Accionamiento de velocidad variable (VSD).</p> <p>DIMENSIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Retardo dinámico ▪ Sistema de control automatizado ▪ Consumo de energía <p>VARIABLE DEPENDIENTE (y): Productividad.</p> <p>DIMENSIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Actividad individual y por equipos. • Rendimiento por actividad • Ahorro Económico • Rentabilidad del Proyecto 	<p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada, Observacional y Comparativa</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Descriptiva – Comparativa.</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Experimental – Demostrativo</p> <p>POBLACIÓN: 365 datos por cada dimensión</p> <p>MUESTRA: 147 datos por cada dimensión</p> <p>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN: Inductivo – Deductivo Analítico – Sintético</p> <p>MÉTODO ESPECÍFICO: Enfoque: cualitativo – cuantitativo</p>

Anexo 2. PLANTA GENERAL DE LAVADO DE ZANAHORIAS.



Anexo 3. POZA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA.



Anexo 4. FAJA DE LLENADO AL TANQUE



Anexo 5. CANALES DE DISTRIBUCIÓN.



Anexo 6. ZONA DE REMOJO



Anexo 7. CILINDRO DE LAVADO



Anexo 8. CANAL DE UNION



Anexo 9. ZONA DE EMBARQUE



Anexo 10. TABLERO DE CONTROL



Anexo 11. CIRCUITOS DE CORRIENTE ALTERNA.

$$\text{Eficiencia} = \frac{746 \times \text{Potencia de salida}}{\text{Vatios de entrada}}$$

$$\text{Kw de tres fases} = \frac{\text{Volt} \times \text{Amperes} \times \text{Factor de Potencia} \times 1.732}{1000}$$

$$\text{Amperaje de tres fases} = \text{Vol. Amper} \times 1.732$$

$$\text{Factor de potencia trifásico} = \frac{\text{Voltaje de entrada}}{\text{Volts} \times \text{Amperes} \times 1.732}$$

$$\text{Eficiencia trifásica} = \frac{746 \times \text{caballo de fuerza}}{\text{Volts} \times \text{Amperes} \times \text{Factor de Potencia} \times 1.732}$$

$$\text{Corriente trifásica} = \frac{746 \times \text{caballo de fuerza}}{1.732 \times \text{Volts} \times \text{Eficiencia} \times \text{Factor de Potencia}}$$

$$\text{Potencia de una fase} = \frac{\text{Volts} \times \text{Amperes} \times \text{Factor de Potencia}}{1000}$$

$$\text{Corriente Monofásica} = \frac{746 \times \text{Factor de Potencia}}{\text{Volts} \times \text{Eficiencia} \times \text{Factor de Potencia}}$$

$$\text{Eficiencia Monofásica} = \frac{746 \times \text{Factor de Potencia}}{\text{Volts} \times \text{Eficiencia} \times \text{Factor de Potencia}}$$

$$\text{Factor de Potencia Monofásica} = \frac{\text{Voltaje de entrada}}{\text{Volts} \times \text{Amperes}}$$

$$\text{Potencia Trifásica} = \frac{\text{Volts} \times \text{Amperes} \times 1.732 \times \text{Eficiencia} \times \text{Factor de Potencia}}{746}$$

$$\text{Caballos de Fuerza de una sola fase} = \frac{\text{Volts} \times \text{Amperes} \times \text{Eficiencia} \times \text{Factor de Potencia}}{746}$$

PARA BOMBAS

$$\text{Potencia} = \frac{\text{GPM} \times \text{Head (ft)} \times \text{Gravedad Especifica}}{33\,000 \times \text{Eficiencia}}$$

PARA VENTILADORES Y SOPLADORES

$$\text{Potencia} = \frac{\text{CFM} \times \text{Cabeza (lbs./sq.ft.)}}{33\,000 \times \text{Eficiencia}}$$

ECUACIONES DE APLICACIONES PARA MOTORES

$$\text{Torque 1b ft} = \frac{\text{Potencia} \times 5250}{\text{RPM}}$$

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Torque (lb. ft) } \times \text{PRM}}{5250}$$

TIEMPO PARA QUE EL MOTOR ALCANCE LA VELOCIDAD DE FUNCIONAMIENTO EN SEGUNDOS

$$\text{Segundos} = \frac{\text{WK}^2 \times \text{Cambio de Velocidad}}{308 \times \text{Par de aceleración promedio}}$$

$$\text{WK}^2 = \text{Inercia del rotor} + \text{inercia de carga (lb.ft}^2\text{)}$$

$$\text{Par de aceleración promedio} = \frac{[(\text{FLT} + \text{BDT})/2] + \text{BDT} + \text{LRT}}{3}$$

$$\text{Carga WK}^2 \text{ del eje del motor} = \frac{\text{WK}^2 (\text{Load}) \times (\text{Load RPM})^2}{(\text{Motor RPM})^2}$$

$$\text{Estrés del eje (lbs.Per in}^2\text{)} = \frac{\text{HP} \times 321,000}{\text{RPM} \times (\text{Shaft Diameter})^3}$$

LEY DE OHM

