



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICE-RECTORADO DE PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
TRABAJO DE GRADO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
CONJUNTO DE MÁQUINAS
BOBINADORAS CON SISTEMA DE
VELOCIDAD VARIABLE.**

Autor:

TM. Leonett M. José

C.I 21.250.046

Ciudad Guayana, Marzo del 2017

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
CONJUNTO DE MÁQUINAS
BOBINADORAS CON SISTEMA DE
VELOCIDAD VARIABLE.**



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL POLITÉCNICA
“ANTONIO JOSÉ DE SUCRE”
VICE-RECTORADO DE PUERTO ORDAZ
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
TRABAJO DE GRADO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONJUNTO DE MÁQUINAS
BOBINADORAS CON SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE.**

TM. Leonett Marcano José Antonio.

Trabajo de Grado presentado ante el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la UNEXPO Vice-Rectorado Puerto Ordaz, como requisito para optar al título de Ingeniero Electricista.

Ing. Marlon Briceño
Tutor Industrial

Ing. Rodrigo Gaete
Tutor Académico

TM. Leonett Marcano José Antonio.

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONJUNTO DE MÁQUINAS
BOBINADORAS CON SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE.**

Ciudad Guayana, Marzo 2017.

Páginas: 140

**Universidad Nacional Experimental Politécnica
“Antonio José de Sucre”
Vicerrectorado Puerto Ordaz
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Trabajo de Grado.**

Tutor Industrial: Ing. Marlon Briceño.

Tutor Académico: Ing. Rodrigo Gaete.

Este trabajo contiene: Resumen, Índice, Introducción, Capítulo I. El Problema, Capítulo II. Marco Teórico, Capítulo III. Marco Metodológico, Capítulos IV. Resultados, Capítulo V. Implementación, Conclusiones, Recomendaciones y Referencias Bibliográficas.

Palabras claves: Bobinas, máquina bobinadora, velocidad variable, variador de frecuencia, motor trifásico, programación, parámetros de programación, transformador.

DEDICATORIA

Dedico el rendimiento Académico explorado con esfuerzo y firmeza a:

Jehová Dios quien estuvo, está y estará en todos los momentos difíciles a lo largo de mi vida y me ha dado todo el apoyo y fuerzas para seguir adelante a pesar de las dificultades.

En especial a mis padres José Leonett que lastimosamente falleció hace ya 13 años y Rosa Marcano, mi madre que realizó el papel de madre y padre, gracias por traerme al mundo darme educación y el apoyo necesario para ser una persona exitosa y poder lograr mis metas, y en los momentos en que más los necesitaba ella estaban ahí para mantenerme con solidez y seguridad.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente quiero agradecerle a Jehová Dios todo poderoso, por cuidarme y protegerme de todo mal y peligro y brindarme la oportunidad de cumplir un logro más para aproximarme a unas de mis metas principales la cual es graduarme. Por ayudarme a seguir adelante y poder solucionar de manera positiva los problemas y situaciones que se me han presentado, y por medio de esta redacción quiero agradecerle a mi Dios por todas las oportunidades y bendiciones.

A mi madre Rosa Marcano, como también a mis hermanos Alvin Davis Rodríguez y Julio Leonett, por tenerme paciencia y brindarme apoyo en las actividades asignadas a lo largo de mis estudios; además por siempre estar pendiente de mis necesidades y por facilitarme los estudios y manifestar su apoyo ilimitado.

A Luisana Rivero “mi Lulu”, por apoyarme siempre que lo necesite, por tranquilizarme en esos momentos que me sentía estresado por la elaboración de este trabajo de grado y recordarme que puedo cumplir con cualquier desafío que se me presente.

A mis amigos: Freda Medina, José Pacheco, Indra Álvarez, Willmer Rodríguez, Gerardo Soto, José Piñate, Julio Ugas, Vladimir Infante y Keiner González; por ayudarme a crecer, por acompañarme en esa travesía que tiene por nombre UNEXPO y compartir infinidades de horas estudiando y noches sin dormir realizando proyectos, gracias por enseñarme que siempre existe una mejor manera de realizar las actividades.

A la Universidad Nacional Experimental Politécnica (UNEXPO), por ser mi casa de estudio y poder transmitirme los conocimientos para poder ingresar en el mundo empresarial y formarme como Ingeniero Electricista. También a

mi tutor Académico Ing. Rodrigo Gaete, por darme su apoyo y asesoría en la elaboración de este trabajo de grado.

Y, por último, pero no menos importante quiero agradecerle a mi tutor industrial Ing. Marlon Briceño, al presidente de SERINDELCA el Sr. Rafael Prieto, Ing. Hennis Alfonzo e Ing. Giuliana Marcelli por aceptarme en su grupo de trabajo y brindarme las herramientas para poder llevar a cabo este trabajo de grado.

¡Gracias!

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO I	18
EL PROBLEMA	18
Planteamiento del problema	19
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.	20
Objetivo General.....	20
Objetivos Específicos.	20
Justificación	21
Alcance y Delimitaciones.....	21
Limitaciones.....	22
CAPÍTULO II	23
MARCO TEÓRICO	23
BREVE DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y ÁREA DE TRABAJO.	23
Estructura de cargos SERINDELCA	29
Proceso de producción vinculado con el tema del anteproyecto.	30
Descripción del área de trabajo.....	30
Descripción del equipo humano.	30
ANTECEDENTES REVISIÓN DE LA LITERATURA	31
Sustentación Teórica.....	33
CAPITULO III	55
MARCO METODOLÓGICO	55
CAPITULO IV.....	60
RESULTADOS.....	60

Realizar los planos de la estructura física de las máquinas bobinadoras empleando AutoCad como software comercial.	60
Dimensionar y fabricar el transformador trifásico seco para la alimentación de la máquina bobinadora.	74
Evaluar en el mercado el variador de frecuencia a utilizar.	86
Realizar un Análisis de precios unitarios (APU) de la máquina bobinadora.	99
Programar el variador de frecuencia seleccionado haciendo uso del lenguaje interno de programación del mismo.	112
CAPITULO V.....	125
IMPLEMENTACIÓN	125
CONCLUSIONES	135
RECOMENDACIONES.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tensiones normalizadas para las redes trifásicas en baja tensión. .	39
Tabla 2 Conexiones de los motores trifásicos y sus potencias nominales....	40
Tabla 3 Comparación de las características de funcionamiento, que muestran el gran interés de los variadores de frecuencia.....	53
Tabla 5 Tabla de alambre de cobre esmaltado.....	82
Tabla 6 Tabla de calibre de alambre para transformadores por kVA.....	83
Tabla 7 Grupo de programación básica.....	112
Tabla 8 Grupo de programación avanzada.....	113
Tabla 9 Códigos de fallo del variador de frecuencia Allen-Bradley.....	120

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ubicación geográfica.	27
Ilustración 3 Estructura de cargos SERINDELCA.....	29
Ilustración 2 Organigrama General.	29
Ilustración 4 Motor eléctrico.	34
Ilustración 5 Partes de un motor jaula de ardilla.	35
Ilustración 6 Partes de un motor, rotor bobinado.	35
Ilustración 7 Componentes de un motor asíncrono.....	36
Ilustración 8 Placa característica de un Motor.	41
Ilustración 9 Torque o Par.....	43
Ilustración 10 Esquema eléctrico, transformador monofásico.....	46
Ilustración 11 Esquema eléctrico, transformador trifásico.....	47
Ilustración 12 Plano de máquina bobinadora vista isométrica derecha.	60
Ilustración 13 Plano de máquina bobinadora vista isométrica izquierda.	61
Ilustración 14 Plano de máquina bobinadora vista lateral.....	62
Ilustración 15 Plano de máquina bobinadora vista aerea.	63
Ilustración 16 Plano de máquina bobinadora.	64
Ilustración 17 Plano de máquina bobinadora, diferentes vistas.	65
Ilustración 18 Tabla de capacidades de conductores.	69
Ilustración 19 Circuito de potencia y control.	71
Ilustración 20 Circuito de potencia y control con variador de frecuencia a 10 Hz.	71
Ilustración 21 Circuito de potencia y control con variador de frecuencia a 60 Hz.	72
Ilustración 22 Circuito de potencia y control con variador de frecuencia a 100 Hz.	72
Ilustración 23 Relación de transformación del transformador trifásico seco de 75 kVA.	75
Ilustración 24 Medidas del núcleo del transformador.....	76

Ilustración 25 Cálculo de vueltas en alta tensión, teniendo las vueltas de baja tensión.	76
Ilustración 26 Cálculo de vueltas de Alta tensión.....	76
Ilustración 27 Cálculo de sección transversal del núcleo.....	77
Ilustración 28 Área neta del núcleo.....	78
Ilustración 29 Área efectiva del núcleo del transformador.	78
Ilustración 30 Determinación de los Volts/Vuelta.....	79
Ilustración 31 Parámetros para el cálculo del conductor para baja tensión. .	80
Ilustración 32 Área efectiva en mm ² de pletina de cobre.....	81
Ilustración 33 Criterios de selección de pletinas de cobre a usar.	82
Ilustración 34 Fabricación de Bobina de transformador.....	84
Ilustración 35 Fabricación de Bobina de transformador.....	84
Ilustración 36 Fabricación de bobina de baja tensión.	84
Ilustración 37 Transformador trifásico fabricado, salidas de alta.	84
Ilustración 38 Transformador trifásico fabricado, salidas de alta.	84
Ilustración 39 Transformador trifásico fabricado.	84
Ilustración 40 Prueba de resistencia de aislamiento.....	85
Ilustración 41 Medida de aislamiento de alta vs baja.....	85
Ilustración 42 TTR Trifásico usado para corroborar la relación de transformación.	85
Ilustración 43 Prueba de Relación de transformación.....	85
Ilustración 44 Prueba de Relación de transformación y resistencia de aislamiento.....	85
Ilustración 45 Aplicaciones de variador de frecuencia SIEMENS, SINAMICS G120C.	86
Ilustración 46 Características del variador de frecuencia SINAMICS G120C.	87
Ilustración 47 Capacidad de sobrecarga del variador de frecuencia SINAMICS G120C.	88

Ilustración 48 Características destacadas del variador de frecuencia SINAMICS G120C.	88
Ilustración 49 Datos técnicos del variador de frecuencia SINAMICS G120C.	89
Ilustración 50 Especificaciones de protección del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.	90
Ilustración 51 Características eléctricas del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.	91
Ilustración 52 Características de control del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.	91
Ilustración 53 Características de entradas y salidas del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.	92
Ilustración 54 Diagrama de bloques de control del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.	93
Ilustración 55 Dimensiones del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.	94
Ilustración 56 Características de conexión de red del variador de frecuencia ABB, ACS550.	94
Ilustración 57 Características de conexión de motor del variador de frecuencia ABB, ACS550.	95
Ilustración 58 Características de conexiones de control programables del variador de frecuencia ABB, ACS550.	96
Ilustración 59 Conexiones de control del variador de frecuencia ABB, ACS550.	97
Ilustración 60 Presupuesto.	99
Ilustración 61 APU Partida 1.	100
Ilustración 62 APU Partida 1 continuación.	101
Ilustración 63 APU Partida 2.	102
Ilustración 64 APU Partida 3.	103
Ilustración 65 APU Partida 4.	104

Ilustración 66 APU Partida 5.....	105
Ilustración 67 APU Partida 6.....	106
Ilustración 68 APU Partida 7.....	107
Ilustración 69 APU Partida 8.....	108
Ilustración 70 APU Partida 9.....	109
Ilustración 71 APU Partida 10.....	110
Ilustración 72 APU Partida 11.....	111
Ilustración 73 Proceso de mecanizado del eje.....	125
Ilustración 74 Proceso de mecanizado del eje 2.....	125
Ilustración 75 Chumacera P210.....	125
Ilustración 76 Conjunto de chumacera utilizadas.....	125
Ilustración 77 Eje mecanizado.....	125
Ilustración 78 Piñon motriz del eje.....	125
Ilustración 79 Presentación de eje con chumaceras.....	126
Ilustración 80 Colocación de eje con chumaceras en estructura.....	126
Ilustración 81 Eje montado junto a la cadena.....	126
Ilustración 82 Motor marca Flender de 4 kW.....	126
Ilustración 83 Colocación de plato corona con correa motriz.....	126
Ilustración 84 Montaje de eje con correa motriz.....	126
Ilustración 85 Brazo motriz.....	127
Ilustración 86 Contador de vueltas.....	127
Ilustración 87 Máquina Bobinadora.....	127
Ilustración 88 Máquina bobinadora con punto giratorio.....	127
Ilustración 89 Máquina bobinadora, vista lateral.....	127
Ilustración 90 Máquina Bobinadora #2.....	127
Ilustración 91 Disposición y cableado de circuitos de control y potencia de la máquina bobinadora.....	128
Ilustración 92 Circuito de control.....	128
Ilustración 93 Variador de frecuencia PowerFlex 40P.....	129

Ilustración 94 Caja principal de interruptores del conjunto de máquinas bobinadoras.	129
Ilustración 95 Pantalla de cristal líquido, 22-HIM-A3.....	130
Ilustración 96 Pantalla de ingreso de parámetros.	130
Ilustración 97 Programando parámetro P031.	130
Ilustración 98 Entrada de pantalla líquida de programación al variador de frecuencia.	130
Ilustración 99 Programando parámetro P038.	131
Ilustración 100 Opciones de programación de parámetro P038.	131
Ilustración 101 Programación de parámetro A091.	131
Ilustración 102 Opciones de programación del parámetro A091.	131
Ilustración 103 Onda de corriente de dos fases con el variador encendido a 0 Hz, con PWM programado de 4 Khz.....	132
Ilustración 104 Onda de corriente de dos fases con el variador encendido a 0 Hz, con PWM programado de 2 Khz.....	133
Ilustración 105 Onda de corriente de dos fases con todos los variadores de frecuencia encendidos y con Hz diferente de 0.	133
Ilustración 106 Proceso de fabricación de devanado de alta Tensión de un TX de 25 kVA, hecho en máquina bobinadora fabricada.	134
Ilustración 107 Proceso de fabricación de devanado de alta Tensión de un TX de 25 kVA, hecho en máquina bobinadora fabricada (2).	134
Ilustración 108 Proceso de fabricación de devanado de alta Tensión de un TX de 25 kVA, hecho en máquina bobinadora fabricada (3).	134
Ilustración 109 Proceso de fabricación de devanado de alta Tensión de un TX de 25 kVA, hecho en máquina bobinadora fabricada (4).	134

LEONETT MARCANO JOSÉ ANTONIO, (2017). “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONJUNTO DE MÁQUINAS BOBINADORAS CON SISTEMA DE VELOCIDAD VARIABLE.”, TRABAJO DE GRADO. Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José De Sucre”. Vice-Rectorado Puerto Ordaz. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Tutor Académico: Ing. Rodrigo Gaete. Tutor Industrial: Ing. Marlon Briceño.

RESUMEN

El presente trabajo consiste en elaborar un estudio para diseñar e implementar un sistema de máquinas bobinadoras con un sistema de velocidad variable en la empresa SERINDELCA, con el fin de optimizar y mejorar la calidad de las bobinas fabricadas dentro de la empresa. Para el desarrollo de este trabajo fue necesario extraer información de las características técnicas de los equipos que componen el circuito de control de las máquinas bobinadoras. Posteriormente se procedió a recopilar toda la data referente al funcionamiento y operación del mismo, donde se utilizó técnicas de recolección de datos y entrevista no estructurada. Se procedió a realizar un análisis de precios unitarios para presupuestar el precio total de cuánto costaría la implementación de las máquinas bobinadoras diseñadas. Se programó el variador de frecuencia seleccionado para modificar los parámetros y obtener el resultado deseado.

Palabras Claves: Bobinas, máquina bobinadora, velocidad variable, variador de frecuencia, motor trifásico, programación, parámetros de programación, transformador.

INTRODUCCIÓN

Actualmente tanto en la industria, como en aplicaciones específicas, es común encontrarse con la necesidad de variar la velocidad de un motor en forma continua y manteniendo el torque en el eje. También en ocasiones es necesario proporcionar a los motores un arranque suave y gradual. Para ello se idearon gran cantidad de motores específicos y equipos de regulación que permitan satisfacer estas necesidades. Entre los más comunes en uso, se encuentran los motores de corriente continua controlados mediante la tensión del inducido y los motores asincrónicos trifásicos controlados mediante la variación de frecuencia. Los motores de continua tienen las desventajas de ser más caros, voluminosos y necesitar mayor mantenimiento debido a que utilizan carbones. Por lo expuesto anteriormente y por el amplio desarrollo de dispositivos de estado sólido que permiten conmutar grandes corrientes a tensiones industriales, se popularizó el uso de variadores de frecuencia para motores asincrónicos.

En la fabricación de bobinas de transformadores tanto de distribución como de potencia es de vital importancia contar con máquinas bobinadoras que puedan bobinar a diferentes velocidades y cuenten con un torque elevado.

En esta investigación se diseñó e implementó un conjunto de máquinas bobinadoras con un sistema de velocidad variable para la empresa Servicios industriales Delta, C.A. "SERINDELCA", la cual es de vital importancia en el proceso productivo para la empresa.

Para la realización de este proyecto fue necesario emplear técnica como entrevista no estructurada y revisión documental. Se hicieron

entrevistas del tipo no estructurada, con el propósito de establecer los criterios básicos del proyecto y tener una dirección clara con respecto al objetivo general del tema a estudiar. La entrevista fue realizada al personal. La utilización de los Software AutoCAD, Cade_Simu el P3 fueron de vital importancia para la realización de este trabajo de grado.

El presente trabajo contiene la siguiente estructura:

Capítulo 1. El problema: Consta de planteamiento del problema, objetivos, alcance, justificación y delimitación.

Capítulo 2. Marco de teórico: Se detallan los aspectos referidos a la empresa, área de pasantía, descripción del trabajo realizado, antecedentes de la investigación y las bases teóricas.

Capítulo 3. Marco metodológico: Se detallan el tipo y diseño de la investigación, las técnicas, instrumentos y procedimientos para la recolección de datos.

Capítulo 4. Resultados: Se exponen los resultados obtenidos de los objetivos planteados, tablas de resultados y gráficas con sus análisis correspondientes.

Capítulo 5. Implementación.

Finalmente, se encuentran las conclusiones, recomendaciones y las referencias bibliográficas consultadas.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

SERINDELCA (Servicios Industriales Delta, C.A) se creó hace 10 años, con la finalidad de brindar servicios a transformadores de distribución y potencia, así como de brindar asesoría técnica en las subestaciones de las empresas que se encuentran ubicadas en Ciudad Guayana. Posteriormente se fue involucrando en la fabricación de transformadores de distribución gracias a un convenio efectuado con la empresa ELEBOL, actualmente el principal proceso productivo de SERINDELCA es la fabricación de transformadores de distribución y la reparación de transformadores de potencia (Tratamiento de aceite, Cambio de empacaduras, reparación de la parte activa del transformador, pruebas eléctricas, pruebas físico-químicas al aceite).

Para la fabricación de las bobinas de los transformadores se debe contar con las máquinas adecuadas para la realización de los procesos de fabricación de los devanados de baja y alta tensión y por ello SERINDELCA necesita de un conjunto de máquinas bobinadoras que sean capaces de poder variar la velocidad de la máquina sin perder el torque.

Para solventar este problema en el presente trabajo de grado se diseñará un conjunto de tres (3) máquinas bobinadoras para ser implementadas.

Planteamiento del problema

La empresa “Servicios Industriales Delta, C.A. (SERINDELCA)” se encarga de realizar servicios a transformadores, motores, sub-estaciones eléctricas, pruebas y puesta en marcha de transformadores de potencia, equipos eléctricos y soluciones integrales en ingeniería eléctrica. Su principal actividad es la reparación y reconstrucción tanto de la parte activa como de las cubas de transformadores de distribución y de potencia. En lo que respecta a la reparación de los devanados de los transformadores se utiliza una máquina bobinadora que en esencia funciona con el mismo principio de un torno eléctrico, cuenta con un motor eléctrico y un sistema de piñones que le dan movimiento a un eje en el cual se montan los moldes para comenzar a arrollar los devanados de baja tensión (láminas de aluminio ó platinas de cobre) y los devanados de alta tensión (alambre de cobre).

SERINDELCA cuenta con una sola máquina bobinadora muy antigua que funciona accionada por un acelerador a pedal, contando con un motor monofásico de velocidad constante, teniendo como principal problema que, al momento de realizar bobinas de gran tamaño, es necesario hacerlas con baja velocidad y con un torque elevado, debido a que los devanados que se van arrollando en el molde deben quedar bien prensados para que el núcleo del transformador encaje perfectamente en la bobina. No se cuenta con un sistema de velocidad variable y con una máquina cuyo diseño soporte el torque suficiente para la construcción de dichas bobinas. También se presenta con el problema de una baja producción motivado a que solo se tiene una máquina bobinadora para dos técnicos bobinadores que se permutan para ir realizando las bobinas de los transformadores.

La reparación y reconstrucción de bobinas de transformadores es el principal proceso productivo de SERINDELCA, contar con una sola máquina bobinadora perjudica su capacidad productiva, ya que esta es antigua y se le

debe hacer mantenimiento periódico a sus piezas y en ocasiones el reemplazo de las mismas, teniendo como consecuencia la salida de operación de la máquina bobinadora y por ende se detiene el proceso productivo de la empresa. Debido a que la máquina es de velocidad constante, al momento de fabricar bobinas de un tamaño considerable (mayores a 300 kVA), se necesitan los dos técnicos bobinadores para su realización, ya que al detener la máquina para verificar algún detalle del devanado o ir agregándole las salidas (TAPS) a la bobina, por motivo del peso esta se devuelve y uno de los operarios debe de sujetarla con un gran esfuerzo físico.

Debido a la problemática expuesta anteriormente, se requiere hacer un diseño del sistema de control y potencia del accionamiento eléctrico y de la estructura mecánica de la máquina bobinadora.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Objetivo General.

Diseñar e implementar un conjunto de máquinas bobinadoras con sistema de velocidad variable.

Objetivos Específicos.

1. Realizar los planos de la estructura física de las máquinas bobinadoras empleando AutoCAD como software comercial.
2. Diseñar los circuitos de potencia y control de la máquina bobinadora y Simularlos con un programa comercial.
3. Dimensionar y fabricar el transformador trifásico seco para la alimentación de la máquina bobinadora.
4. Evaluar en el mercado el variador de frecuencia a utilizar.
5. Realizar un Análisis de precios unitarios (APU) de la máquina bobinadora.
6. Programar el variador de frecuencia seleccionado haciendo uso del lenguaje interno de programación del mismo.

Justificación

El estudio para el diseño y la implementación de las máquinas bobinadoras con sistema a velocidad variable es de vital importancia, debido a que se contará con un sistema de máquinas la cual el técnico operador será capaz de controlar de manera muy precisa la velocidad del motor de la máquina, pudiendo ir lento en el momento de ir arrollando el devanado de baja tensión de los transformadores (que regularmente es de lámina de aluminio) e ir más rápido cuando este fabricando el arrollado de alta tensión (alambre de cobre) y de manera resaltante no perder el torque necesario para mantener la presión al momento de ir fabricando los dos devanados de las bobinas de los transformadores, teniendo así una mayor calidad en las bobinas fabricadas. Este control de velocidad y máximo uso del torque es logrado mediante un variador de frecuencia. Teniendo una vital importancia en el proceso productivo de SERINDELCA, ya que con estas se disminuirán los tiempos de fabricación de bobinas y se podrán realizar más de una al mismo tiempo.

Alcance y Delimitaciones.

El trabajo estará focalizado en la empresa SERINDELCA, en el área de bobinado de transformadores y motores. Teniendo como eje principal la mejora de las máquinas bobinadoras utilizadas en esta área; para la realización de este trabajo de grado se cuenta con tubos estructurales necesarios para la construcción de la estructura mecánica de las máquinas bobinadoras, así como también con los recursos económicos para la adquisición de los motores trifásicos y los sistemas de variación de velocidad. Es importante resaltar que este trabajo está focalizado en la instalación y programación de una nueva tecnología para controlar la velocidad y de las máquinas bobinadoras.

Este diseño e implementación del mismo se elaboró por medio de la recolección de información recopilada durante la estadía en la empresa e

investigaciones que se ejecutaron al transcurso del desarrollo de este estudio. Las actividades necesarias para la elaboración del presente trabajo de grado fueron coordinadas por la división de ingeniería de proyectos, por el tutor industrial y el tutor académico.

Limitaciones.

La principal limitación que se presenta, es la adquisición de los equipos y materiales (motores, sistemas de variación de velocidad, piñones) en la zona.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y ÁREA DE TRABAJO.

Servicios Industriales Delta “SERINDELCA” es una empresa que se encarga del adiestramiento, consultoría, capacitación, asesorías e ingeniería, realización de trabajos, reparaciones y mantenimientos industriales en las áreas de electricidad, instrumentación, metalmecánica, obras civiles, mecánica para la industria petrolera, minera, petroquímica y naval; diseño, construcción y montajes industriales en general, desarrollo de proyectos e ingeniería en las áreas petrolera, petroquímicas, gas, minera, marina, construcción y urbanismo. Pudiendo a la vez comprar, vender, distribuir al mayor y detal: materiales, equipos, materias primas y terminadas, insumos para la industria petrolera, minera, construcción; además participando en los programas de empresas de producción social, promovidos por PDVSA y sus empresas filiales. [11]

SERINDELCA se dedica a prestar servicios de mantenimiento, reparación, instalación, pruebas y puesta en marcha de transformadores de potencia, equipos eléctricos y soluciones integrales en ingeniería eléctrica.

Misión de la Empresa

Prestar servicios de mantenimiento, reparación, instalación, pruebas y puesta en marcha de transformadores de potencia, equipos eléctricos y soluciones integrales en ingeniería eléctrica, de alta calidad,

oportunos con equipos de alta tecnología y el profesionalismo, ética y responsabilidad de nuestro personal, contribuyendo a la eficiencia de nuestros clientes y asegurando el crecimiento de la empresa. [11]

Visión de la Empresa

Ser una empresa líder en el mercado nacional y latinoamericano en servicios para transformadores de potencia y soluciones integrales en ingeniería eléctrica comprometida con la excelencia y calidad de los servicios que genere el crecimiento y cumplimiento de nuestros clientes, comunidad, recurso humano y de nuestra organización. [11]

Valores de la Empresa

Búsqueda de la excelencia:

Valoramos la búsqueda de la excelencia y el espíritu de superación, lo cual reflejamos en nuestro espíritu emprendedor, en nuestra actitud innovadora y abierta al cambio, en la búsqueda permanente de la superación de nuestros logros, en nuestro compromiso en mejorar continua y sistemáticamente la calidad de nuestros procesos, en el valor que le damos al logro de las metas y a la productividad, en continua actualización académica, profesional y tecnológica y, en general, en la búsqueda de las condiciones necesarias para fomentar y mantener la excelencia en todas las actividades del quehacer de nuestra empresa. [11]

Mística:

Valoramos la mística como la cualidad particular que hace confluir nuestros intereses individuales con los fines esenciales de la empresa y también como la entrega personal de cada miembro al cumplimiento de la misión de la empresa, de cara al presente y al futuro. [11]

La Ética:

Nuestras actividades son realizadas bajo principios morales en la relación con nuestros accionistas, trabajadores, clientes, proveedores, contratistas y comunidad, guiados por la transparencia en todos nuestros actos y por el cumplimiento estricto de los acuerdos y compromisos adquiridos. [11]

La Honestidad:

Expresada por el respeto entre los integrantes de la empresa y por los clientes, proveedores, contratistas y comunidad. Esta actitud siembra confianza en SERINDELCA, para aquellos con quienes mantenemos relaciones. [11]

La Lealtad:

Porque integramos conductas y actitudes para ser cada vez más fiel nuestro apego a la cultura del negocio y al cumplimiento de nuestra misión como empresa. Somos leales hacia nosotros mismos y todas las personas o instituciones con quienes interactuamos. [11]

La Eficiencia:

Realizamos todas nuestras actividades laborales regidas por altos niveles de exigencia en el desempeño de todos los integrantes de la organización, ejecutando todas las tareas delegadas con una alta calidad en los resultados parciales y totales. Se manifiesta en la óptima calidad de nuestros productos y servicios siempre dentro de los más altos estándares de exigencia internacional. [11]

La Responsabilidad:

Responsabilidad en todas las manifestaciones organizacionales, profesionales y personales, somos consecuentes con los principios de

nuestra empresa. Nuestros trabajadores cumplen sus deberes conociendo que son respetados en sus compromisos derivados de nuestra misión. [11]

El Respeto:

Promovemos la acción considerada y respetuosa hacia nuestros compañeros de trabajo, familiares, clientes, proveedores y comunidad en general manteniendo relaciones interpersonales basadas en la colaboración, el respeto y la honestidad. [11]

El profesionalismo:

Porque creemos en el desarrollo del talento, premiamos el desempeño eficiente y asumimos con empeño y dedicación el reto de nuestra formación. Procuramos el mejoramiento continuo de nuestras actividades mediante el análisis crítico de los procesos actuales y su optimización. [11]

Sentido de Pertenencia:

Se manifiesta en la identificación de nuestros trabajadores con la visión, misión y valores de la organización y en el empeño y dedicación por la obtención de las metas que hacen de SERINDELCA, SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A. una empresa exitosa.[11]

Trabajo seguro y en equipo:

Fomentamos la integración de equipos con el propósito de alcanzar metas comunes, y bajo el compromiso de identificar y controlar los riesgos inherentes en el desarrollo de las operaciones, asegurando condiciones de trabajo seguras y propicias para ejecutar nuestras actividades; así mismo garantizar el cumplimiento de la normativa legal vigente en materia de Seguridad Industrial, Higiene Ocupacional y Ambiente con el propósito de proteger la salud y vida de nuestros trabajadores, prevenir daños al ambiente, propiedad y a la comunidad. [11]

Conciencia ecológica:

En SERINDELCA valoramos la estética, el equilibrio con el medio social y natural y nuestra cultura de cuidado a las instalaciones físicas y al medio ambiente. [11]

Ubicación Geográfica

SERINDELCA se encuentra ubicada en Ciudad Guayana, en la zona de Unare 1, en la calle Manzanares al lado de Gedisa.

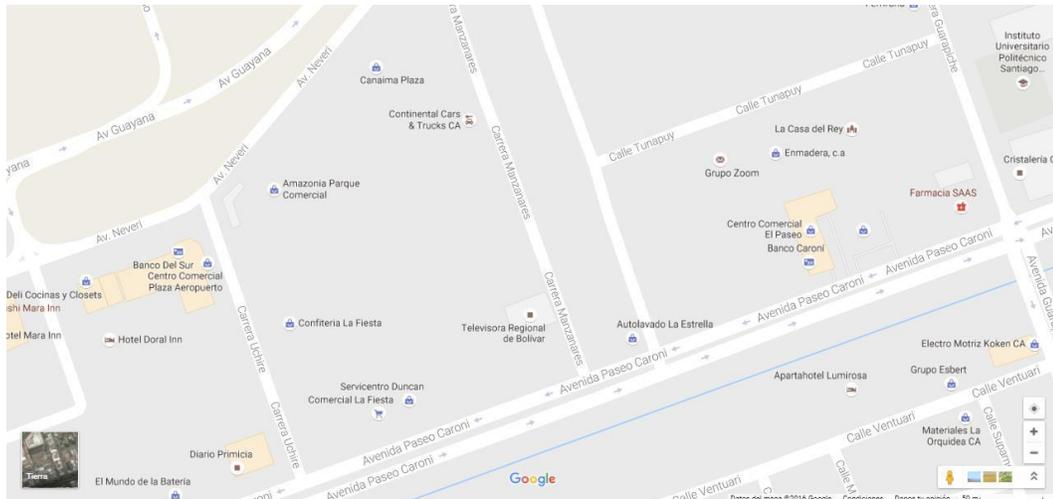


Ilustración 1 Ubicación geográfica.

Fuente: Google.maps

Estructura Organizativa

SERINDELCA, posee una estructura totalmente flexible, donde los cargos son sustituidos por funciones y los departamentos por Unidades Funcionales. Esto permite a la empresa adaptarse continuamente a los cambios del entorno, sin que la misma se vea afectada desde el punto de vista productivo. [11]

Por ello se desarrolló un Organigrama Funcional, en el cual se detallan cada una de las funciones primordiales que se desarrollan en la empresa. Es entendible que, dependiendo de la carga de trabajo, varias funciones podrán ser llevadas por una misma persona, sin que esto sea contrario a las políticas de la empresa. Obviamente con altos niveles de producción las funciones se delegarán en nuevos empleados, según lo requiera la organización. [11]

Para entender el funcionamiento de cada una de las unidades Funcionales de SERINDELCA, se muestran a continuación las unidades que la conforman:

Presidencia

Gestión de la Calidad

Administración y Contabilidad

Gestión SHA

Comercialización y Ventas

Compras

Servicios

Organigrama General

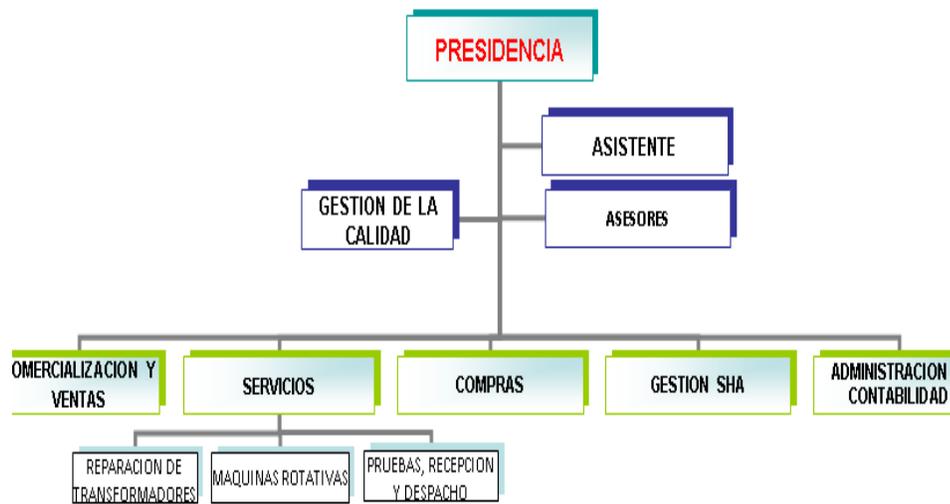


Ilustración 2 Organigrama General.

Fuente: SERINDELCA. MANUAL DE ORGANIZACIÓN SAD-MA-001.

Estructura de cargos SERINDELCA

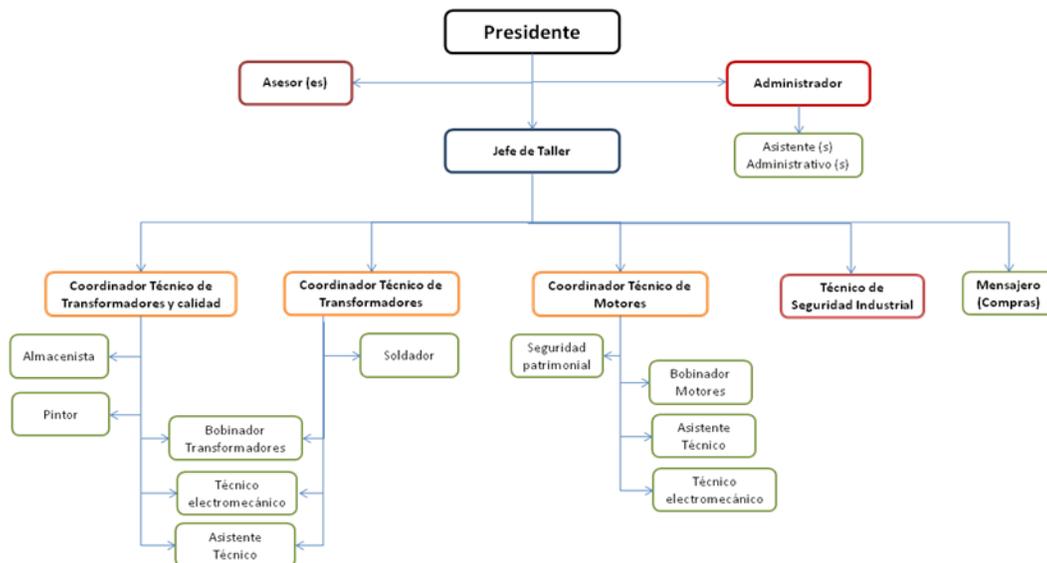


Ilustración 3 Estructura de cargos SERINDELCA

Fuente: SERINDELCA. MANUAL DE ORGANIZACIÓN SAD-MA-001.

Proceso de producción vinculado con el tema del anteproyecto.

La empresa SERINDELCA tiene como principal proceso productivo la reparación de la parte activa de transformadores trifásicos tipo sub-estación y pad mounted y de transformadores monofásicos de distribución tipo normal y unicornio, dicha reparación de la parte activa de los transformadores consta de realizar las bobinas (devanados) de baja tensión y alta tensión, los cuales deben de ser arrollados alrededor de un molde con una presión suficiente para que los devanados conserven la forma y para ello se utilizan máquinas bobinadoras que son operadas por un personal calificado.

Descripción del área de trabajo.

El presente trabajo se realizará en la empresa SERINDELCA, en la división de ingeniería de proyecto.

El área de bobinado se encuentra ubicada dentro del organigrama en la zona de Ingeniería de proyecto y servicios, en esta área se realizan las bobinas de los transformadores monofásicos y trifásicos, así como también las bobinas de los motores que se reparan en SERINDELCA. Esta área cuenta con una máquina bobinadora la cual representa un peligro, debido a que es una máquina muy vieja y posee partes móviles que pueden ocasionar un accidente al operador.

Descripción del equipo humano.

Cotidianamente se relacionarán con el pasante Tesista 7 personas, 3 Ingenieros Electricistas, 1 Ingeniero Mecánico, 1 Técnico de Seguridad industrial y 2 técnicos operadores de la máquina bobinadora.

ANTECEDENTES REVISIÓN DE LA LITERATURA

Tanto en la industria, como en aplicaciones específicas, es común encontrarse con la necesidad de variar la velocidad de un motor en forma continua y manteniendo el torque en el eje. También en ocasiones es necesario proporcionar a los motores un arranque suave y gradual. Para ello se idearon gran cantidad de motores específicos y equipos de regulación que permitan satisfacer estas necesidades. Entre los más comunes en uso, se encuentran los motores de corriente continua controlados mediante la tensión del inducido y los motores asíncronos trifásicos controlados mediante la variación de frecuencia. Los motores de continua tienen las desventajas de ser más caros, voluminosos y necesitar mayor mantenimiento debido a que utilizan carbones. Por lo expuesto anteriormente y por el amplio desarrollo de dispositivos de estado sólido que permiten conmutar grandes corrientes a tensiones industriales, se popularizó el uso de variadores de frecuencia para motores asíncronos.

A continuación, se presentan algunos trabajos relacionados con la instalación de variadores de frecuencia, con el fin de variar la velocidad a motores asíncronos y conservar un torque elevado:

- José Ángel Jacho Toapanta, realizó un tema de tesis cuyo tema es: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA DEMOSTRACIÓN PRÁCTICA EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS UTILIZANDO EL VARIADOR DE FRECUENCIA COMO FUENTE DE AHORRO DE ENERGÍA. (Jacho, 2012).

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, demostrar el ahorro de energía que consume un motor eléctrico tipo jaula de ardilla cuando se usa con un variador de frecuencia; en relación al valor de consumo de energía si se utiliza ese mismo motor,

pero en forma independiente. Buscando este objetivo utilizaremos un equipo DEMO, el mismo que está formado por un variador de frecuencia, que controla a un motor eléctrico asincrónico AC, en conjunto a instrumentos de medida de parámetros eléctricos.

- César Andrés Felizzola Piñate, desarrollo como tema de tesis el Diseño e implementación de un sistema de control para telares circulares basado en PLC's y VSD's. (Felizzola, 2008)

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, diseñar e implementar un sistema de control para un telar circular marca Mayer modelo MV1, el cual originalmente se encontraba controlado por elementos electromecánicos, principalmente contactores y relés. El sistema implementado debió lograr una migración efectiva de los elementos anteriormente mencionados a dispositivos de control modernos, más específicamente a un PLC (Programmable Logic Controller), y a su vez reducir el número de componentes que actúen en el proceso. El sistema de control diseñado debió mantener las características de funcionalidad y operación de la máquina original, a fin de que a los tejedores les resultara familiar su modo de operación. Adicionalmente, se debió diseñar e implementar un sistema que controlase el motor Dietz MotorenDR100/130/4-20, sin la necesidad de implementar otra serie de dispositivos para cumplir con los requerimientos de: **velocidad variable, alta velocidad de frenado, arranque controlado y protección eléctrica y térmica**. Los equipos seleccionados para la migración entre el sistema anterior y el actual, debió proponerse e implementarse con equipos disponibles en el mercado nacional, por lo que se debió realizar un estudio sobre las distintas opciones y luego de evaluar aspectos críticos como ventajas técnicas, tiempos de entrega y precio, se seleccionó la casa que supliría los equipos.

- CRISTIAN MARCELO ELGUETA DÍAZ, desarrollo como tema de tesis para optar el grado de magister en ciencias de la ingeniería el siguiente tema: APLICACIÓN DE UN INVERSOR MULTINIVEL COMO VARIADOR DE FRECUENCIA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO. (ELGUETA, 2015).

El objetivo de la Tesis consiste en analizar el comportamiento de un inversor multinivel cuando es utilizado en todo su rango de frecuencias como es en el control de motores.

Sustentación Teórica.

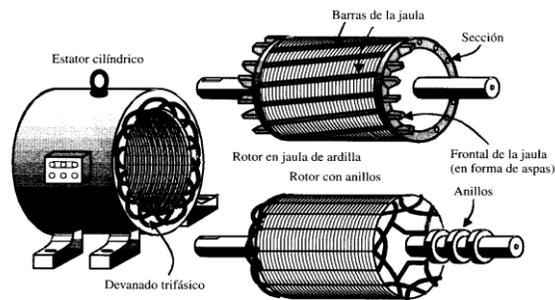
Motores Trifásicos de inducción

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos. [6]

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos. [6]

Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias. Están constituidos por un devanado inductor, situado en el estator, por el cual se introduce una corriente alterna, este devanado puede ser trifásico o monofásico, en el caso de motores de más de 1 HP normalmente es trifásico. [6]

El devanado inducido está ubicado en el rotor, este puede ser del tipo devanado (monofásico o trifásico, de acuerdo al estator) o jaula de ardilla. En éste el campo giratorio del estator induce FEMS y al estar en cortocircuito (jaula de ardilla) o cerrado por medio de un reóstato de arranque (rotor devanado o con anillos) aparecen corrientes en el rotor que al reaccionar con el campo giratorio del estator producen el giro del rotor a una velocidad cercana y menor a la del campo giratorio del estator. [6]



Tipos de máquinas asíncronas o de inducción.

Ilustración 4 Motor eléctrico.

Fuente: <http://autodesarrollo-electricidadpractica.blogspot.com/2011/07/motores-electricos.html>

Partes del Motor de Inducción

La gran utilización de los motores de inducción se debe a las siguientes causas: construcción simple, bajo peso, mínimo volumen, bajo costo y mantenimiento inferior al de cualquier otro tipo de motor eléctrico. A continuación, se muestra en la figura un corte de un motor de inducción jaula de ardilla y uno de rotor bobinado. [9]



Ilustración 5 Partes de un motor jaula de ardilla.

Fuente: Leonardo Millán. Guía de Máquinas eléctricas I

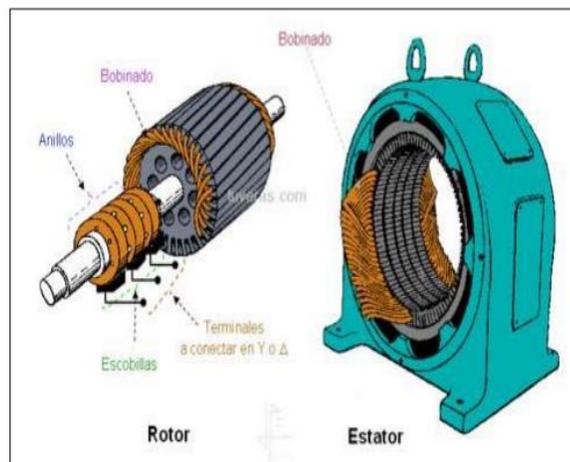


Ilustración 6 Partes de un motor, rotor bobinado.

Fuente: Leonardo Millán. Guía de máquinas eléctricas I.

Como todas las máquinas eléctricas, un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético y dos eléctricos, uno colocado en la parte fija (estator) y otro en la parte móvil (rotor).

El circuito magnético de los motores eléctricos de corriente alterna está formado por chapas magnéticas apiladas y aisladas entre sí para eliminar el magnetismo remanente. El circuito magnético está formado por

chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en forma de anillo en el estator. [9]

El cilindro se introduce en el interior del anillo y, para que pueda girar libremente, hay que dotarlo de un entrehierro constante. El anillo se dota de ranuras en su parte interior para colocar el bobinado inductor y se envuelve exteriormente por una pieza metálica con soporte llamada carcasa.

El cilindro se adosa al eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido (motores de rotor bobinado) o bien se le incorporan conductores de gran sección soldados a anillos del mismo material en los extremos del cilindro (motores de rotor en cortocircuito) similar a una jaula de ardilla, de ahí que reciban el nombre de rotor de jaula de ardilla.

El eje se apoya en unos rodamientos de acero para evitar rozamientos y se saca al exterior para transmitir el movimiento, y lleva acoplado un ventilador para refrigeración. Los extremos de los bobinados se sacan al exterior y se conectan a la placa de bornes.

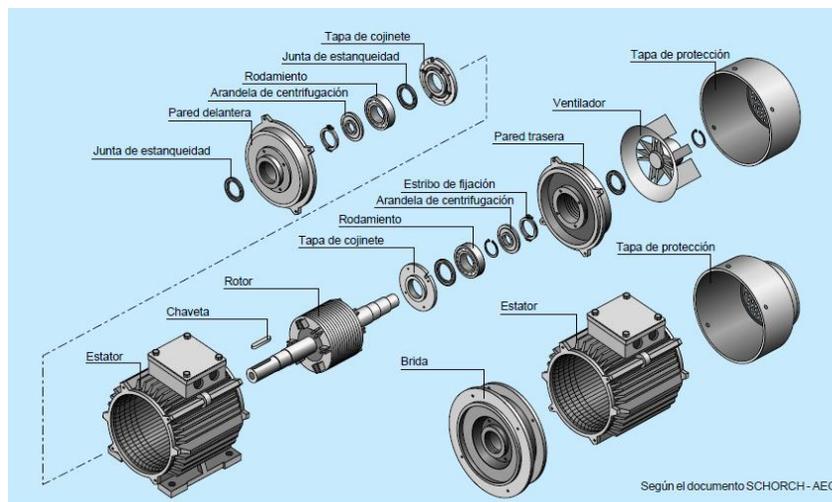


Ilustración 7 Componentes de un motor asíncrono.

Fuente: Telesquemario

Campo Magnético Giratorio

Al repartir sobre el estator bobinas separadas, entrada y salida, de un mismo plano del cilindro 180° entre si y alimentarlas con corriente alterna, obtenemos por el efecto de corriente que pasa por un conductor, un campo magnético pulsante.

La diferencia del motor asíncrono con el resto de los motores eléctricos radica en el hecho de que no existe corriente conducida al rotor. La corriente que circula por el devanado del rotor se debe a la fuerza electromotriz inducida en él por el campo giratorio; por esta razón, a este tipo de motores se les designa también como motores de inducción. [6]

Ventajas [16]

En diversas circunstancias presenta muchas ventajas:

- A igual potencia, su tamaño y peso son más reducidos.
- Se pueden construir de cualquier tamaño.
- Tiene un par de giro elevado y, según el tipo de motor, prácticamente constante.
- Su rendimiento es muy elevado (típicamente en torno al 75%, aumentando el mismo a medida que se incrementa la potencia de la máquina).
- Los trifásicos no necesitan bobina de arranque y por lo tanto tampoco capacitores y mucho menos interruptores centrífugos que son comunes en los motores monofásicos. Por lo que al ser más sencillos necesitan menos mantenimiento.
- Pueden cambiar el sentido de rotación con solo invertir dos de las tres líneas de entrada.

- Permiten diferentes tipos de conexiones que permite lograr configurar el sistema de arranque para reducir la corriente inicial.

Los motores cumplen con las normas, prescripciones y recomendaciones VDE, ICONTEC e IEC; especialmente pueden citarse:

- VDE 0530: Prescripciones para máquinas eléctricas.
- Publ. IEC 34-1: Recomendaciones para máquinas eléctricas rotativas.
- Publ. IEC 144 - Publ. IEC 72-2: Recomendaciones para motores normalizados.
- DIN 42673, hojas 1 y 2: Indicación de potencias nominales y medidas de extremos de eje en relación a los tamaños constructivos para motores con ventilación de superficie y rotor en cortocircuito, en ejecución normal.
- DIN 42 677, hojas 1 y 2: Indicación de potencias nominales y medidas de extremos de eje en relación a los tamaños constructivos para motores con ventilación de superficie y rotor en cortocircuito, en ejecución normal.

Tensión de servicio

Las tensiones normalizadas para las redes de corriente trifásica, en baja tensión, son las siguientes:

Tabla 1 Tensiones normalizadas para las redes trifásicas en baja tensión.

Fuente: El autor

Tensión de Línea (V)	Tensión de Fase (V)	Denominación usual de la Red.
208	120	208/120
220	127	220/127
260	150	260/150
380	220	380/220
440	254	440/254

Conexión de motores trifásicos

Los motores trifásicos se conectan los tres conductores R, S, T. La tensión nominal del motor en la conexión de servicio tiene que coincidir con la tensión de línea de la red (tensión de servicio). [12]

Conexión de servicio de los motores trifásicos y sus potencias nominales:

Tabla 2 Conexiones de los motores trifásicos y sus potencias nominales.

Fuente: Motores trifásicos de inducción Generalidades.

Ejecución del devanado (V)	Tensión de la Red (V).	Devanado en	Tipo de arranque permitido.
220-260Δ/ 440Y	220	Δ	Directo/ Y- Δ
	260	Δ	Directo/ Y- Δ
	380	Δ	Directo
	440	Δ	Directo
208-220YY/ 440Y	208	YY	Directo
	220	YY	Directo
	440	Y	Directo
208-220$\Delta\Delta$/ 400Δ	208	$\Delta\Delta$	Directo/ Y- Δ
	220	$\Delta\Delta$	Directo/ Y- Δ
	380	YY	Directo
	440	Δ	Directo/ Y- Δ

Placa del motor

Cada motor debe contar con una placa de características, en idioma español, fácilmente visible y firmemente sujeta al motor con remaches del mismo material que las placas. Deben ser de acero inoxidable, la pintura del motor no debe cubrir las, la información debe ser grabada en el metal de las

placas de tal manera que pueda ser leída aunque desaparezcan la coloración. [16]

1							
Typ 2							
3	4	Nr.	5				
6	7	V	8	A			
9	10	S	11	cos ϕ	12		
13		14		/min	15	Hz	
16		17		18	V	19	A
Isol.-Kl.		20	IP	21	22		kg
23							

Ilustración 8 Placa característica de un Motor.

Fuente: MANUAL DEL MOTOR ELÉCTRICO. H. WAYNE BEATY y JAMES L. KIRTLEY.

1. Nombre del fabricante.
2. Tamaño, forma de construcción.
3. Clase de corriente.
4. Clase de máquina; motor, generador, etc.
5. Número de fabricación.
6. Identificación del tipo de conexión del arrollamiento.
7. Tensión nominal.
8. Intensidad nominal.
9. Potencia nominal. Indicación en kW para motores y generadores de corriente continua e inducción. Potencia aparente en kVA en generadores síncronos.

10. Unidad de potencia, por ejemplo, kW.
11. Régimen de funcionamiento nominal.
12. Factor de potencia.
13. Sentido de giro.
14. Velocidad nominal en revoluciones por minuto revol/min.
15. Frecuencia nominal.
16. “Err” excitación en máquinas de corriente continua y máquinas síncronas. “Lfr” inducido para máquinas asíncronas.
17. forma de conexión del arrollamiento inducido.
18. Máquinas de cc y síncronas: tensión nominal de excitación.
Motores de inducido de anillos rozantes: tensión de parada del inducido (régimen nominal).
19. Máquinas de cc y síncronas: corriente nominal de excitación.
Motores de inducido de anillos rozantes: intensidad nominal del motor.
20. Clase de aislamiento.
21. Clase de protección.
22. Peso en Kg o T.

Caja Reductora

Se denomina caja reductora a un mecanismo que consiste, generalmente, en un grupo de engranajes, con el que se consigue mantener la velocidad de salida en un régimen cercano al ideal para el funcionamiento del generador. [15]

Usualmente una caja reductora cuenta con un tornillo sin fin el cual reduce en gran cantidad la velocidad.

Concepto de Par o Torque en un motorreductor.

El “torque” o “par” es una fuerza de giro; Por ejemplo, la fuerza de giro de la flecha de salida de la caja reductora; es también la fuerza de giro en la flecha de un motor. No es simplemente una fuerza expresada en kilogramos, libras, onzas, Newton, etc.; tampoco es una potencia en HP o en Kilowatts. Es una fuerza de giro cuyas unidades son kilogramos – metro, o libra – pie, o libras – pulgada, o Newton – metro, etc. [15]

Este torque o par mezclado con un tiempo de realización, aplicación o ejecución es entonces que se convierte en una “potencia”.

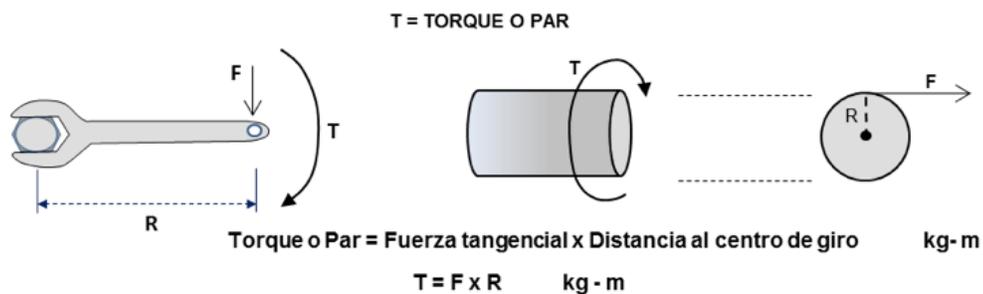


Ilustración 9 Torque o Par.

Fuente: <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>

Un motor eléctrico tiene una determinada potencia en HP y tiene una cierta velocidad de operación a la cual gira la flecha de salida, por ejemplo 1800 Revoluciones por Minuto (RPM). Estas dos características: Velocidad y Potencia llevan aparejado un cierto “torque” o “par” que puede liberar el motor. Es precisamente el “par” lo que permitirá que podamos o no girar una determinada carga, cuanto más alto el “par” más grande será la carga que

podamos girar. El que tan rápido podamos hacerlo dependerá de la potencia de la caja reductora. Las dos características están interrelacionadas y dependen una de la otra. [15]

Cálculo de la potencia necesaria en un motorreductor. [15]

Inversamente, si sabemos que “par” necesitamos para mover la carga y a qué velocidad de giro se realiza adecuadamente el trabajo que requerimos, entonces podemos calcular la caja reductora y la potencia del motor necesarios. Por ejemplo: Si el par requerido es de 125 kg-m y necesitamos que gire a 40 RPM, entonces la caja reductora necesaria será:

Cálculo de la relación de reducción: **reducción = 1750/40 = 43.75:1**

$$T = \frac{HP \times 716}{RPM} \quad \text{Ec1 Para calcular los HP necesarios para un torque requerido.}$$

Fuente: <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>

Se requieren 6.98 HP de potencia en el motor. Como no existe comercialmente un motor de esa potencia, tomamos el más cercano que es de **7.5 HP**

Se requiere una reducción de 43.75:1. Como no existe comercialmente un reductor que exactamente tenga esa relación de reducción, entonces tomamos el más cercano que es relación **43:1**.

Transformadores

El transformador es un aparato eléctrico que por inducción electromagnética transfiere energía eléctrica de uno o más circuitos, a uno o más circuitos a la misma frecuencia, usualmente aumentando o

disminuyendo los valores de tensión y corriente eléctrica. Un transformador puede recibir energía y devolverla a una tensión más elevada, en cuyo caso se le denomina transformador elevador, o puede devolverla a una tensión más baja, en cuyo caso es un transformador reductor. En el caso en que la energía suministrada tenga la misma tensión que la recibida en el transformador, se dice entonces, que este tiene una relación de transformación igual a la unidad. [8]

Los transformadores al no tener órganos giratorios, requieren poca vigilancia y escasos gastos de mantenimiento. El costo de los transformadores por kW es bajo, comparado con el de otros aparatos o máquinas, y su rendimiento es mucho muy superior. Como no hay dietes, ni ranuras, ni partes giratorias, y sus arrollamientos pueden ser sumergidos en aceite, no es difícil lograr un buen aislamiento para muy altas tensiones.

Clasificación utilización de los transformadores [8]

Los transformadores pueden ser clasificados de distintas maneras, según se tome como base la operación, la construcción o la utilización; así tenemos que:

- a) Por la operación. Se refiere a la energía o potencia que manejan del sistema eléctrico:
 - Transformadores de distribución: Los que tienen capacidad desde 5 hasta 500 kVA (monofásicos y/o trifásicos).
 - Transformadores de potencia: Los que tienen capacidades mayores de 500 kVA. [8]

- b) Por el número de fases. De acuerdo a las características del sistema al que se conectará:

- Monofásico: Transformadores de potencia o de distribución que son conectados a una línea y un neutro. Tienen una sola bobina de alta y baja tensión. Se denota con el símbolo 1ϕ .
- Trifásico: transformadores de potencia o distribución que son conectados a 3 líneas y pueden estar o no conectados a un neutro común. Tiene 3 bobinas de alta tensión y 3 de baja tensión. Se denota con el símbolo 3ϕ .

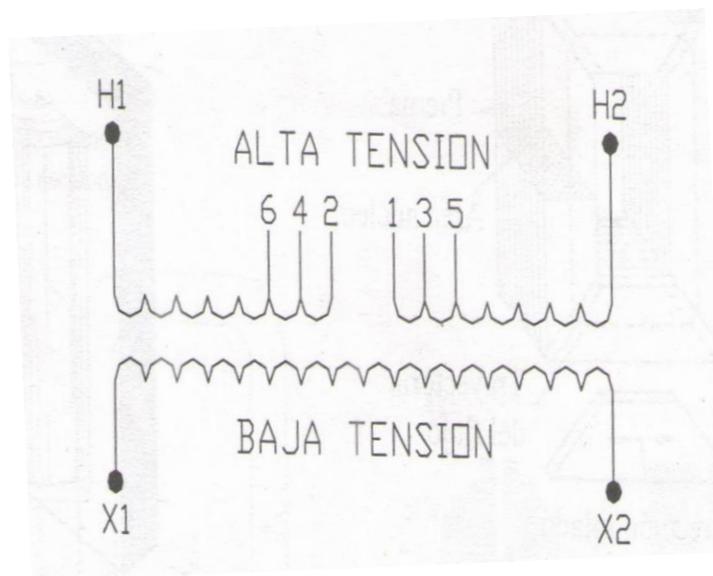


Ilustración 10 Esquema eléctrico, transformador monofásico.

Fuente: Pedro Avelino Pérez. Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas.

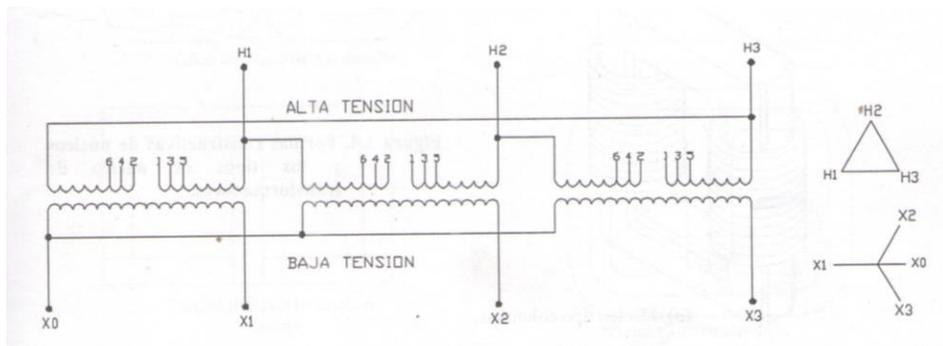


Ilustración 11 Esquema eléctrico, transformador trifásico.

Fuente: Pedro Avelino Pérez. Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas.

c) Por la construcción o forma del núcleo. De acuerdo con la posición que existe entre la colocación de bobinas y el núcleo, se conocen dos tipos:

- Núcleo acorazado: También llamado tipo “Shell”, es aquel en el cual el núcleo se encuentra cubriendo las bobinas de baja y alta tensión.
- Núcleo no acorazado: También conocido como tipo columna o “core” y es aquel en el cual las bobinas abarcan una parte considerable del circuito magnético.

d) De acuerdo al tipo de enfriamiento. Existen los sumergidos en aceite y los tipos secos.

Entre los sumergidos en aceite, tenemos:

- Tipo OA: Oil immersed, self-cooled (natural circulation of insulating liquid).
- Tipo OA/FA: Oil immersed, forced-air cooled (via fans).
- Tipo FOA: Oil immersed, self-cooled plus forced-oil cooling via pump to circulate oil through heat exchanger.

- Tipo OW: Oil immersed, self-cooled, plus water-cooling by pump through pipe/coil or heat exchanger.
- Tipo FOW: Idéntico al FOA.

Entre los tipos secos, tenemos:

- Tipo AA: Dry type. Self- cooled (natural circulation of air).
- Tipo AFA: Dry type. Forced-air cooled (circulation of air or gas).
- Tipo AA/FA: Dry type: Self-cooled forced-air cooled.

Variadores de Frecuencia

Un variador de frecuencia (siglas VFD, del inglés: Variable Frequency Drive o bien AFD Adjustable Frequency Drive) es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC) por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor. Un variador de frecuencia es un caso especial de un variador de velocidad. Los variadores de frecuencia son también conocidos como drivers de frecuencia ajustable (AFD), drivers de CA, microdrivers o inversores. Dado que el voltaje es variado a la vez que la frecuencia, a veces son llamados drivers VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia). [10]

Los variadores de frecuencia son sistema utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia es como Drivers ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), micro drivers o inversores; esto depende en gran parte del voltaje que se maneje.

Funcionamiento

El variador de frecuencia se alimenta con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo primero convierte la CA en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR's), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal; posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores (IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a un frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor. [10]

El proceso de conmutación de los transistores es llamado PWM "Pulse Width Modulation" Modulación por ancho de pulso.

Al tener control en la frecuencia de la onda de corriente podemos también controlar la velocidad del motor de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$N_m = \frac{120 * f(1 - s)}{P} \quad \text{Ec2 Velocidad mecánica.}$$

Fuente: Stephen J. Chapman. Máquinas Eléctricas, Tercera edición. Editorial McGrawHill.

Donde:

N_m= velocidad mecánica (rpm)

f= Frecuencia.

s= Deslizamiento

p= número de polos.

Ventajas de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos. [13]

- El variador de velocidad no tiene elementos móviles, ni contactos.
- La conexión del cableado es muy sencilla.
- Permite arranques suaves, progresivos y sin saltos.
- Controla la aceleración y el frenado progresivo.
- Limita la corriente de arranque.
- Permite el control de rampas de aceleración y deceleración regulables en el tiempo.
- Consigue un ahorro de energía cuando el motor funcione parcialmente cargado, con acción directa sobre el factor de potencia
- Puede detectar y controlar la falta de fase a la entrada y salida de un equipo. Protege al motor.
- Puede controlarse directamente a través de un autómatas o microprocesador.
- Se obtiene un mayor rendimiento del motor.

Inconvenientes de la utilización del Variador de Velocidad en el arranque de motores asíncronos.[13]

- Es un sistema caro, pero rentable a largo plazo.
- Requiere estudio de las especificaciones del fabricante.
- Requiere un tiempo para realizar la programación.

COMPOSICIÓN DE UN VARIADOR DE FRECUENCIA

Los variadores de frecuencia están compuestos por:

- **Etapa Rectificadora.** Convierte la tensión alterna en continua mediante rectificadores de diodos, tiristores, etc.

- **Etapa intermedia.** Filtro para suavizar la tensión rectificada y reducir la emisión de armónicos.

- **Inversor o "Inverter".** Convierte la tensión continua en otra de tensión y frecuencia variable mediante la generación de pulsos. Actualmente se emplean IGBT's (Isolated Gate Bipolar Transistors) para generar los pulsos controlados de tensión. Los equipos más modernos utilizan IGBT's inteligentes que incorporan un microprocesador con todas las protecciones por sobrecorriente, sobretensión, baja tensión, cortocircuitos, puesta a masa del motor, sobretemperaturas, etc. [13]

- **Etapa de control.** Esta etapa controla los IGBT para generar los pulsos variables de tensión y frecuencia. Y además controla los parámetros externos en general, etc. Los variadores más utilizados utilizan modulación PWM (Modulación de Ancho de Pulsos) y usan en la etapa rectificadora puente de diodos rectificadores. En la etapa intermedia se usan condensadores y bobinas para disminuir las armónicas y mejorar el factor de potencia

El Inversor o Inverter convierte la tensión continua de la etapa intermedia en una tensión de frecuencia y tensión variables. Los IGBT envían pulsos de duración variable y se obtiene una corriente casi senoidal en el motor. [17]

La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor, pero

disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor. Por otra parte, los IGBT's generan mayor calor.

Las señales de control para arranque, parada y variación de velocidad (potenciómetro o señales externas de referencia) estén aisladas galvánicamente para evitar daños en sensores o controles y evitar ruidos en la etapa de control.

APLICACIONES DE LOS VARIADORES DE FRECUENCIA

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en los siguientes tipos de máquinas:

- **Transportadoras.** Controlan y sincronizan la velocidad de producción de acuerdo al tipo de producto que se transporta, para dosificar, para evitar ruidos y golpes en transporte de botellas y envases, para arrancar suavemente y evitar la caída del producto que se transporta, etc.

- **Bombas y ventiladores centrífugos.** Controlan el caudal, uso en sistemas de presión constante y volumen variable. En este caso se obtiene un gran ahorro de energía porque el consumo varía con el cubo de la velocidad, o sea que, para la mitad de la velocidad, el consumo es la octava parte de la nominal.

- **Bombas de desplazamiento positivo.** Control de caudal y dosificación con precisión, controlando la velocidad. Por ejemplo, en bombas de tornillo, bombas de engranajes. Para transporte de pulpa de fruta, pasta, concentrados mineros, aditivos químicos, chocolates, miel, barro, etc.

- **Ascensores y elevadores.** Para arranque y parada suaves manteniendo la cupla del motor constante, y diferentes velocidades para aplicaciones distintas.

- **Extrusoras.** Se obtiene una gran variación de velocidades y control total de la cupla del motor.

- **Centrífugas.** Se consigue un arranque suave evitando picos de corriente y velocidades de resonancia.

- **Prensas mecánicas y balancines.** Se consiguen arranques suaves y mediante velocidades bajas en el inicio de la tarea, se evitan los desperdicios de materiales.

- **Máquinas textiles.** Para distintos tipos de materiales, inclusive para telas que no tienen un tejido simétrico se pueden obtener velocidades del tipo random para conseguir telas especiales.

- **Compresores de aire.** Se obtienen arranques suaves con máxima cupla y menor consumo de energía en el arranque.

- **Pozos petrolíferos.** Se usan para bombas de extracción con velocidades de acuerdo a las necesidades del pozo.

Tabla 3 Comparación de las características de funcionamiento, que muestran el gran interés de los variadores de frecuencia.

Fuente: El autor.

Motor Asíncrono	...en uso normal	... con variador de Hz.
Corriente de arranque	Muy elevada, del orden de 6 a 8 veces la corriente nominal en valor eficaz, 15-20 veces en valor cresta.	Limitado en el motor (en general cerca de 1,5 veces la corriente nominal.)
Par de arranque C_d	Elevado y no controlado, del orden de 2 a 3 veces el par nominal C_n .	Del orden de 1,5 veces el par nominal C_n y controlado durante toda la aceleración.

Arranque	Brutal, cuya duración solo depende de las características del motor y de la carga arrastrada (Par resistente, inercia).	Progresivo, sin brusquedades y controlado (rampa lineal de velocidad).
Velocidad	Variando ligeramente según la carga (Próxima de la velocidad de sincronismo N_s).	Variación posible a partir de cero hasta un valor superior a la velocidad de sincronismo N_s .
Frenado eléctrico	Relativamente complejo, necesita protecciones y un esquema particular.	Fácil.
Inversión del sentido de marcha	Fácil solamente después de la parada del motor.	Fácil.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

Tipo de investigación.

La Investigación es evaluativa, ya que según Hurtado “La evaluación se entiende como la actividad realizada con el propósito de apreciar la mayor o menor efectividad de un proceso, en cuanto al cumplimiento de los objetivos, en correspondencia con el contexto en el cual el evento ocurre”. La definición de evaluación se utiliza para referirse al “acto de juzgar o apreciar la importancia de un determinado objeto situación o proceso en relación con ciertas funciones que deberían cumplirse, o con ciertos criterios de valoración, explícitos o no”. [1].

Según el autor Carlos Sabino (2000: pág. 22) la investigación se define como “un esfuerzo que se emprende para resolver un problema, claro está, un problema de conocimiento”. Como es el caso, los conocimientos a obtener serán insumo necesario para proceder luego a la acción. [2]

En este trabajo de grado consistió en un estudio donde la investigación también tuvo un nivel comprensivo; en otras palabras, se requirió una investigación del tipo descriptiva. Es descriptiva puesto que se realiza una descripción de los elementos que conforman el sistema de control, potencia, arranque de las máquinas bobinadoras.

Diseño de la investigación.

Balestrini (2002), es muy explícito cuando se refiere al concepto de diseño de campo, el cual lo define de la siguiente manera:

Un diseño de campo, entendido campo, como una relativa y circunscrita área de estudio, a través de la cual, los datos se recogen de manera directa de la realidad en su medio ambiente natural, con la aplicación de determinados instrumentos de recolección de información, considerándose de esta forma que los datos son primarios; por cuanto se recogen en su realidad cotidiana, natural, observando, entrevistando o interrogando a las personas vinculadas con el problema investigado (P 20).

El diseño de la investigación es mixto, ya que esta es documental y de campo, es documental porque se consultarán los manuales de los equipos como el motor, el manual de funcionamiento e instalación del variador de Frecuencia, los pulsadores, interruptores, selectores, de tal manera que proporcionen información justa y necesaria del sistema. Es de campo porque se realizarán mediciones y programaciones de cada tablero de control.

Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

De acuerdo a Hurtado (2000) [1], “las técnicas tienen que ver con los procedimientos utilizados para la recolección de datos, es decir, el cómo” (p.147); y los instrumentos según el mismo autor “representan la herramienta con la que se va a recoger, filtrar y codificar la información, es decir, el con qué” (p.148). De acuerdo a esto las técnicas de recolección de datos usadas en la investigación serán:

Revisión Documental

Con relación a la utilización de esta técnica la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (2003), refiere “la revisión documental permite acudir a cualquier fuente o referencia en cualquier momento facilitando la información para la investigación” (p.100). Esta técnica tiene como instrumento los procedimientos elaborados y la matriz de análisis las cuales

se basarán en la revisión de los libros y documentos que tienen relación con el tema estudiado.

Esta técnica aporta al trabajo de investigación, el criterio de otros investigadores sobre un problema similar al presentado.

Observación Directa

Según Hurtado (2000) [1], esta técnica “constituye un proceso de atención, recopilación, selección y registro de información, para el cual el investigador se apoya en sus sentidos (vista, oídos, sentidos kinestésicos y cenestésicos, olfato, tacto...). (p.448). Este método se manejará para la verificación del buen funcionamiento de los conjuntos mecánicos de la máquina bobinadora, prestando atención a ruidos y vibraciones fuera de lo normal.

Entrevista no Estructurada

Para P. Arias (2004) [3], la entrevista “Es una modalidad de encuesta o técnica caracterizada por la obtención de información mediante una conversación entre el entrevistador y el entrevistado” (pág. 80). Mediante esta entrevista se pueden recolectar datos generales para la elaboración de la maquina bobinadora a través del personal de SERINDELCA, el instrumento utilizado será la guía de entrevista.

Técnicas de Análisis

Hurtado (2000) [1], establece, con relación a las técnicas de análisis de los datos obtenidos, lo siguiente: El análisis, constituye un proceso que involucra la clasificación, el procesamiento y la interpretación de la información obtenida durante la recolección de datos. La finalidad del análisis es llegar a conclusiones específicas en relación al evento de estudio, y de dar respuesta a la pregunta de investigación... (p. 505).

De acuerdo a lo antes expuesto, la técnica a utilizar para el análisis de todos los datos recolectados será la técnica de análisis de contenido, esta

técnica según el mismo autor citado en el párrafo anterior se define como “una técnica que integra diversos recursos que permiten abordar los eventos de estudio, hechos, situaciones, textos, autores, video, cine, con el interés de profundizar en su comprensión” (p.506). Partiendo de esta definición, en la investigación a realizar, se obtendrán datos mediante distintos recursos, pues se utilizarán herramientas computacionales, así como textos o trabajos previos que plateen un problema similar.

Instrumentos de Recolección de Datos

- ✓ Laptop y Computadora de Mesa.
- ✓ Pendrive.
- ✓ Libreta de apuntes, donde se fue anotando la observación e investigación documental.
- ✓ Software de edición Microsoft office: Word, Power Point, Excel.
- ✓ Cámara fotográfica.
- ✓ Teléfono Celular Smartphone.
- ✓ Equipo de medición: Multímetro Fluke modelo 1587.
- ✓ Pinza amperimétrica Fluke.

Procedimiento de Recolección de Datos

Con la idea de lograr todos los objetivos propuestos y garantizar la culminación exitosa del trabajo de grado, se implementó un procedimiento de recolección de datos para el desarrollo del mismo.

- Revisión del material bibliográfico.
- Realización de consultas y entrevistas al personal con el objetivo de conocer más a fondo la situación que se presenta.
- Revisión de las fuentes de información y referencias con la finalidad de conocer las características del sistema en estudio.
- Elaboración de las conclusiones y recomendaciones.
- Realización del trabajo de grado final.

Procesamiento de la Información

Luego de aplicada las técnicas de recolección de datos, se procedió a usar técnicas lógicas para analizar y clasificar la información recabada, la cual facilita el uso y manejo de la misma. Al respecto, Arias (2006), comenta que para el análisis de datos: “se definirán las técnicas lógicas (inducción, deducción, análisis, síntesis)”. Refiriéndose al análisis de los datos se empleó la técnica de análisis cualitativo de la cual Sabino (2000) plantea lo siguiente:

Se refiere a lo que procedamos al hacer con la información de tipo verbal. El análisis se efectúa cotejando los datos que refieren a un mismo aspecto y tratando de evaluar la fiabilidad de cada información.

La interpretación y clasificación de los resultados de la entrevista, la observación directa y la observación documental se codificaron de la siguiente forma:

El Software de computación Microsoft Office Word 2010 fue la usada para la codificación de la data sintetizada, con aspectos funcionales y cualitativos.

Software de computación Microsoft Office Excel 2010: herramienta usada para la creación y edición de tablas de datos característicos y gráficas pertenecientes al proyecto. En la tabulación de datos, se clasificó la información de acuerdo a los siguientes criterios: información requerida regularmente por el personal electricista, identificación técnica y física del equipo y parámetros necesarios para el análisis del mismo.

CAPITULO IV

RESULTADOS

Realizar los planos de la estructura física de las máquinas bobinadoras empleando AutoCAD como software comercial.

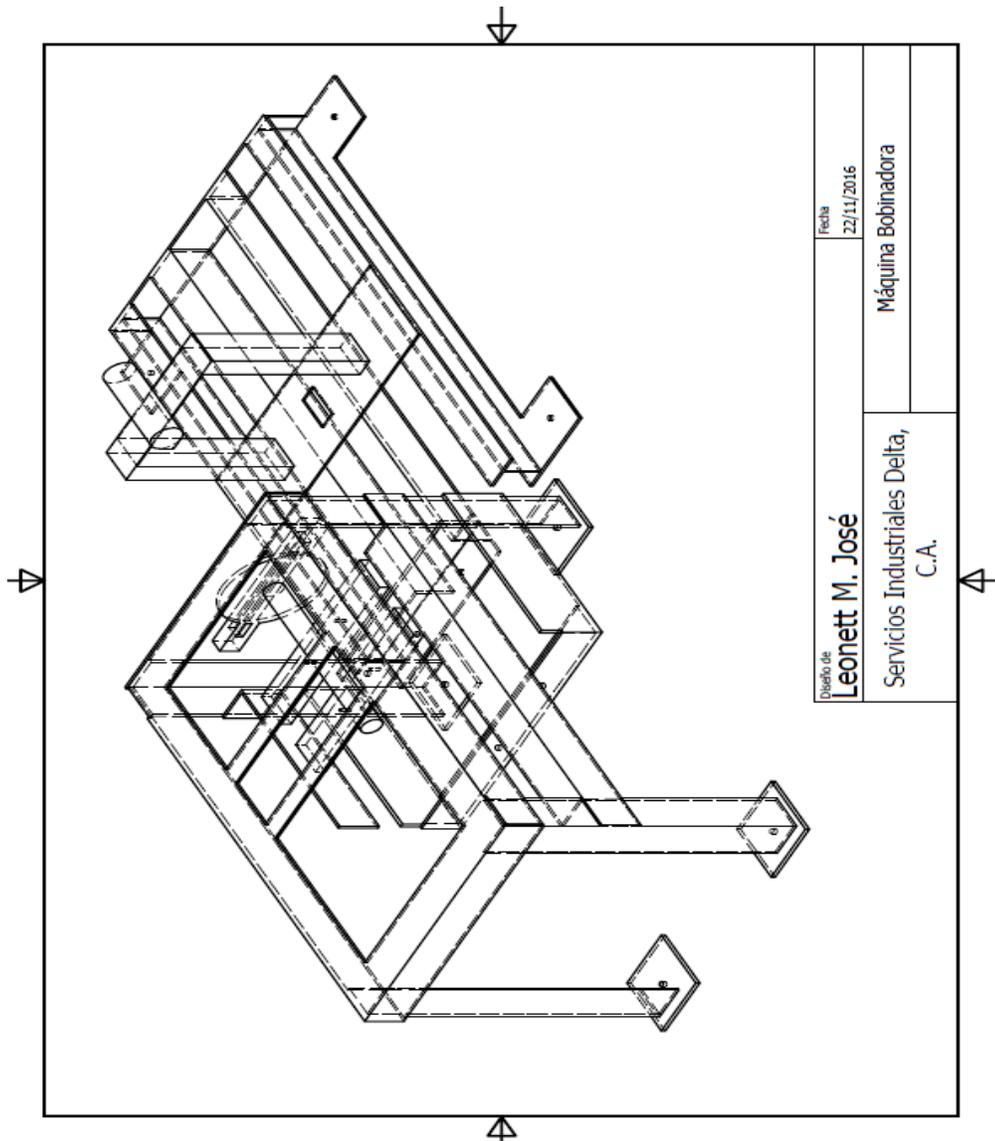


Ilustración 12 Plano de máquina bobinadora vista isométrica derecha.

Fuente: El autor, mediante software comercial AutoCAD de AUTODESK.

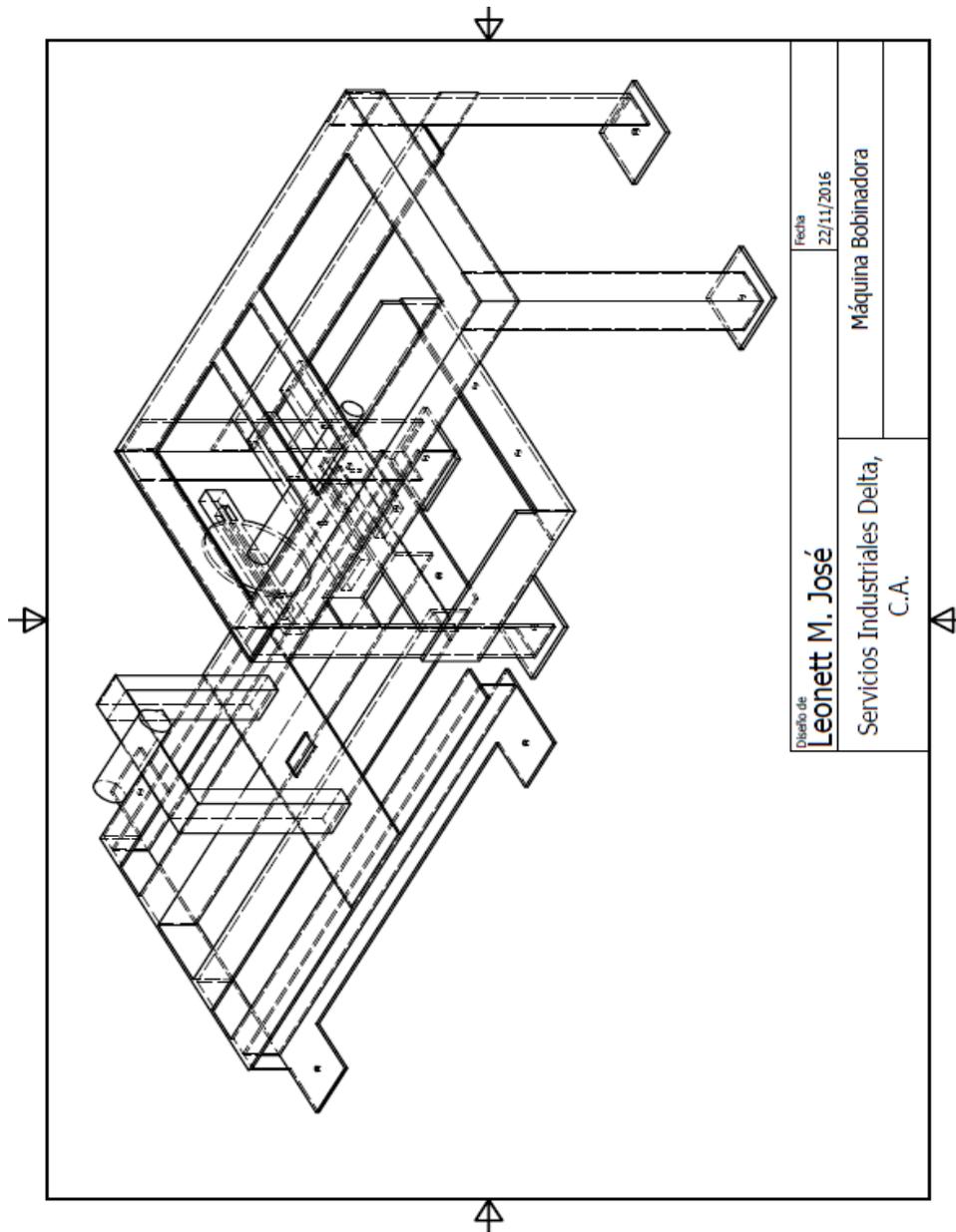


Ilustración 13 Plano de máquina bobinadora vista isométrica izquierda.
Fuente: El autor, mediante software comercial AutoCAD de AUTODESK.

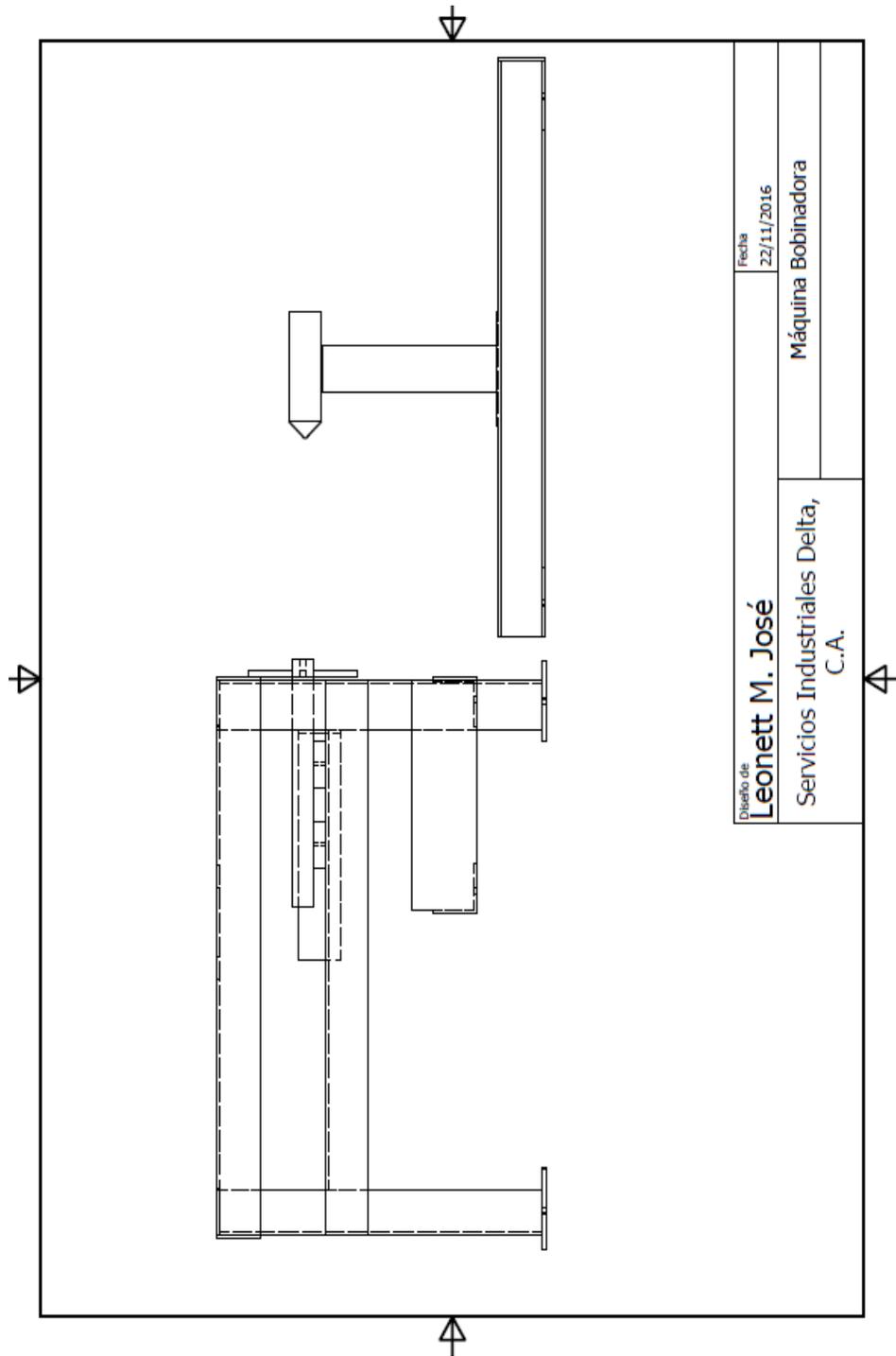


Ilustración 14 Plano de máquina bobinadora vista lateral.

Fuente: El autor, mediante software comercial AutoCAD de AUTODESK.

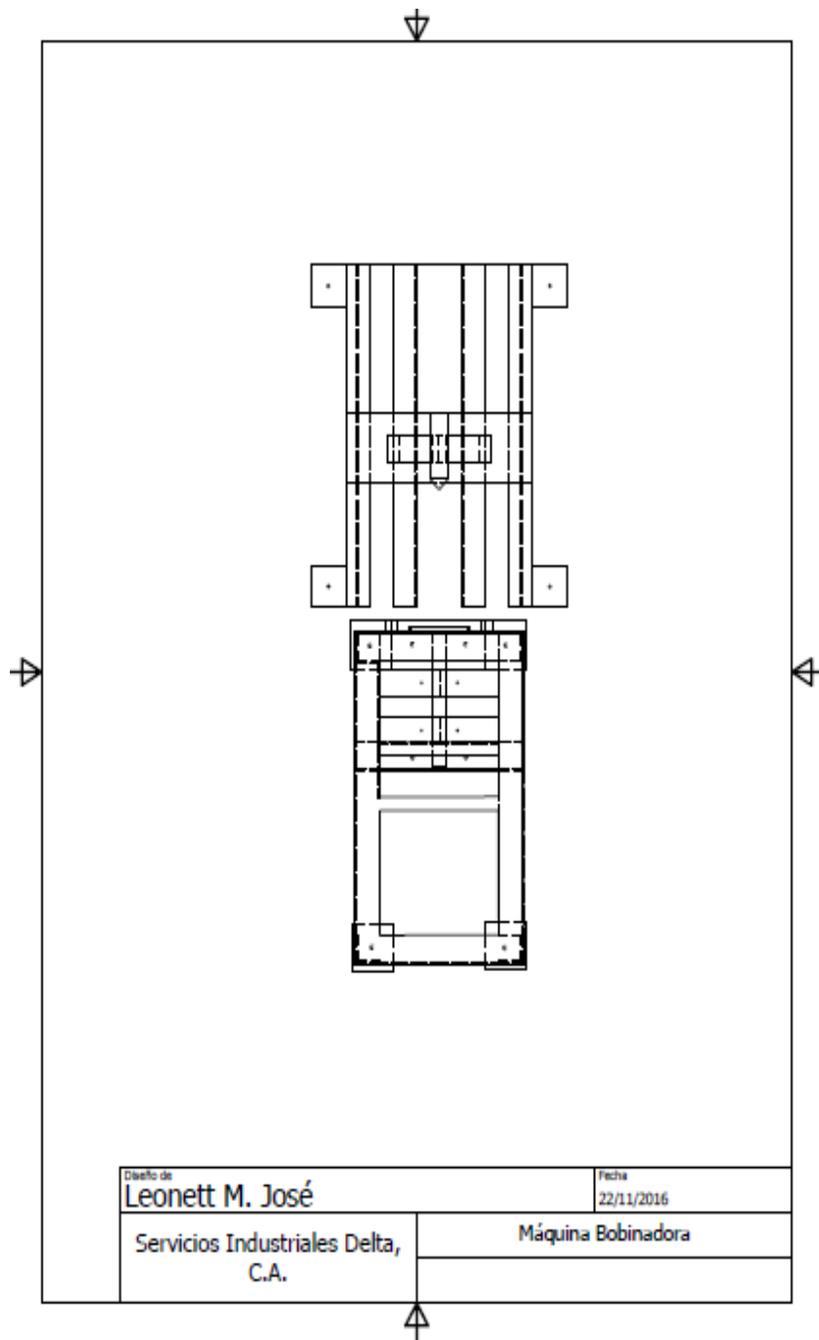


Ilustración 15 Plano de máquina bobinadora vista aérea.

Fuente: El autor, mediante software comercial AutoCAD de AUTODESK.

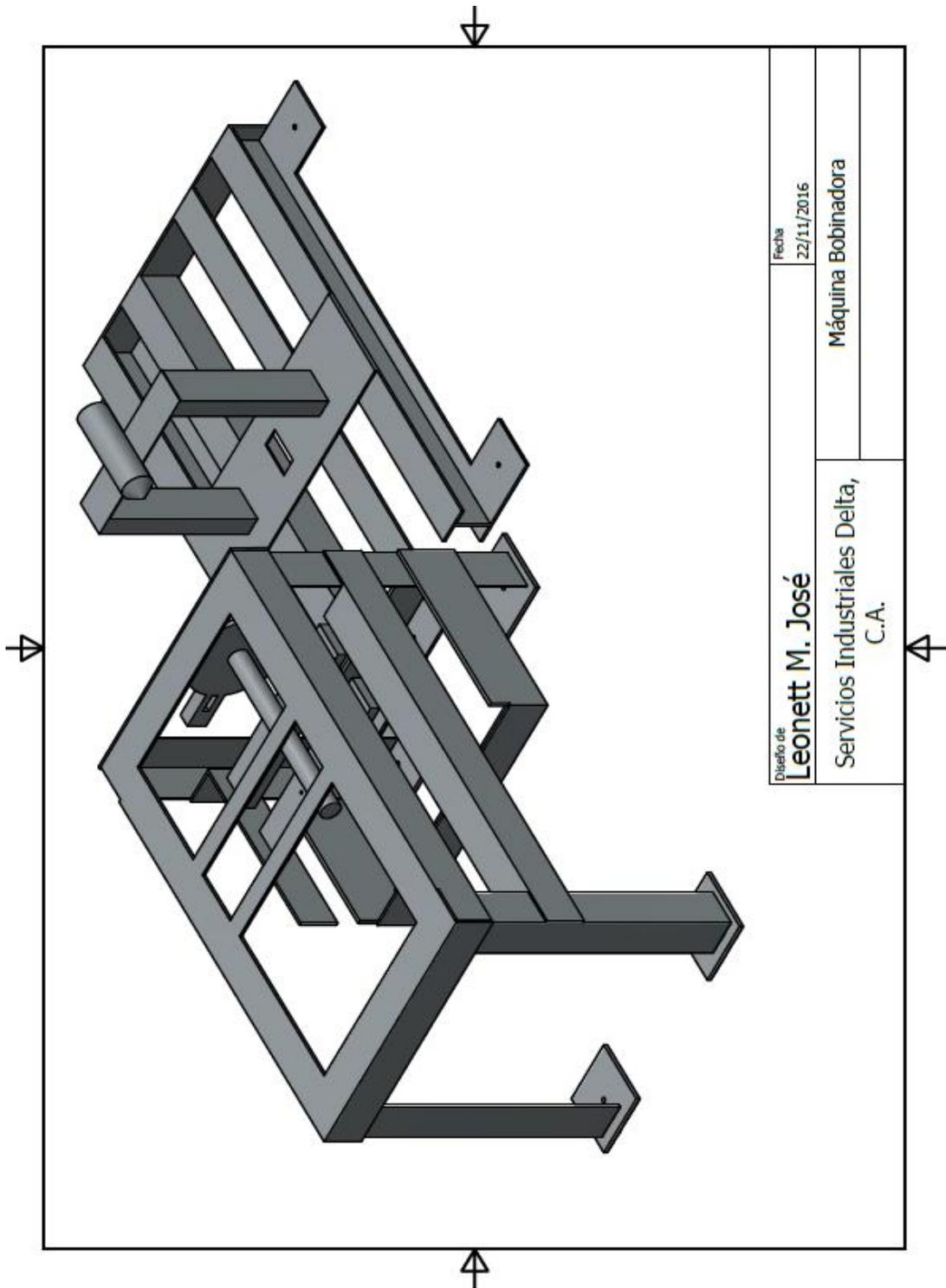


Ilustración 16 Plano de máquina bobinadora.

Fuente: El autor, mediante software comercial AutoCAD de AUTODESK.

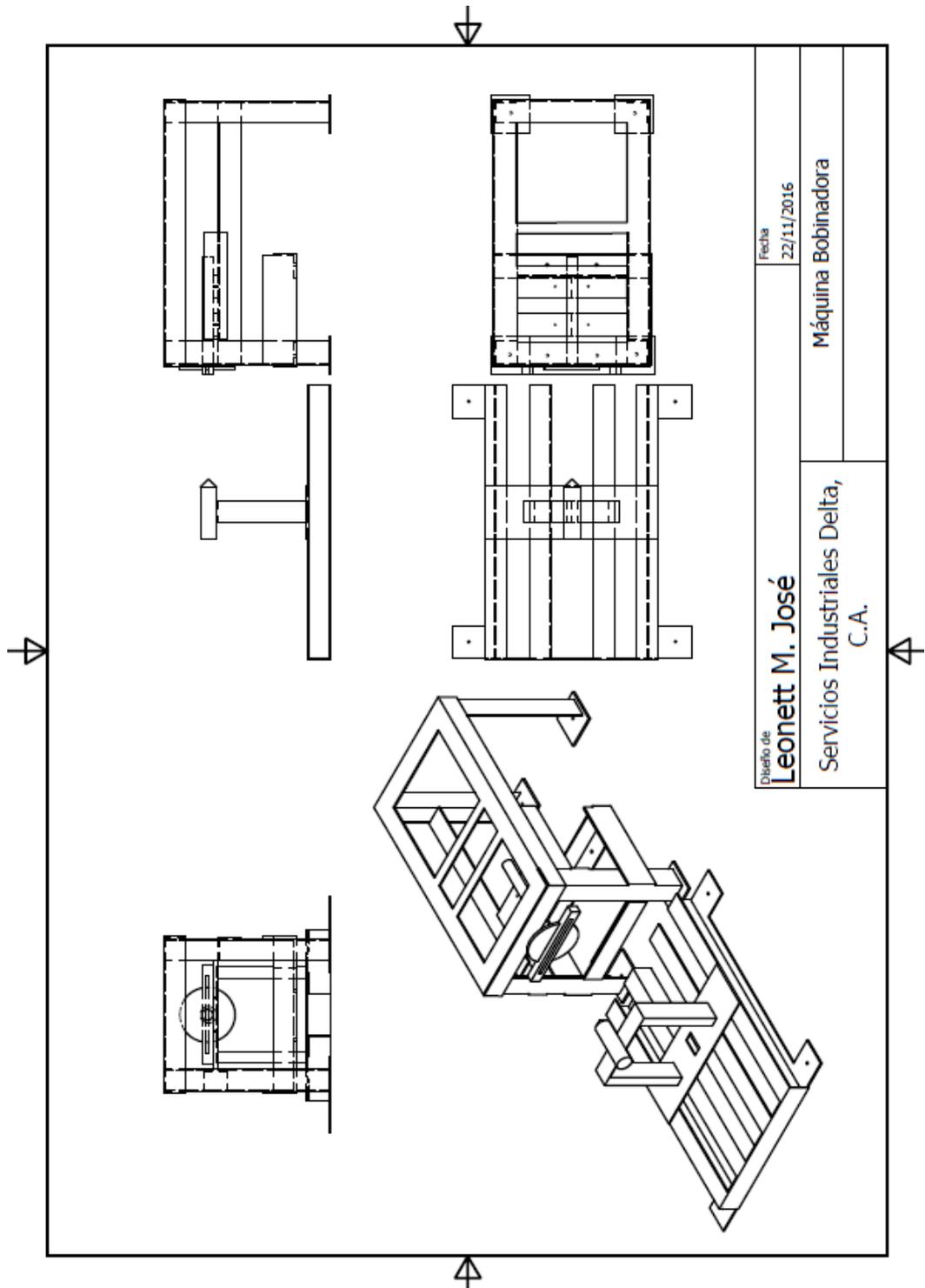


Ilustración 17 Plano de máquina bobinadora, diferentes vistas.

Fuente: El autor, mediante software comercial AutoCAD de AUTODESK.

Diseñar los circuitos de potencia y control de la máquina bobinadora y Simularlos con un programa comercial.

Una máquina bobinadora, cuya carga se comporta de manera lineal, debido a que se le va a agregando paulatinamente material y por ende va adquiriendo peso, debe funcionar dentro de una gama de velocidad de 0 hasta una velocidad de 3000 rpm. Asumiendo que el par resistente devuelto al motor por la bobina más grande que se podrá realizar en la máquina bobinadora que es de 500 kVA con un peso mayor a los 100 kg es de 8 Nm.

P útil necesaria para el motor de la máquina bobinadora:

$$C \omega n = \frac{C 2\pi N}{60}$$

Ec3 Potencia útil para un motor.

Fuente: Telesquemario.

$$C \omega n = \frac{8 * 2\pi * 3000}{60} = 2513,27 W$$

Por criterio de diseño y tomando en cuenta que en futuro la máquina bobinadora puede ser usada para la fabricación de bobinas de mayor potencia, la potencia del motor a seleccionar se multiplicará por el factor 1,5.

$$P = 2513,27 W * 1,5 = 3769,905 W$$

Se seleccionará un motor con una potencia de 4 kW.

Para obtener un mayor torque en la salida al eje rotativo de la máquina bobinadora se contará con una caja reductora con una relación de 75:1.

Como resultado del acople de la caja reductora al motor, el conjunto tendrá una velocidad máxima de:

$$rpm = \frac{3000 rpm}{75} = 40 rpm.$$

Cálculo de elementos de protección y accionamientos del circuito.

$$S = \frac{P}{FP}$$

Ec4 Potencia aparente.

Fuente: Stephen J. Chapman. Máquinas Eléctricas, Tercera edición. Editorial McGrawHill.

$$S = \frac{P}{FP} = \frac{4 kW}{0,7} = 5,71 kVA$$

Para obtener la potencia aparente (kVA) para poder calcular las corrientes que circularan por dicho circuitos de potencia se utilizo un factor de potencia igual a 0,7, considerandolo la peor condición que puede tener un motor, debido a que mientras más bajo sea su factor de potencia más elevada será su corriente.

Ec5 Potencia aparente trifásica.

$$S_n = \sqrt{3} * I_n * V_n$$

Fuente: Stephen J. Chapman. Máquinas Eléctricas, Tercera edición. Editorial McGrawHill.

Donde:

S_n = Potencia aparente trifásica

I_n = Corriente de línea (nominal del equipo)

V_n = Tensión de línea

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{5,71 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 460 \text{ V}} = 7,16 \text{ A.}$$

Interruptor principal magnetotérmico:

$$I_{nt} = 1,5 I_n = 1,5 \cdot 7,16 \text{ A} = 10,74 \text{ A.}$$

Fusible de disparo lento:

$$I_{nt} = 1,25 I_n = 1,25 \cdot 7,16 \text{ A} = 8,95 \text{ A.}$$

Relé térmico:

$$I_{nt} = F_s \cdot I_n = 1 \cdot 7,16 \text{ A} = 7,16 \text{ A.}$$

Contactores:

$$I_{nt} = 1,25 I_n = 1,25 \cdot 7,16 \text{ A} = 8,95 \text{ A.}$$

Acometida:

Selección:

Se seleccionaron 3C - #10 AWG, CU, THHN, 75°C, según la tabla de conductores dada por el libro "Canalizaciones Eléctricas Residenciales" la décima edición de Oswaldo Penissi, presentada a continuación:

Régimen de Temperatura del Conductor. Véase la Tabla 310-16 (CEN)									
Calibre	60°C	75°C	85°C	90°C	60°C	75°C	85°C	90°C	Calibre
	+TW,+UF	+FEPW +RH,+RHW +THW,+THWN +XHHW,+USE +ZW TTU	V	TA, TBS SA, AVB SIS, +FEP +FEPB +RHH +THHN +XHHW	+TW,+UF	+RH,+RHW +THW +XHHW +USE TTU	V	TA, TBS, SA, AVB SIS +RHH, +THHN +XHHW	
COBRE					ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO CON COBRE				
18	--	--	--	14	--	--	--	--	--
16	--	--	18	18	--	--	--	--	--
14	20	20	25	25	--	--	--	--	--
12	25	25	30	30	20	20	25	25	12
10	30	35	40	40	25	30	30	35	10
8	40	50	55	55	30	40	40	45	8
6	55	65	70	75	40	50	55	60	6
4	70	85	95	95	55	65	75	75	4
2	95	115	125	130	75	90	100	100	2
0	125	150	165	170	100	120	130	135	0
00	145	175	190	195	115	135	145	150	00
000	165	200	215	225	130	155	170	175	000
0000	195	230	250	260	150	180	195	205	0000

Ilustración 18 Tabla de capacidades de conductores.

Fuente: Canalizaciones Eléctricas Residenciales, Oswaldo Penissi .

Selección de componentes adquiridos:

Motor eléctrico:

- Marca: Flender.
- Tensión: 460 V.
- Amperios: 7,3 A.
- Cos Φ : 0,84
- Frecuencia: 60 Hz.
- rpm: 1730.
- Alimentación: Trifásica.

Debido a que el motor dimensionado era de 3000 rpm y el comprado en el mercado fue de 1730 rpm, la caja reductora comprada fue una con la misma relacion que la dimensionada (75:1).

Caja reductora:

- Caja reductora de 1730 rpm a 23 rpm.
- Cantidad de aceite: 12,5 Litros

2 Interruptores magnetotérmicos:

- Marca: Chint.
- Polos: 3 polos.
- Amperios: 15 A.

Contactador:

- Marca: Chint.
- Polos: 3 polos.
- Tensión de alimentación de bobina: 220 V.
- Amperios: 15 A.

Transformador de control:

- Potencia: 100 VA.
- Tensión: 220/460 V.

Cables del circuito de potencia:

3C - #10 AWG, CU, THHN, 75°C.

Cables del circuito de control:

#16 AWG, CU, TW, 60°C.

Simulación mediante software Cade_Simu.

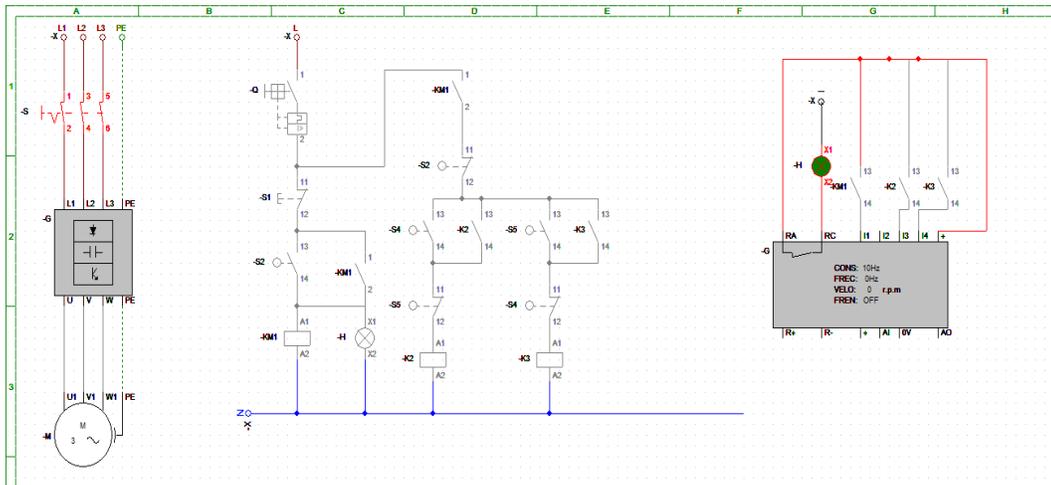


Ilustración 19 Circuito de potencia y control.

Fuente: El autor, mediante el uso de software comercial Cade_Simu.

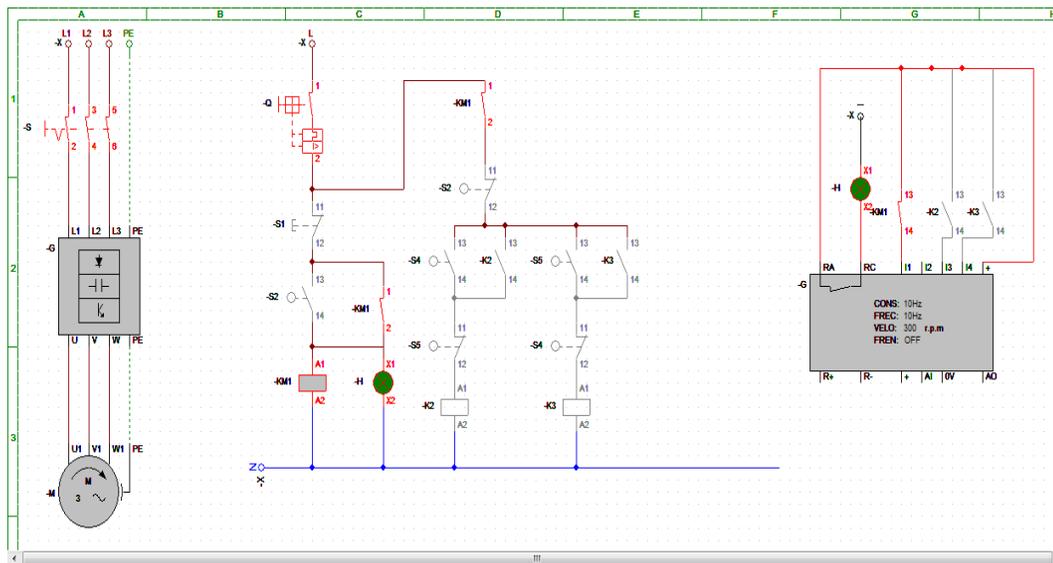


Ilustración 20 Circuito de potencia y control con variador de frecuencia a 10 Hz.

Fuente: El autor, mediante el uso de software comercial Cade_Simu.

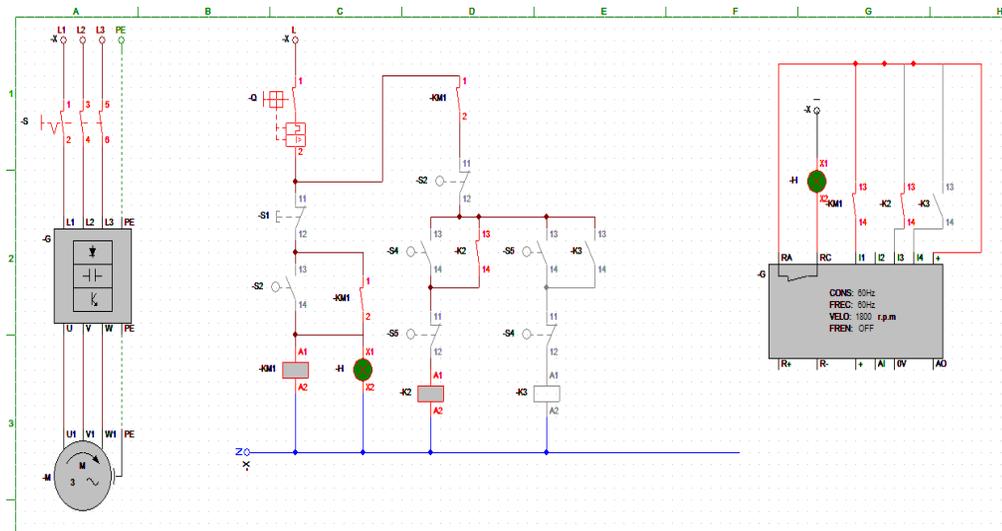


Ilustración 21 Circuito de potencia y control con variador de frecuencia a 60 Hz.

Fuente: El autor, mediante el uso de software comercial Cade_Simu.

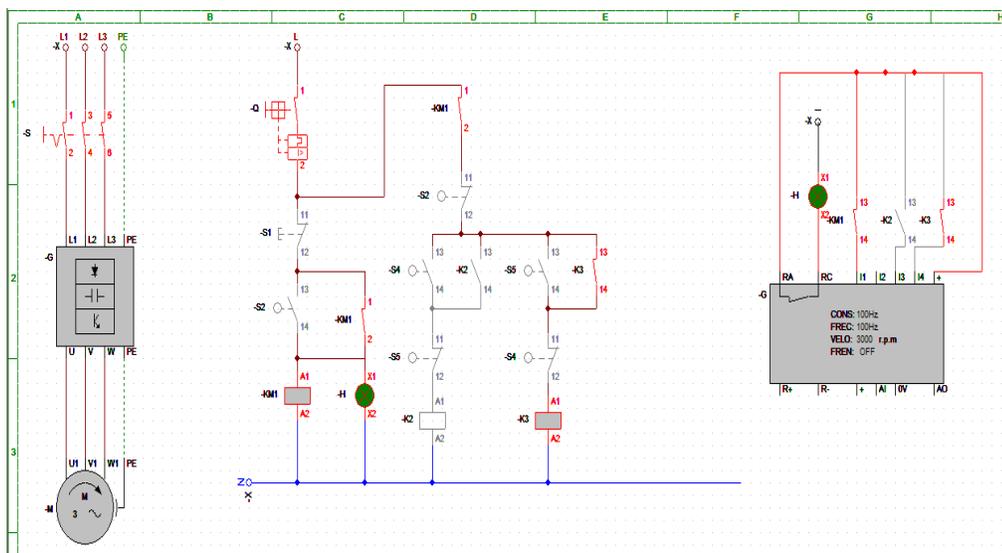


Ilustración 22 Circuito de potencia y control con variador de frecuencia a 100 Hz.

Fuente: El autor, mediante el uso de software comercial Cade_Simu.

En la simulación mediante el software comercial Cade_Simu se utilizó finales de carrera para simular el funcionamiento de un potenciómetro, el variador de frecuencia se varía entre 0 Hz y 100 Hz para tener una velocidad en el motor trifásico de 0 rpm hasta 3000 rpm, con la caja reductora de 75:1 los rpm del sistema serán desde 0 rpm hasta 40 rpm. Para no hacer la simulación mediante finales de carrera tan extensa se simularon solo con 3 finales de carrera, el primero para ejemplificar la velocidad del motor a 10 Hz, el segundo para ejemplificarlo a la frecuencia nominal del motor 60 Hz y el último con la máxima frecuencia con el que se programará el variador de frecuencia 100 Hz.

Dimensionar y fabricar el transformador trifásico seco para la alimentación de la máquina bobinadora.

Se necesita proveer de una alimentación trifásica con un nivel de tensión de 460 V, el cual es la tensión nominal de los motores seleccionados para la máquina bobinadora, a continuación, se desarrollarán los parámetros y características técnicas que debe poseer el transformador trifásico que servirá como fuente de alimentación:

El nivel de tensión que se tiene en las instalaciones de SERINDELCA es de 220 V trifásico, para ello el transformador que se dimensionará será del tipo trifásico seco, de tipo distribución por su capacidad nominal, cuyo enfriamiento es de tipo AA Self- cooled (natural circulation of air).

- Potencia del transformador: 45 kVA.
- Nivel de Alta tensión: 460 V.
- Nivel de Baja tensión: 220 V.
- Cantidad de salidas en alta tensión: 5
- Niveles de tensión en el lado de alta:
 - ✓ Tap 1: 520 V.
 - ✓ Tap 2: 500 V.
 - ✓ Tap 3: 480 V.
 - ✓ Tap 4: 460 V.
 - ✓ Tap 5: 400 V.
- Tipo de núcleo a utilizar: Apilado
- Devanado de baja tensión: Pletina de cobre.
- Devanado de alta tensión: Alambre de cobre.

Relación de transformación en un transformador:

$$a = \frac{V_p (fase)}{V_s (fase)} = \frac{N1}{N2}$$

Ec6 Relación de transformación.

Fuente: Pedro Avelino Pérez.

Transformadores de distribución:
teoría, cálculo, construcción y pruebas.

Donde:

a= Relación de transformación.

Vp (fase)= Voltaje de alta tensión.

Vs (fase)= Voltaje de baja tensión.

N1= Número de vueltas de alta tensión.

N2= Número de vueltas de baja tensión.

voltaje ALTA FASE-FASE	voltaje baja FASE (220/√3)	Relacion Nominal (N)
520	127,0170592	4,094
500	127,0170592	3,936
480	127,0170592	3,779
460	127,0170592	3,622
440	127,0170592	3,464

Ilustración 23 Relación de transformación del transformador trifásico seco de 75 kVA.

Fuente: El autor.

1. MEDIDAS DEL NUCLEO		
UNIDADES	pulg	Cm
Largo	11,81102362	30
Ancho (C)	4,72	12
Profundidad (H)	3,94	10
Area	18,60	

Ilustración 24 Medidas del núcleo del transformador.

Fuente: El autor.

El transformador tiene como parámetros conocidos las medidas del núcleo, los niveles de tensión de alta y baja tensión, con estos parámetros y asignando una cantidad de vueltas en el devanado de baja tensión se precede a calcular el número de vueltas del devanado de alta tensión. Se debe tener cuidado en el cálculo de la sección transversal del núcleo, ya que es sensible al número de vueltas del lado de alta.

$$N1 = a * N2$$

Ilustración 25 Cálculo de vueltas en alta tensión, teniendo las vueltas de baja tensión.

Fuente: El autor.

TX 75 KVA, 460/220 V						
voltaje ALTA FASE-FASE	voltaje baja FASE (220/√3)	Relacion Nominal (N)	vueltas Baja (2 Bob)	vuletas alta halladas	Cantidad de vueltas por tap	
520	127,0170592	4,094	26,0	106,4	4,1	de 3 a4
500	127,0170592	3,936	26,0	102,3	4,1	de 5 a 6
480	127,0170592	3,779	26,0	98,3	4,1	de 2 a 3
460	127,0170592	3,622	26,0	94,2	4,1	de 6 a 7
440	127,0170592	3,464	26,0	90,1	45,033321	h1-2 y 7-h2

Ilustración 26 Cálculo de vueltas de Alta tensión.

Fuente: El autor.

Cálculo de la sección transversal del núcleo

Como ya se determinó el número de vueltas de los devanados, primario (N1) y secundario (N2), y fijando una densidad de flujo magnético (B), entonces se puede calcular la sección transversal del núcleo (A).

$$A = \frac{V \times 10^8}{4,44 f N B} \text{ (cm}^2\text{)}$$

Ilustración 27 Cálculo de sección transversal del núcleo.

Fuente: Pedro Avelino Pérez. Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas.

Donde:

A= Sección transversal del núcleo del transformador.

V= Tensión nominal del transformador.

f= Frecuencia de la red de alimentación.

N= Número de vueltas de alta.

B= Densidad de flujo magnético.

Para núcleos arrollados es recomendable usar densidades de flujo (B), de 15000 a 17000 gauss, y para núcleos apilados de 13000 a 15000gauss.

$$A = \frac{480 \text{ v} * 10^8}{4,44 * 60 \text{ Hz} * 98,3 \text{ vueltas} * 15000 \text{ gauss}}$$

$$A = 122,254 \text{ cm}^2$$

Se tiene un núcleo con un acero eléctrico M-4³, el factor de apilamiento (f_e) está entre 0,90 y 0,93. Para el cálculo se usó 0,93, entonces.

$$A_n = A_f * f_e$$

Ilustración 28 Área neta del núcleo.

Fuente: Pedro Avelino Pérez. Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas.

Donde:

A_n = Área neta.

A_f = Área física.

f_e = Factor de apilamiento o factor de espacio.

$$A_f = \frac{122,254 \text{ cm}^2}{0,93} = 131,456 \text{ cm}^2$$

Area Efectiva cm/2	Area Total cm/2	area efect pulg/ 2	area totalpulg /2	AREA MEDIDA	GAUSS DESEADO
122,254	131,456	18,949	20,376	18,60	15000

Ilustración 29 Área efectiva del núcleo del transformador.

Fuente: El autor.

El área física efectiva calculada en pulgadas debe de ser muy cercano al área medida en pulgadas.

Como se puede notar en la Ilustración 29 la cantidad de flujo magnético utilizado para el cálculo del área neta fue el máximo permitido de 15000 gauss.

La determinación inicial del número de vueltas en los bobinados de un transformador de distribución, puede efectuarse de la siguiente manera:

$$V_t = \frac{v^2}{N^2}$$

Ilustración 30 Determinación de los Volts/Vuelta.

Fuente: Pedro Avelino Pérez. Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas.

$$V_t = \frac{220 \text{ V}}{26 \text{ vueltas}} = 8,46 \frac{\text{Volts}}{\text{vuelt}}$$

Cálculo de calibres del conductor

Para el cálculo de calibres de conductor de baja tensión, es común tomar una densidad de corriente (δ) que esté dentro de los siguientes valores: de 1,25 a 2,5 amperes/mm², para transformadores seco. [8].

Primero se necesita calcular la corriente que circulará por el devanado de baja tensión.

$$S_n = V \text{ línea} * I \text{ línea}$$

Ec7 Potencia monofásica aparente del transformador.

Fuente: Pedro Avelino Pérez.

Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas.

Donde:

S_n = Potencia aparente del transformador.

V línea= Tensión de línea del transformador.

I línea= Corriente de línea del transformador.

$$I \text{ linea} = \frac{Sn}{V \text{ linea}}$$

$$I \text{ linea} = \frac{15 \text{ kVA}}{220 \text{ V}} = 68,18 \text{ Amp.}$$

El área requerida del conductor de baja tensión será:

$$\text{Área} = \frac{I \text{ linea}}{\text{densidad de corriente } (\delta)} \quad \text{Ec8 Área requerida del conductor en mm}^2.$$

Fuente: Pedro Avelino Pérez. Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas.

$$\text{Área} = \frac{68,18 \text{ Amp}}{2,5 \text{ Amp/mm}^2} = 27,27 \text{ mm}^2$$

Cálculo de conductor para baja		
Corriente que va a circular por CADA BOBINA DE BAJA TENSIÓN (AMP)	Tomando una densidad de corriente de Amp/mm2	Area requerida mm2
68,18181818	2,5	27,27272727

Ilustración 31 Parámetros para el cálculo del conductor para baja tensión.

Fuente: El autor.

Se requiere un conductor para baja tensión con un área en mm² de 27,27 mm² o superior para que pueda soportar la corriente que circulará por él. En SERINDELCA se cuenta en el stock del almacén dos tipos de pletinas de cobre, una gruesa o la otra fina, la pletina fina tiene medidas de 2,068mm *4,027mm dando un área de 8,327836 mm², mientras la pletina de cobre gruesa tiene medidas de 3,12mm *9,473mm dando un área de 29,55 mm², como consecuencia se utilizará la pletina de cobre gruesa, debido a que el área de ella supera a la requerida calculada anteriormente.

Luego se multiplica el área en mm² total de la pletina a utilizar por un factor de área efectiva el cual es de 98,3% [8].

$$\text{Área efect} = \text{Área mm}^2\text{total} * 98,3\%$$

Ilustración 32 Área efectiva en mm² de pletina de cobre.

Fuente: Pedro Avelino Pérez. Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas.

$$\text{Área efect} = 29,55576 \text{ mm}^2 * 0,983 = 29,05 \text{ mm}^2$$

De la ecuación 8 se despeja la corriente de línea (I línea) para saber cuánta corriente soportará esta pletina seleccionada.

$$I \text{ línea} = 2,5 \frac{\text{Amp}}{\text{mm}^2} * 29,05 \text{ mm}^2 = 72,63 \text{ Amp}$$

Dando como resultado que el uso de una sola pletina de cobre es capaz de soportar la cantidad de corriente que circulará por el devanado de baja tensión del transformador. Si, se es el caso de que la corriente de una sola pletina es inferior a la I línea que circulará por la bobina del transformador, se pueden colocar pletinas en paralelos para así aumentar la capacidad de corriente que pueda soportar cada vuelta del devanado. Para colocar 2 pletinas en paralelo se multiplica la capacidad de corriente por pletina por 2 y luego se multiplica por el coeficiente 1,11, que es el 11% de aumento de la capacidad, para colocar 3 pletinas se sigue el mismo paso que para la colocación de 2 pero se multiplica por 1,2, que sería el 20% de aumento de capacidad de corriente y para el uso de 4 pletinas el coeficiente de multiplicación es de 1,25, representando un 25% de aumento en la capacidad de corriente.

5. Pletinas					
		Area mm ² Total		Area en mm efect 98,3%	capacidad por pletina (Amp)
		29,55576		29,05	72,6332802
			Número de pletinas por sumatoria areas netas		
			0,9		
Ampacidad de pletin	pletinas en paralelo	coheficiente	capacidad sin corregir	capacidad Amp corregida	
72,6	2	1,11	145,2665604	161,245882	
72,6	3	1,2	217,8998406	261,4798087	
72,6	4	1,25	290,5331208	363,166401	
pletinas a usar	1				

Ilustración 33 Criterios de selección de pletinas de cobre a usar.

Fuente: El autor.

Cálculo de calibre de conductor de alta tensión.

$$I \text{ linea} = \frac{15 \text{ kVA}}{13800V} = 1,08 \text{ Amp.}$$

Tabla 4 Tabla de alambre de cobre esmaltado.

Fuente: <https://es.scribd.com/document/146199956/Tabla-de-Alambres-Esmaltados>.

TABLA DE ALAMBRE ESMALTADO		
NÚMERO AWG	DIAMETRO EN MM	AMPERIOS
6	4,115	38
7	3,665	30
8	3,264	24
9	2,906	19
10	2,588	15
11	2,305	12
12	2,053	9,5
13	1,828	7,5
14	1,628	6
15	1,45	4,8
16	1,291	3,7
17	1,15	3,2
18	1,024	2,5
19	0,9116	2
20	0,8118	1,5
21	0,723	1,2
22	0,6438	0,92
23	0,5733	0,73
24	0,5106	0,58
25	0,4547	0,46

La corriente que circulará por cada bobina de 15 kVA será de 1,08 Amp, con esta información se procede a buscar en la tabla de calibre de alambres de cobre y se ubica el conductor que este inmediato a la capacidad en amperios necesarios, que en este caso es de 1,08 Amp. El alambre seleccionado según la tabla 4 es un alambre #21, que puede soportar 1,2 Amp.

A continuación, se presenta una tabla con los calibres de alambre a utilizar en las bobinas de alta tensión para transformadores de distribución:

Tabla 5 Tabla de calibre de alambre para transformadores por kVA.

Fuente: El autor.

TABLA DE CALIBRE DE ALAMBRE PARA TRANSFORMADORES POR kVA							
TX UNICORNIO				TX NORMAL			
kVA	Alambre	I del alambre	I del TX	kVA	Alambre	I del alambre	I del TX
15	23	0.73 A	0.79 A	15	21	1.2 A	1.20 A
25	20	1.5 A	1.32 A	25	19	2.0 A	1.99 A
37,5	19	2.0 A	1.98 A	37,5	17	3.2 A	2.99 A
50	18	2.5 A	2.64 A	50	16	3.7 A	3.99 A
75	16	3.7 A	3.96 A	75	14	6.0 A	5.98 A
100	14	6.0 A	5.28 A	100	13	7.5 A	7.97 A
167,5	12	9.5 A	8.85 A	167,5	10	15 A	13.36 A
333	9	19 A	17.60 A	333	7 (USAR DOS 11)	26.4 A	26.56 A
500	7 (USAR DOS 11)	26.4 A	26.42 A	500	6 (USAR DOS 9)	41.8 A	39.87 A

NOTA: LOS VOLTAJES EMPLEADOS PARA EL CÁLCULO DE LAS CORRIENTES SON EL DE LA PEOR CONDICIÓN DE OPERACIÓN (QUE EL TRANSFORMADOR ESTE TRABAJANDO EN EL TAP 5).

VOLTAJE TRANSFORMADOR UNICORNIO= 18924 V.

VOLTAJE TRANSFORMADOR NORMAL= 12540 V.

Fabricación del transformador:

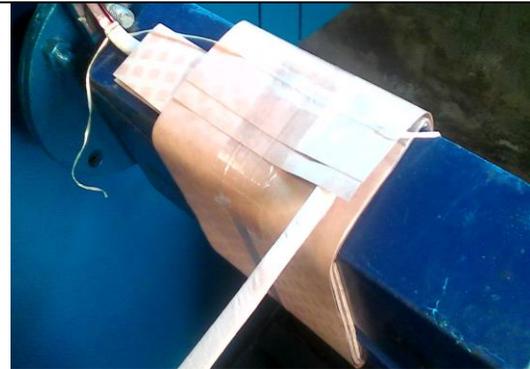


Ilustración 34 Fabricación de Bobina de transformador.
Fuente: El autor.



Ilustración 35 Fabricación de Bobina de transformador.
Fuente: El autor.

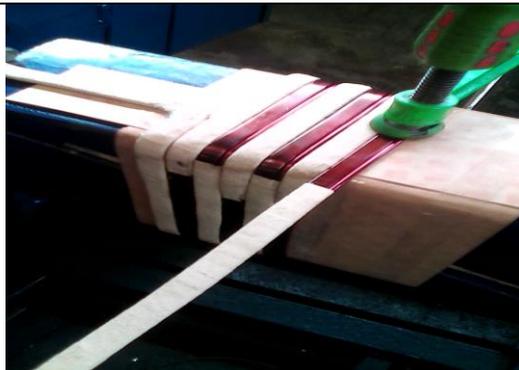


Ilustración 36 Fabricación de bobina de baja tensión.
Fuente: El autor.



Ilustración 37 Transformador trifásico fabricado, salidas de alta.
Fuente: El autor.



Ilustración 38 Transformador trifásico fabricado, salidas de alta.
Fuente: El autor.



Ilustración 39 Transformador trifásico fabricado.
Fuente: El autor.

Pruebas eléctricas realizadas al transformador trifásico:

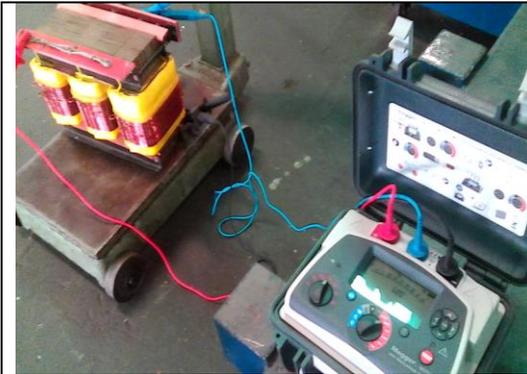


Ilustración 40 Prueba de resistencia de aislamiento.
Fuente: El autor.



Ilustración 41 Medida de aislamiento de alta vs baja.
Fuente: El autor.



Ilustración 42 TTR Trifásico usado para corroborar la relación de transformación.
Fuente: El autor.



Ilustración 43 Prueba de Relación de transformación.
Fuente: El autor.

PRUEBAS ELÉCTRICAS						
TTR	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO	15 SEG (GΩ)	30 SEG (GΩ)	1 MIN (GΩ)	10 MIN (GΩ)	IP
1. 4,091	ALTA-MASA	4,36	4,5	5,12	6,66	1,30
2. 3,930	ALTA-BAJA	5,1	6,9	7,53	9,51	1,26
3. 3,770	BAJA-MASA	700 MΩ	1,51	1,75	2,98	1,70
4. 3,618						
5. 3,455						

Ilustración 44 Prueba de Relación de transformación y resistencia de aislamiento.

Fuente: El autor.

Evaluar en el mercado el variador de frecuencia a utilizar.

Se tienen 3 opciones de variadores de frecuencia, a continuación, se presentan las opciones encontradas en el mercado actual y se especificará cual fue el variador de frecuencia elegido.

1. Variador de frecuencia SIEMENS, SINAMICS G120C.

Los variadores SINAMICS G despliegan todas sus capacidades tecnológicas en la aplicación. Su gama de potencias va de 0,12 kW a 250 kW. Con ellos, el usuario se beneficia de un sistema de manejo uniforme y sencillo al mismo tiempo, lo que minimiza los costos en aprendizaje y servicio técnico. Asimismo, la serie SINAMICS G convence por su óptima relación calidad/precio.

[17]

Calidad ¹⁾		Simple	
Aplicación			
 Bompear/ ventilar/ comprimir	Bombas centrífugas Ventiladores radiales/axiales Compresores	V20 G120C G120P	
 Mover	Cintas transportadoras Transportadores de rodillos Transportadores de cadenas	V20 G110D G120C G110M	
 Procesar	Molinos Mezcladores Amasadoras Trituradores Agitadores Centrifugadoras	V20 G120C	
 Mecanizar	Accionamientos principales para • torneado • fresado • taladrado	S110	

Ilustración 45 Aplicaciones de variador de frecuencia SIEMENS, SINAMICS G120C.

Fuente: siemens.com/sinamics-g120c

SINAMICS G120C: el variador de frecuencia compacto y versátil con funcionalidad idónea. El variador SINAMICS G120C ofrece una equilibrada combinación de funciones que permiten uso muy variado. Su diseño compacto y su alta densidad de potencia permiten ahorrar mucho espacio en el montaje en cajas de distribución de máquinas y tableros. Puede disponerse en hilera directamente sin reducción de potencia y ofrece de serie la función SafetySTO (Safe Torque Off) para la parada segura. [17]

Esto permite cumplir las directivas de máquinas actuales fácilmente y con costos mínimos.

Tensión y rango de potencia:

3 AC 380 a 480 V; 0,55 a 18,5 kW (0,75 hp a 25 hp); IP20



	SINAMICS V20	SINAMICS G120C	SINAMICS G120
Catálogo	Catálogo de selección para distribuidores	Catálogo de selección para distribuidores	Catálogo de selección para distribuidores
Descripción abreviada	El variador económico, confiable y fácil de manejar para las aplicaciones básicas	El variador de frecuencia compacto y versátil con funcionalidad idónea	Variador modular. Compacto, seguro y robusto
Grado de protección	IP20	IP20	IP20
Tensión de red	1AC 200 a 240 V 3AC 380 a 480 V	3AC 380 a 480 V	1AC 200 a 240 V 3AC 200 a 240 V 3AC 380 a 480 V
Potencia	0,12 a 15 kW	0,55 a 18,5 kW	0,37 a 250 kW
Método de control y regulación	U/f (lineal, cuadrático, FCC, ECO)	U/f (lineal, cuadrático, FCC, ECO), regulación vectorial sin encóder (SLVC)	U/f (lineal, cuadrático, FCC, ECO), regulación vectorial con/sin encóder (VC/SLVC)
Motores compatibles	Motores asíncronos	Motores asíncronos	Motores asíncronos
Comunicación	USS/Modbus RTU	USS/Modbus RTU, PROFIBUS DP, PROFINET, Ethernet/IP, CANopen	USS/Modbus RTU, PROFIBUS DP, PROFINET, Ethernet/IP, PROFIsafe, CANopen
Funciones de seguridad integradas	-	STO	STO, SS1, SBC, SLS, SDI, SSM
Integración TIA	-	Sí	Sí

Ilustración 46 Características del variador de frecuencia SINAMICS G120C.

Fuente: siemens.com/sinamics-g120c



SINAMICS V20

Sobrecarga (LO = HO):
150% durante
60 s dentro de un ciclo de carga de 300 s

SINAMICS G120C

Low Overload (LO):
150% durante 3 s más 110% durante 57 s dentro de un ciclo de carga de 300 s
High Overload (HO):
200% durante 3 s más 150% durante 57 s dentro de un ciclo de carga de 300 s

Ilustración 47 Capacidad de sobrecarga del variador de frecuencia SINAMICS G120C.

Fuente: siemens.com/sinamics-g120c



SINAMICS G120C es un variador compacto con grado de protección IP20 que reúne las unidades funcionales Control Unit (CU) y Power Module (PM) en un equipo.

! El equipo consta de una referencia y los accesorios opcionales.

Datos técnicos

Tensión: 3AC 380 a 480 V (+/-10%)
con 50/60 Hz (+/-5%)
Rango de potencia: 0,55 a 18,5 kW
Grado de protección: IP20
Modos de regulación: U/f (lineal, cuadrático, FCC, ECO),
regulación vectorial sin encóder (SLVC)
I/Os: 6 DI/2 DO/1AI/1AO

Características destacadas

Mecánica	
Alta densidad de potencia, volumen reducido	
Puesta en marcha y mantenimiento sencillos	
Montaje adosado	
Bornes enchufables	
Electrónica	
Chopper de freno incorporado	
Función de seguridad STO integrada	
Interfaces IOP, BOP-2 y USB	
Tarjeta de memoria (SD) intercambiable opcional	
Entradas con aislamiento galvánico	
Comunicación	
PROFINET, Ethernet/IP, PROFIBUS DP, CANopen, USS/Modbus RTU	
Parte integrante de Totally Integrated Automation	
Interacción idónea con los controladores SIMATIC	

Ilustración 48 Características destacadas del variador de frecuencia SINAMICS G120C.

Fuente: siemens.com/sinamics-g120c

SINAMICS G120C	
Tensión de red/frecuencia de red	3AC 380 a 480 V (+10%...-20%) con 50/60 Hz +/-5%
Potencia asignada/tamaños	0,55 a 18,5 kW/3 tamaños
Tipo de configuración	Variador compacto que reúne en un equipo las unidades funcionales Control Unit (CU) y Power Module (PM) + accesorios opcionales
Grado de protección	IP20/UL open type
Temperatura de servicio	-10 a 40 °C sin reducción de potencia/hasta 60 °C con reducción de potencia
Humedad ambiental, máx.	95% a 140 °C (104 °F), condensación y formación de hielo no permitidas
Capacidad de sobrecarga	Low Overload (LO): 150% durante 3 s más 110% durante 57 s dentro de un ciclo de carga de 300 s High Overload (HO): 200% durante 3 s más 150% durante 57 s dentro de un ciclo de carga de 300 s
Interfaces de comunicación integradas	PROFINET, PROFIBUS DP, CANopen, USS/Modbus RTU
Entradas/salidas de señal (I/Os)	6 DI/2 DO/1 AI/1 AO
Tipos de control y regulación	U/f (lineal, cuadrático, FCC, ECO), regulación vectorial sin codér (SLVC)
Función de seguridad integrada	Safety Integrated: Safe Torque Off (STO); control vía bornes o PROFIsafe
Frenado	Chopper de freno integrado
Interfaces de herramienta	Tarjeta de memoria: SD; panel de mando: Basic Operator Panel (BOP-2) o Intelligent Operator Panel (IOP); interfaz de PC: USB
Normas	CE, cULus, c-tick
Certificación de seguridad positiva	Certificación de seguridad positiva Función: Safe Torque Off (STO) • Según IEC 61508 SIL 2 • Según EN ISO 13849-1 PL d y categoría 3
Compatibilidad electromagnética (CEM)	Para más detalles, véase el capítulo 4: Más información
Longitudes del cable de motor	50 m apantallado/100 m sin apantallar
Funciones de energía	Calculadora de ahorro energético, calculadora de consumo, modo ECO (reducción automática de flujo)
Funciones	Consigna de velocidad fija, mando a 2/3 hilos, regulador PID, mando de freno en motor

Ilustración 49 Datos técnicos del variador de frecuencia SINAMICS G120C.

Fuente: [siemens.com/sinamics-g120c](https://www.siemens.com/sinamics-g120c)

2. Variador de frecuencia, Allen-Bradley, PowerFlex 40P.

Categoría	Especificación	
Certificación de organismos		En lista de UL508C y CAN/CSA-22.2
		Certificado según AS/NZS, 1997 grupo 1, clase A
		Con distintivos de todas las directivas europeas aplicables Directiva sobre compatibilidad electromagnética (89/336) EN 61800-3, EN 50081-1, EN 50082-2 Directiva sobre bajo voltaje (73/23/EEC) EN 50178, EN 60204
		Certificación según EN 954-1, categoría 3. Satisface los requisitos de seguridad funcional (FS) cuando se utiliza con la opción de desactivación segura DriveGuard (Serie B).
	El variador también está diseñado para cumplir las porciones apropiadas de las especificaciones siguientes: NFPA 70 – Código Eléctrico Nacional de los EE.UU. NEMA ICS 3.1 – Normas de seguridad para la construcción y Guía para la selección, instalación y operación de sistemas de variador de velocidad ajustable. IEC 146 – Código eléctrico internacional.	
Protección	Disparo por sobrevoltaje de bus Entrada de 200-240 VCA: Entrada de 380-480 VCA: Entrada de 460-600 VCA:	Bus de 405 VCC (equivalente a línea de entrada de 290 VCA) Bus de 810 VCC (equivalente a línea de entrada de 575 VCA) Bus de 1005 VCC (equivalente a línea de entrada de 711 VCA)
	Disparo por voltaje insuficiente de bus Entrada de 200-240 VCA: Entrada de 380-480 VCA: Entrada de 460-600 VCA P042 = 3 "alto voltaje": P042 = 2 "bajo voltaje":	Bus de 210 VCC (equivalente a línea de entrada de 150 VCA) Bus de 390 VCC (equivalente a línea de entrada de 275 VCA) Bus de 487 VCC (equivalente a línea de entrada de 344 VCA) Bus de 390 VCC (equivalente a línea de entrada de 275 VCA)
	Intervalo de autonomía de la alimentación eléctrica:	100 milisegundos
	Tiempo de sustentación de control de lógica:	mínimo 0.5 segundos; típico 2 segundos
	Protección electrónica contra sobrecarga del motor:	Protección I^2t – 150% durante 60 segundos, 200% durante 3 segundos (proporciona protección clase 10)
	Sobrecorriente:	200% límite del hardware, 300% fallo instantáneo
	Disparo por fallo de tierra:	Fase a tierra en la salida del variador
	Disparo por cortocircuito:	Fase a fase en la salida del variador

Ilustración 50 Especificaciones de protección del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.

Fuente: Manual del usuario del PowerFlex 40P, Publicación 22D-UM001

Características eléctricas	Tolerancia de voltaje:	200-240 V \pm 10% 380 - 480 V \pm 10% 460-600 V \pm 10%
	Tolerancia de frecuencia:	48-63 Hz
	Fases de entrada:	La entrada trifásica proporciona la capacidad nominal total. El funcionamiento monofásico proporciona un 35% de la corriente nominal.
	Factor de potencia de desplazamiento:	0.98 en todo el rango de velocidades
	Capacidad nominal máxima de cortocircuito:	100,000 A simétricos
	Capacidad nominal real de cortocircuito:	Determinada por clasificación AIC del fusible/disyuntor instalado
	Tipo de transistor:	Bipolar de puerta aislada (IGBT)

Ilustración 51 Características eléctricas del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.

Fuente: Manual del usuario del PowerFlex 40P, Publicación 22D-UM001

Control	Método:	PWM senoidal, relación V/Hz y vectorial sin sensores
	Frecuencia portadora	2-16 kHz, clasificación de variador basada en 4 kHz.
	Exactitud de frecuencia	
	Entrada digital:	Dentro de \pm 0.05% de la frecuencia de salida establecida
	Entrada analógica:	Dentro del 0.5% de la frecuencia máxima de salida, resolución de 10 bits
	Salida analógica	\pm 2% de plena escala, resolución de 10 bits
	Regulación de la velocidad	
	Lazo abierto con compensación de deslizamiento:	\pm 1% de la velocidad base dentro de un rango de velocidades de 80:1
	Con encoder:	\pm 0.3% de la velocidad base dentro de un rango de velocidades de 80:1 \pm 0.05% de la velocidad base dentro de un rango de velocidades de 20:1
	Frecuencia de salida:	0-500 Hz (programable)
	Eficiencia:	97.5% (típica)
Modos de paro:	Múltiples modos de paro programables, incluidos: rampa, inercia, freno de CC y rampa hasta paro	
Acel./decel.:	Cuatro tiempos de aceleración y desaceleración programables independientemente. Cada tiempo se puede programar de 0 a 600 segundos en incrementos de 0.1 s.	
Sobrecarga intermitente:	Capacidad de sobrecarga del 150% por un máximo de 1 minuto Capacidad de sobrecarga del 200% por un máximo de 3 segundos	
Protección electrónica contra sobrecarga del motor	Protección clase 10 con respuesta sensible a velocidad seleccionable y función de retención de sobrecarga durante desactivación cuando está habilitado.	

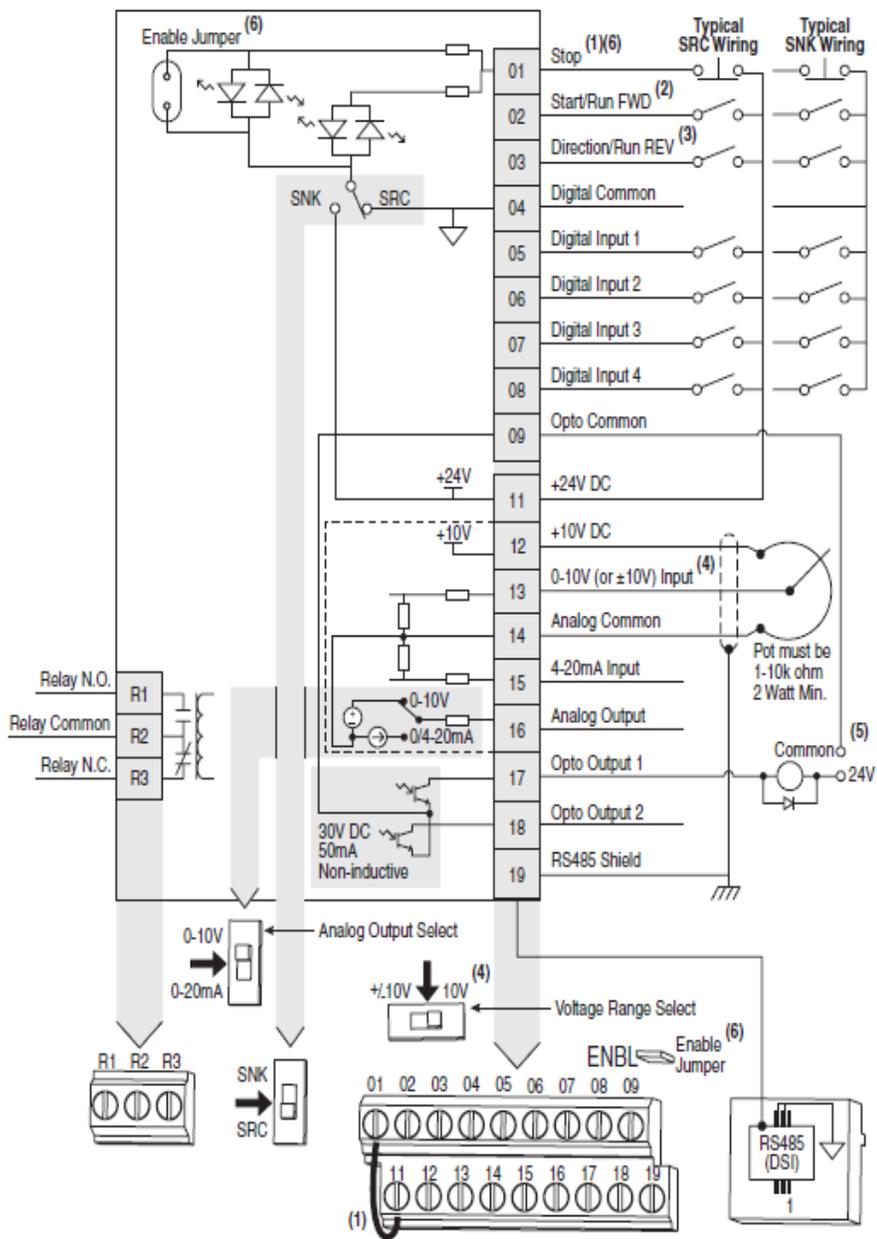
Ilustración 52 Características de control del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.

Fuente: Manual del usuario del PowerFlex 40P, Publicación 22D-UM001

Entradas de control	Digitales:	Ancho de banda:	10 rad/s para lazo abierto y cerrado
		Cantidad:	(2) semiprogramables (5) programables
		Corriente:	6 mA
		Tipo Modo surtidor (SRC): Modo drenador (SNK):	18-24 V = Activado, 0-6 V = Desactivado 0-6 V = Activado, 18-24 V = Desactivado
	Analógicas:	Cantidad:	(2) aisladas, -10 a 10 V y 4 a 20 mA
		Especificación Resolución: 0 a 10 VCC analógicas: 4-20 mA analógicas: Pot. externo:	10 bits Impedancia de entrada de 100k ohms Impedancia de entrada de 250 ohms 1-10k ohms, 2 watts mínimo
Encoder	Tipo:	Canal doble, incremental	
	Alimentación:	12V, 250 mA. Entradas aisladas 12V y 10 mA mínimo con transmisor diferencial, 250 kHz máximo.	
	Cuadratura:	90°, ±27 grados a 25 grados C.	
	Ciclo de servicio:	50%, +10%	
	Requisitos:	Los encoders deben ser de tipo manejador de línea, cuadratura (canal doble) o impulso (canal sencillo), salida de 3,5-26 V CC, unipolar o diferencial y con la capacidad de suministrar un mínimo de 10 mA por canal. Entrada permitida en CC hasta una frecuencia máxima de 250 kHz. La E/S del encoder automáticamente se ajusta en escala para permitir voltajes nominales de 5, 12 y 24 VCC.	
Salidas de control	Relé:	Cantidad:	(1) programables formato C
		Especificación Clasificación resistiva: Clasificación inductiva:	3.0 A a 30 VCC, 3.0 A a 125 V, 3.0 A a 240 VCA 0.5 A a 30 VCC, 0.5 A a 125 V, 0.5 A a 240 VCA
	Optoacoplador:	Cantidad:	(2) programables
		Especificación:	30 VCC, 50 mA no inductivas
	Analógicas:	Cantidad:	(1) no aislada, 0-10 V o 4-20 mA
		Especificación Resolución: 0 a 10 VCC analógicas: 4-20 mA analógicas:	10 bits 1k ohm mínimo 525 ohms máximo

Ilustración 53 Características de entradas y salidas del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.

Fuente: Manual del usuario del PowerFlex 40P, Publicación 22D-UM001



	30 VCC	125 VCA	240 VCA
Resistivo	3.0 A	3.0 A	3.0 A
Inductivo	0.5 A	0.5 A	0.5 A

Ilustración 54 Diagrama de bloques de control del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.

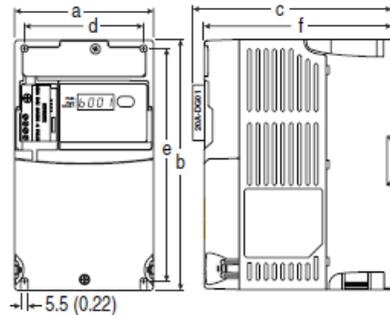
Fuente: Manual del usuario del PowerFlex 40P, Publicación 22D-UM001

Dimensiones del variador

Estructuras del PowerFlex 40P – Las clasificaciones se presentan en kW y (hp)

Estructura	240 VCA – trifásicos		480 VCA – trifásicos		600 VCA – trifásicos	
B	0.4 (0.5) 0.75 (1.0) 1.5 (2.0)	2.2 (3.0) 3.7 (5.0)	0.4 (0.5) 0.75 (1.0) 1.5 (2.0)	2.2 (3.0) 4.0 (5.0)	0.75 (1.0) 1.5 (2.0) 2.2 (3.0)	4.0 (5.0)
C	5.5 (7.5) 7.5 (10.0)		5.5 (7.5) 7.5 (10.0)	11.0 (15.0)	5.5 (7.5) 7.5 (10.0)	11.0 (15.0)

Variador de CA PowerFlex 40P



Las dimensiones se muestran en milímetros y (pulgadas).

Los pesos se indican en kilogramos y (libras).

Estructura	a	b	c	d	e	f	g	Peso de envío
B	100 (3.94)	180 (7.09)	148 (5.83)	87 (3.43)	168 (6.61)	136 (5.35)	87.4 (3.44)	2.2 (4.9)
C	130 (5.1)	260 (10.2)	192 (7.56)	116 (4.57)	246 (9.7)	180 (7.1)	-	4.3 (9.5)

Ilustración 55 Dimensiones del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.

Fuente: Manual del usuario del PowerFlex 40P, Publicación 22D-UM001

3. Variador de frecuencia ABB, ACS550

Conexión de red

Rango de potencia y tensión	Trifásica, 380 a 480 V, +10/-15%, 0,75 a 355 kW
	Trifásica, 208 a 240 V, +10/-15%, 0,75 a 75 kW
	Autoidentificación de la línea de entrada
Frecuencia	48 a 63 Hz
Factor de potencia	0,98

Ilustración 56 Características de conexión de red del variador de frecuencia ABB, ACS550.

Fuente: **Catálogo** | Convertidores de frecuencia ABB de propósito general, ACS550.

Conexión del motor	
Tensión	Trifásica, de 0 a U_{ALIM}
Frecuencia	0 a 500 Hz
Capacidad de carga continua (par constante a una temperatura ambiente máxima de 40 °C)	Intensidad de salida nominal I_{2N}
Capacidad de sobrecarga (a una temperatura ambiente máxima de 40 °C)	En uso normal: $1,1 \times I_{2N}$ durante 1 minuto cada 10 minutos En uso en trabajo pesado: $1,5 \times I_{2nd}$ durante 1 minuto cada 10 minutos Independientemente del uso: $1,8 \times I_{2nd}$ durante 2 segundos cada 60 segundos
Frecuencia de conmutación	Por defecto 4 kHz
Seleccionable	1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 12 kHz
Tiempo de aceleración	0,1 a 1800 s
Tiempo de deceleración	0,1 a 1800 s
Control de la velocidad	
Bucle abierto	20% del deslizamiento del motor nominal
Bucle cerrado	0,1% de la velocidad nominal del motor
Bucle abierto	< 1% con escalón de par del 100%
Bucle cerrado	0,5% con escalón de par del 100%
Control del par	
Bucle abierto	< 10 ms con par nominal
Bucle cerrado	< 10 ms con par nominal
Bucle abierto	±5% con par nominal
Bucle cerrado	±2% con par nominal

Ilustración 57 Características de conexión de motor del variador de frecuencia ABB, ACS550.

Fuente: **Catálogo** | Convertidores de frecuencia ABB de propósito general, ACS550.

Conexiones de control programables

Dos entradas analógicas	
Señal de tensión	0 (2) a 10 V, $R_{en} > 312 \text{ k}\Omega$ sin diferencial
Señal de intensidad	0 (4) a 20 mA, $R_{en} = 100 \Omega$ sin diferencial
Valor de referencia del potenciómetro	10 V \pm 2% máx. 10 mA, $R < 10 \text{ k}\Omega$
Máxima demora de tiempo	12 a 32 ms
Resolución	0,1%
Precisión	\pm 1%
Dos salidas analógicas	
	0 (4) a 20 mA, carga $< 500 \Omega$
Precisión	\pm 3%
Tensión auxiliar	
	24 V CC \pm 10%, máx. 250 mA
Seis entradas digitales	
	12 a 24 V CC con alimentación interna o externa, PNP y NPN
Impedancia de entrada	2,4 k Ω
Máxima demora de tiempo	5 ms \pm 1 ms
Tres salidas de relé	
Tensión máxima de conmutación	250 V CA/30 V CC
Intensidad máxima de conmutación	6 A/30 V CC; 1.500 V A/230 V CA
Intensidad continua máxima	2 A rms
Comunicación serie	
EIA-485	Protocolo Modbus

Ilustración 58 Características de conexiones de control programables del variador de frecuencia ABB, ACS550.

Fuente: **Catálogo** | Convertidores de frecuencia ABB de propósito general, ACS550.

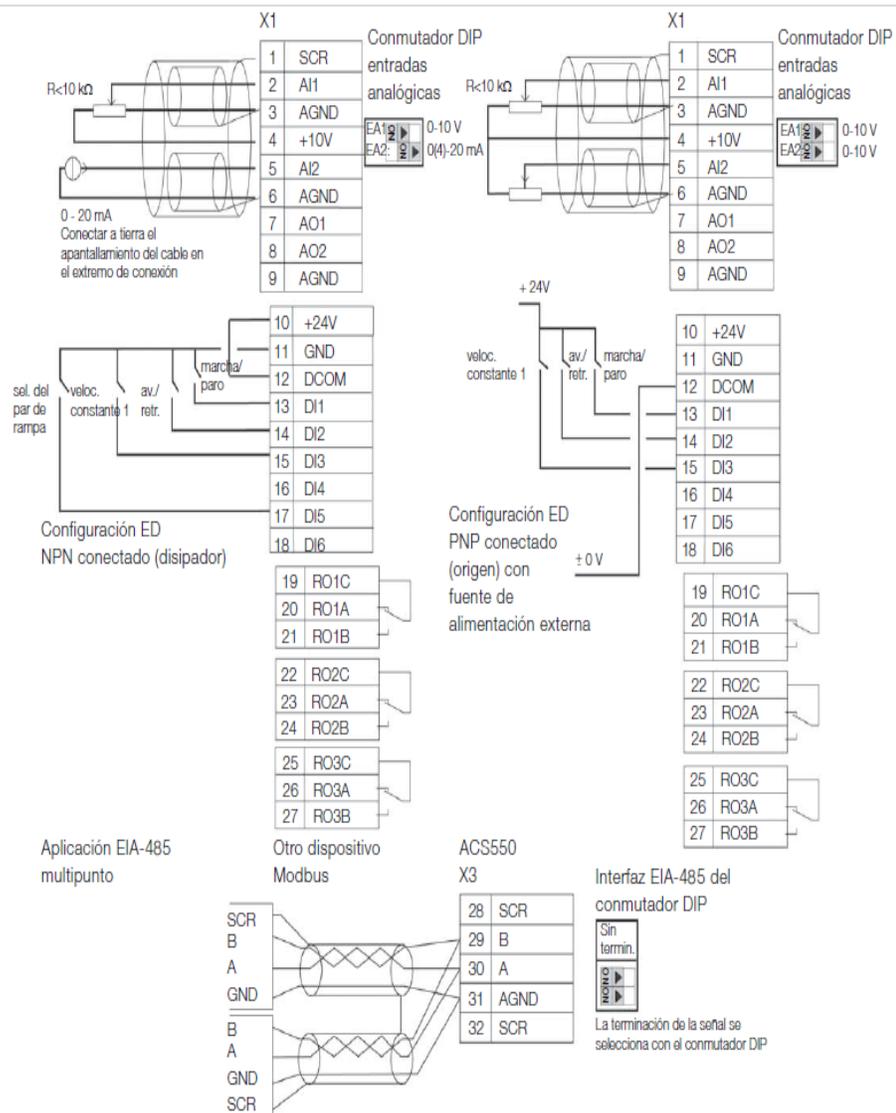


Ilustración 59 Conexiones de control del variador de frecuencia ABB, ACS550.

Fuente: **Catálogo** | Convertidores de frecuencia ABB de propósito general, ACS550.

Elección:

Se decidió elegir el variador de frecuencia marca **Allen-Bradley**, modelo **PowerFlex 40P**, ya que presenta ventajas económicas en el mercado actual en lo que respecta a repuestos y módulos de programación

en comparación con las otras dos opciones mostradas en el presente trabajo de grado, además se decidió continuar con la continuidad de usar elementos de Allen-Bradley en SERINDELCA, debido a que se cuenta con una estrecha relación con el personal de ROCKWELL AUTOMATION y los ingenieros de SERINDELCA cuentan con capacitación en el uso y manejo de equipos de esta marca.

Realizar un Análisis de precios unitarios (APU) de la máquina bobinadora.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

Página: 1
IP3-Control de Obras 2016

Obra: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA

Propietaria:

PRESUPUESTO

No	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total Bs
1	Fabricación estructura física: Suministro de pletina angular de 2"*2" Suministro de lámina de 2mm Suministro de contador Suministro de chumaceras P205 y P212 Suministro de cremallera Suministro de polea corrediza Suministro de brazo motriz Suministro de viga estructural de 2"*1" Suministro de viga estructural de 4"*2" Suministro de Pintura, color azul	unidad	1,00	3.430.692,14	3.430.692,14
2	Suministro y Mecanizado de eje	unidad	1,00	96.405,08	96.405,08
3	Suministro de plato corona	unidad	1,00	897.000,00	897.000,00
4	Suministro de motor eléctrico trifásico de 4 kW, Marca	unidad	1,00	4.485.000,00	4.485.000,00
5	Suministro de motorreductor de 1730 a 23 rev/min	unidad	1,00	2.242.500,00	2.242.500,00
6	Suministro de brazo motriz	unidad	1,00	336.375,00	336.375,00
7	Suministro de correa motriz	unidad	1,00	282.555,00	282.555,00
8	Suministro de caja para pulsadores	unidad	1,00	143.520,00	143.520,00
9	Suministro de caja para circuito de control	unidad	1,00	143.520,00	143.520,00
10	Suministro de Punto giratorio de 20"	unidad	1,00	699.660,00	699.660,00
11	Suministro de componentes eléctricos.	unidad	1,00	4.307.326,56	4.307.326,56
Total Hoja:					17.064.553,78
Total Acumulado:					17.064.553,78
12,00% Impuesto de					2.047.746,45
TOTAL PRESUPUESTO Bs:					19.112.300,23

Ilustración 60 Presupuesto.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

Partida: 1
IP3-Control de Obras 2016

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Fabricación estructura física: Suministro de pletina angular de 2"*2" Suministro de lámina de 2mm Suministro de contador Suministro de chumaceras P205 y P212 Suministro de cremallera Suministro de polea corrediza Suministro de brazo motriz Suministro de viga estructural de 2"*1" Suministro de viga estructural de 4"*2" Suministro de Pintura, color Código: 1 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento: 0,1428

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	ABRAZADERA EMT D = f", 1PATA	pza	9,0000	0,0	242,00	2.178,00	
2	ARANDELA GALVANIZADA, D = 1/4", PLANA	pza	102,0000	0,0	46,00	4.692,00	
3	DISCO ABRASIVO PARA ESMERIL 7"	pza	4,0000	5,0	6.188,00	25.989,60	
4	ELECTRODO E-70 3.25 mm x 350 mm	kgf	3,0000	5,0	7.500,00	23.625,00	
5	TORNILLO MAQUINA D = 3/8", L = 1-1/2"	pza	102,0000	0,0	320,00	32.640,00	
6	LAMINA DE ACERO ESTRIADA, e = 3 mm, 120 x 2.40 m	pza	6,0000	5,0	60.000,00	378.000,00	
7	Angulo estructural de acero 2" x 2"	pza	7,5000	5,0	55.550,00	437.456,25	
8	PERFIL ELECTROSOLDADO CP 140 mm x 25.50 kgf/m, ESTA	pza	3,0000	5,0	60.000,00	189.000,00	
9	PERFIL ELECTROSOLDADO CP 200 mm x 50.10 kgf/m, ESTA	pza	3,0000	5,0	100.000,00	315.000,00	
10	PLETINA DE ACERO 1-1/2" x 3/16"	pza	3,0000	5,0	20.000,00	63.000,00	
11	TUERCA HEXAGONAL PESADA DE f"	pza	30,0000	0,0	90,00	2.700,00	
12	PERNO DE ANCLAJE DE ACERO SAE-1040 D = f"	pza	30,0000	0,0	500,00	15.000,00	
13	ARANDELA PLANA A-325, D = f"	pza	30,0000	0,0	50,00	1.500,00	
14	DISCO DE CORTE 7"	pza	3,0000	5,0	20.000,00	63.000,00	
15	PINTURA POLIURETANO BRILLANTE	gal	2,0000	5,0	70.000,00	147.000,00	
16	Piñon de 3"	pza	3,0000	0,0	50.000,00	150.000,00	
17	Piñon de 2"	pza	3,0000	0,0	45.000,00	135.000,00	
Flete por Transporte:						0,00	86,53%
Total Materiales:						1985780,85	1.985.780,85

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
1	CARETA PARA ESMERILAR	1,000	0,010000	15.000,00	150,00	
2	CARETA PARA SOLDAR	1,000	0,010000	39.000,00	390,00	
3	CINTA METRICA GLOBAL STANLEY DE 5 m	1,000	0,010000	18.000,00	180,00	
4	DELANTAL PARA SOLDAR	1,000	0,010000	15.000,00	150,00	
5	EQUIPO OXICORTE TIPO HARRIS MANGUERA, PICOS, RE	1,000	0,003000	620.000,00	1.860,00	
6	BOMBONA DE ACETILENO CAP. 6 m3	1,000	0,007000	95.000,00	665,00	
7	BOMBONA DE OXIGENO CAP. 6 m3	1,000	0,007000	95.000,00	665,00	
8	GUANTES PARA SOLDAR	1,000	0,010000	8.500,00	85,00	
9	JUEGO DE DADOS A COUPLE 3/8", 20 PIEZAS, STANLEY	1,000	0,003000	100.000,00	300,00	
10	JUEGO DE LLAVES COMBINADAS ACESA (11LLAVES)	1,000	0,003000	70.000,00	210,00	
11	LENTE CLASICO POLICARBONATO	1,000	0,010000	5.000,00	50,00	
12	NIVEL DE 3 BURBUJAS 24", STANLEY	1,000	0,007000	23.500,00	164,50	
13	PIQUETA PARA SOLDADOR	1,000	0,007000	9.600,00	67,20	
14	SOFTWARE ORIGINAL AUTOCAD PLANOS	1,000	0,001000	6.950.000,00	6.950,00	
15	SOLDADORA LINCOLN DC-600 220 V TRIFASICA 500 A	1,000	0,003000	4.250.000,00	12.750,00	
16	SOPLATE DE GAS PROPANO 100 cm	1,000	0,007000	19.500,00	136,50	
17	TALADRO ELECTRICO 3/8" BOSCH 1800 rpm 450 W PERCU	1,000	0,007000	423.000,00	2.961,00	
18	ESMERIL PORTATIL 7" BOSCH 8500 rpm 2300 W	1,000	0,007000	240.000,00	1.680,00	
Total Equipos:					29.414,20	205.981,79
						8,98%

Ilustración 61 APU Partida 1

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono	
1	LATONERO DE PRIMERA	1,00	843,00	619,50	843,00	619,50	
2	SOLDADOR DE PRIMERA	1,00	843,00	619,50	843,00	619,50	
3	PINTOR DE PRIMERA	1,00	843,00	619,50	843,00	619,50	
4	CAPORAL	1,00	943,00	700,00	943,00	700,00	
EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.					Sub-Total Mano de Obra:	3.472,00	2.558,50
					250% Prestaciones Sociales:	8.680,00	
					Total Jornal y Bono:	12.152,00	2.558,50
							4,49%
					Total Mano de Obra:	14.710,50	103.014,71
					Costo Directo Sub-Total A:	2.294.777,35	
					15,00% Administración y Gastos Generales:	344.216,60	
					Sub-Total B:	2.638.993,95	
					30,00% Utilidad o Imprevistos:	791.698,19	
					Sub-Total C:	3.430.692,14	
					0,00% Financiamiento:	0,00	
					Precio Unitario:	3.430.692,14	

Total Personal: 4,00
 Horas Hombre/unidad: 224,09

Ilustración 62 APU Partida 1 continuación.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

Partida: 2
IP3-Control de Obras 2016

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro y Mecanizado de eje

Código: 2 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento:

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	Eje calibrado de 3"	kgf	12,0000	10,0	3.000,00	39.600,00	
						Flete por Transporte:	0,00 614%
						Total Materiales:	39.600,00 39.600,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
1	EQUIPO DE MECANIZADO	1,000	0,003500	12.000.000,00	42.000,00	32,57%
					Total Equipos:	42.000,00 21.000,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono	
1	OPERADOR MAQUINAS-HERRAMIENTAS PRIMERA	1,00	900,00	619,50	900,00	619,50	
2	CAPORAL	1,00	943,00	700,00	943,00	700,00	
EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.					Sub-Total Mano de Obra:	1.843,00	1.319,50
					250% Prestaciones Sociales:	4.607,50	
					Total Jornal y Bono:	6.450,50	1.319,50 6,02%
					Total Mano de Obra:	7.770,00	3.885,00

		Costo Directo Sub-Total A:	64.485,00
		15,00% Administración y Gastos Generales:	9.672,75
		Sub-Total B:	74.157,75
		30,00% Utilidad o Imprevistos:	22.247,33
		Sub-Total C:	96.405,08
		0,00% Financiamiento:	0,00
		Precio Unitario:	96.405,08

Total Personal: 2,00
Horas Hombre/unidad: 8,00

Ilustración 63 APU Partida 2.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de plato corona

Código: 3 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento: 2,0000

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	Plato corona de 4"	pza	3,0000	0,0	200.000,00	600.000,00	
Flete por Transporte:						0,00	100,00%
Total Materiales:						600.000,00	600.000,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
					0,00	
Total Equipos:					0,00	0,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono		
EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.					Sub-Total Mano de Obra:	0,00	0,00	
					250% Prestaciones Sociales:	0,00		
					Total Jornal y Bono:	0,00	0,00	0,00%
					Total Mano de Obra:	0,00	0,00	
					Costo Directo Sub-Total A:	600.000,00		
					15,00% Administración y Gastos Generales:	90.000,00		
					Sub-Total B:	690.000,00		
					30,00% Utilidad o Imprevistos:	207.000,00		
					Sub-Total C:	897.000,00		
					0,00% Financiamiento:	0,00		
					Precio Unitario:	897.000,00		

Total Personal: 0,00
Horas Hombre/unidad: 0,00

Ilustración 64 APU Partida 3.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de motor eléctrico trifásico de 4 kW, Marca Flender

Código: 4 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento:

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	Motor eléctrico trifásico de 4kW, 460 V, 1730 RPM, marca Flender	pza	3,0000	0,0	1.000.000,00	3000000	
Flete por Transporte:						0,00	100,00%
Total Materiales:						3000000	3.000.000,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
					0,00	
Total Equipos:					0,00	0,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono		
EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.					Sub-Total Mano de Obra:	0,00	0,00	
					250% Prestaciones Sociales:	0,00		
					Total Jornal y Bono:	0,00	0,00	0,00%
					Total Mano de Obra:	0,00	0,00	

Total Personal: 0,00
Horas Hombre/unidad: 0,00

Costo Directo Sub-Total A:	3.000.000,00
15,00% Administración y Gastos Generales:	450.000,00
Sub-Total B:	3.450.000,00
30,00% Utilidad o Imprevistos:	1.035.000,00
Sub-Total C:	4.485.000,00
0,00% Financiamiento:	0,00
Precio Unitario:	4.485.000,00

Ilustración 65 APU Partida 4.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de motorreductor de 1730 a 23 rev/min

Código: 5 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento:

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	Caja reductora 1730 a 23 RPM	pza	3,0000	0,0	500.000,00	1500000	
Flete por Transporte:						0,00	100,00%
Total Materiales:						1500000	1.500.000,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
					0,00%	
Total Equipos:					0,00	0,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono		
EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.					Sub-Total Mano de Obra:	0,00	0,00	
					250% Prestaciones Sociales:	0,00		
					Total Jornal y Bono:	0,00	0,00	0,00%
					Total Mano de Obra:	0,00	0,00	
					Costo Directo Sub-Total A:	1.500.000,00		
					15,00% Administración y Gastos Generales:	225.000,00		
					Sub-Total B:	1.725.000,00		
					30,00% Utilidad o Imprevistos:	517.500,00		
					Sub-Total C:	2.242.500,00		
					0,00% Financiamiento:	0,00		
					Precio Unitario:	2.242.500,00		
Total Personal: 0,00								
Horas Hombre/unidad: 0,00								

Ilustración 66 APU Partida 5.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de brazo motriz

Código: 6 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento: 2,0000

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	Brazo motriz 4"	pza	3,0000	0,0	75.000,00	225.000,00	
Flete por Transporte:						0,00	100,00%
Total Materiales:						225.000,00	225.000,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
Total Equipos:					0,00	0,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono	
Sub-Total Mano de Obra:					0,00	0,00	
250% Prestaciones Sociales:					0,00		
Total Jornal y Bono:					0,00	0,00	0,00%
Total Mano de Obra:					0,00	0,00	

EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

Total Personal: 0,00
Horas Hombre/unidad: 0,00

Costo Directo Sub-Total A:	225.000,00
15,00% Administración y Gastos Generales:	33.750,00
Sub-Total B:	258.750,00
30,00% Utilidad o Imprevistos:	77.625,00
Sub-Total C:	336.375,00
0,00% Financiamiento:	0,00
Precio Unitario:	336.375,00

Ilustración 67 APU Partida 6.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de correa motriz

Código: 7 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento: 1,0000

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	Correa motriz	kg/m	12,0000	5,0	15.000,00	189.000,00	
Flete por Transporte:						0,00	100,00%
Total Materiales:						189.000,00	189.000,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
					0,00	
Total Equipos:					0,00	0,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono	
Sub-Total Mano de Obra:					0,00	0,00	
250% Prestaciones Sociales:					0,00		
Total Jornal y Bono:					0,00	0,00	0,00%
Total Mano de Obra:					0,00	0,00	

EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

Costo Directo Sub-Total A:	189.000,00
15,00% Administración y Gastos Generales:	28.350,00
Sub-Total B:	217.350,00
30,00% Utilidad o Imprevistos:	65.205,00
Sub-Total C:	282.555,00
0,00% Financiamiento:	0,00
Precio Unitario:	282.555,00

Total Personal: 0,00
Horas Hombre/unidad: 0,00

Ilustración 68 APU Partida 7.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de caja para pulsadores

Código: 8 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento: 1,0000

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	CAJA DE DERIVACION INTEMPERIE 15" x 10" x 5"	pza	3,0000	0,0	32.000,00	96.000,00	
						Flete por Transporte:	0,00 100,00%
						Total Materiales:	96.000,00 96.000,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
						0,00%
					Total Equipos:	0,00 0,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono	
EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.					Sub-Total Mano de Obra:	0,00	0,00
					250% Prestaciones Sociales:	0,00	
					Total Jornal y Bono:	0,00	0,00%
					Total Mano de Obra:	0,00	0,00

Total Personal: 0,00
Horas Hombre/unidad: 0,00

Costo Directo Sub-Total A:	96.000,00
15,00% Administración y Gastos Generales:	14.400,00
Sub-Total B:	110.400,00
30,00% Utilidad o Imprevistos:	33.120,00
Sub-Total C:	143.520,00
0,00% Financiamiento:	0,00
Precio Unitario:	143.520,00

Ilustración 69 APU Partida 8.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de caja para circuito de control

Código: 9 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento: 1,0000

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	CAJA DE DERIVACION INTEMPERIE 15" x 10" x 5"	pza	3,0000	0,0	32.000,00	96.000,00	
Flete por Transporte:						0,00	100,00%
Total Materiales:						96.000,00	96.000,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
					0,00	
Total Equipos:					0,00	0,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono		
EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.					Sub-Total Mano de Obra:	0,00	0,00	
					250% Prestaciones Sociales:	0,00		
					Total Jornal y Bono:	0,00	0,00	0,00%
					Total Mano de Obra:	0,00	0,00	

		Costo Directo Sub-Total A:	96.000,00
		15,00% Administración y Gastos Generales:	14.400,00
		Sub-Total B:	110.400,00
		30,00% Utilidad o Imprevistos:	33.120,00
		Sub-Total C:	143.520,00
		0,00% Financiamiento:	0,00
		Precio Unitario:	143.520,00
Total Personal: 0,00			
Horas Hombre/unidad: 0,00			

Ilustración 70 APU Partida 9.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de Punto giratorio de 20"

Código: 11 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento: 1,0000

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	Punto Giratorio de 20"	pza	3,0000	0,0	156.000,00	468.000,00	
						Flete por Transporte:	0,00 100,00%
						Total Materiales:	468.000,00 468.000,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
						0,00%
					Total Equipos:	0,00 0,00

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono	
					Sub-Total Mano de Obra:	0,00 0,00	
					250% Prestaciones Sociales:	0,00	
					Total Jornal y Bono:	0,00 0,00	0,00%
					Total Mano de Obra:	0,00	0,00

EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

Total Personal: 0,00
Horas Hombre/unidad: 0,00

Costo Directo Sub-Total A:	468.000,00
15,00% Administración y Gastos Generales:	70.200,00
Sub-Total B:	538.200,00
30,00% Utilidad o Imprevistos:	161.460,00
Sub-Total C:	699.660,00
0,00% Financiamiento:	0,00
Precio Unitario:	699.660,00

Ilustración 71 APU Partida 10.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.

RIF:
OBRA: FABRICACION MAQUINA BOBINADORA
PROPIETARIA:

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO

Suministro de componentes eléctricos.

Código: 12 Unidad: unidad Cantidad: 1,00 Rendimiento:

1.-MATERIALES

No	Descripción	Und	Cantidad	Desp	Precio	Total	
1	CABLE THW # 10 AWG (75°C, 600 V)	m	9,0000	10,0	1.700,00	16.830,00	
2	Pulsdor NA	pza	1,0000	0,0	3.650,00	3.650,00	
3	Selecto r 3 posiciones	pza	1,0000	0,0	15.000,00	15.000,00	
4	TUBERIA H.G. FLEXIBLE, SERIE BX, D = 1"	m	6,0000	5,0	1.950,00	12.285,00	
5	CABLE THHN # 16 (90°C, 600 V)	m	30,0000	10,0	700,00	23.100,00	
6	Variador de Frecuencia, Allen-Bradley, PowerFlex 40P	pza	3,0000	0,0	700.000,00	2100000	
7	Potenciómetro (reostato) 10 Kohm	pza	3,0000	0,0	2.000,00	6.000,00	
8	Bornera para control	pza	39,0000	0,0	2.500,00	97.500,00	
9	Contacto r Trifásico Chint 15 Amp, 220 V	pza	3,0000	0,0	80.000,00	240.000,00	
10	BREAKER Chint 3 POLOS, 15 A. (240/480 V)	pza	6,0000	0,0	25.000,00	150.000,00	
11	Transformador de control de 100 VA, 220/460 V	pza	3,0000	0,0	60.000,00	180.000,00	
Flete por Transporte:						0,00	98,72%
Total Materiales:						2844365	2.844.365,00

2.-EQUIPOS

No	Descripción	Cantidad	Deprec	Precio	Total	
1	ALICATE ELECTRICISTA	1,000	0,011000	20.000,00	220,00	
2	ALICATE PELACABLES AUTOMATICO 8" GB	1,000	0,011000	15.000,00	165,00	
3	JUEGO DE DESTORNILLADORES 6 pza STANLEY	1,000	0,010000	15.000,00	150,00	
4	PINZA AMPERIMETRICA, 400A AC, 600V AC/DC, APERTU	1,000	0,007000	87.045,00	609,32	
5	VOLTIAMPERIMETRO DIGITAL 750 V KYORITSU 2009A	1,000	0,007000	456.750,00	3.197,25	
Total Equipos:					4.341,57	13.026,01

3.-MANO DE OBRA

No	Descripción	Cantidad	Jornal	Bono	T.Jornal	T.Bono		
1	ELECTRICISTA DE PRIMERA	1,00	943,00	619,50	943,00	619,50		
2	CAPORAL	1,00	943,00	700,00	943,00	700,00		
EMPRESA: SERVICIOS INDUSTRIALES DELTA, C.A.					Sub-Total Mano de Obra:	1.886,00	1.319,50	
					250% Prestaciones Sociales:	4.715,00		
					Total Jornal y Bono:	6.601,00	1.319,50	0,82%
					Total Mano de Obra:	7.920,50	23.763,88	
					Costo Directo Sub-Total A:	2.881.154,89		
					15,00% Administración y Gastos Generales:	432.173,23		
					Sub-Total B:	3.313.328,12		
					30,00% Utilidad o Imprevistos:	993.998,44		
					Sub-Total C:	4.307.326,56		
					0,00% Financiamiento:	0,00		
					Precio Unitario:	4.307.326,56		

Total Personal: 2,00
Horas Hombre/unidad: 48,00

Ilustración 72 APU Partida 11.

Fuente: El autor, mediante software comercial IP3 control de obras.

Programar el variador de frecuencia seleccionado haciendo uso del lenguaje interno de programación del mismo.

Se realizó la programación del variador de CA de frecuencia ajustable, marca **Allen-Bradley, modelo Powerflex 40P**, usando como herramienta de programación una pantalla de cristal líquido remota de mano **22-HIM-A3**, de igual manera se realizaron los siguientes ajustes en la programación de fábrica que tiene el variador de frecuencia, modificando los parámetros de interés.

Tabla 6 Grupo de programación básica.

Fuente: El autor

Parámetros de programación	Nombre del Parámetro	Ajuste
P031	Volt. Placa motor	460 V
P032	Hz placa motor	60 HZ
P033	Intensidad Overload motor	7,3 A
P034	Frecuencia Mín.	0 HZ
P035	Frecuencia Máx.	100 HZ
P036	Fuente Arranque	1 (TRES HILOS)
P037	Modo de Paro	4 (RAMPA)
P038	Referencia Veloc.	2 (ENTRADA 0-10 V)
P039	Tiempo acel. 1	4 SEG.
P040	Tiempo decel. 1	1 SEG.
P041	Restab. a predet	0 (INACTIVO)
P042	Clase tensión	2 (BAJA TENSIÓN)
P043	Ret OL motor	1 (HABILITADO)

Tabla 7 Grupo de programación avanzada.

Fuente: El autor.

Parámetros de programación	Nombre del Parámetro	Ajuste
A051	Sel. Ent digt 1	0 (NO SE USA)
A052	Sel. Ent digt 2	0 (NO SE USA)
A053	Sel. Ent digt 3	0 (NO SE USA)
A054	Sel. Ent digt 4	11 (IMPULSOAVANCE)
A055	Sel. Sal. Pulsos	2 (MOTOR EN MARCHA)
A065	Sel. Sal. Anlg	0 (FrecSal 0-10)
A066	Sal. Anlg. Máx	100 %
A067	Tiempo acel. 2	20 SEG.
A068	Tiempo decel. 2	20 SEG.
A069	Frec interna	60 HZ
A070	Frec preesel 0	0 HZ
A071	Frec preesel 1	5 HZ
A072	Frec preesel 2	10 HZ
A073	Frec preesel 3	20 HZ
A074	Frec preesel 4	30 HZ
A075	Frec preesel 5	40 HZ
A076	Frec preesel 6	50 HZ
A077	Frec preesel 7	60 HZ
A084	Selec. Refuerzo	7 (2.5, CT)
A085	Refuerz. Arranque	2.5 %
A086	Tens. Ruptura	25 %
A087	Frec. Ruptura	15 HZ

A088	Tensión máxima	460 V
A091	Frecuencia PWM	4 kHz
A095	Inver Deshab.	0
A100	Borrar Fallo	0 (INACTIVO)
A108	Idioma	3
A110	Lim inf en 0-10v	0%
A11	Lim sup en 0-10v	100%
A125	Modo rend. Par	1 (VECTORIAL)
A126	Amps Placa motor	6.4 A
A132	Sel. Referencia PID	PID INHABILITADO

A continuación, se presenta una breve explicación de los parámetros más importantes seleccionados en la programación del variador de frecuencia marca Allen-Bradley, modelo PowerFlex 40P.

Grupo de programación básica:

P031 “Voltaje placa motor”, el motor es de 460 V trifásico.

P032 “Hz placa motor”; la frecuencia mostrada en placa del motor es 60 Hz.

P033 “Corriente de corto circuito motor”, la corriente es de 7,3 A.

P034 “Frecuencia mínima”, frecuencia mínima deseada de salida del variador de frecuencia es de 0 Hz.

P035 “Frecuencia máxima”, frecuencia máxima deseada de salida del variador de frecuencia 100 Hz.

P036“Fuente de arranque”, este parámetro posee 6 opciones: (1) “tres hilos”, (2) “Dos hilos”, (3) “Sens niv 2-W”, (4) “Alt Vel 2-W”, (5) “Puerto Com” y (6) “Av/Ret. Impul”; se eligió una fuente de arranque que coincidiera con la alimentación del motor y esta fue la opción 1(TRES HILOS).

P037“Modo de Paro”, el modo de paro está siempre establecido para el paro por inercia, excepto cuando P036 está establecido para control de Tres Hilos; se eligió la opción de frenado con rampa para que al momento de realizar un paro en el variador, este no realice la detención total del movimiento del motor de manera inmediata, ya que esto podría romper los alambres de cobre al momento de estar fabricando las bobinas de alta tensión, sino que la desaceleración sea como una línea con pendiente negativa; se ajustó en la opción4 (RAMPA)

P038“Referencia de velocidad”, este parámetro cuenta con 9 opciones las cuales son: (1) “FrecInterna”, con esta opción se varia la velocidad manipulando la perilla que posee el variador de frecuencia en su panel delantero, (2) “Ent 0-10v”, con esta opción se varia la velocidad mediante un potenciómetro conectado a las entradas del variador,(3) “Ent 4-20 mA”, para funcionamiento en modo PID,(4) “Frec presel”, (5) “Puerto Com”, (6) “Paro Lógico”, (7) “Múlt.Ent.Anl”, (8) “Encoder”, con esta opción se debe de conectar un encoder de cuadratura que proporcione la dirección y velocidad del rotor del motor, por lo tanto, el encoder debe estar cableado de forma que la dirección de avance coincida de avance del motor, (9) “Posic.”. Se ajustó este parámetro en la opción (2) para mayor comodidad del operario de la máquina bobinadora.

P039 “Tiempo acel. 1”, establece el régimen de aceleración para todos los aumentos de velocidad, posee un rango de 0 a 600 segundos, se eligió

ajustarlo en 4 segundos por requerimiento del técnico bobinador después de la realización de varias pruebas en la máquina.

P040“Tiempo decel. 1”, establece el régimen de desaceleración para todas las disminuciones de velocidad, posee un rango de 0 a 600 segundos y se eligió **1 segundo** por requerimiento del técnico bobinador, después de la realización de varias pruebas en la máquina.

P041 “Restab. a predet”, este parámetro cuando se activa restablece todos los parámetros a sus valores predeterminados de fábrica, este se ajustó en 0 (INACTIVO).

P042“Clase tensión”, el variador Allen-Bradley, modelo PowerFlex 40P puede operar con dos niveles de tensión, con 480 V (baja tensión) y 600 V (alta tensión), como tenemos una alimentación trifásica de 460 V se ajustó este parámetro en la opción 2 (BAJA TENSIÓN).

P043“Ret OL motor”, habilita o inhabilita la función de retención de sobrecarga del motor, este parámetro se ajustó en 1 (HABILITADO).

Grupo de programación avanzada:

A051 “Sel. Ent digt 1”, se encuentra en la opción “0 (NO SE USA)” debido a que no se tiene ninguna señal digital entrando en el terminal 05 del variador de frecuencia.

A052 “Sel. Ent digt 2”, se encuentra en la opción “0 (NO SE USA)” debido a que no se tiene ninguna señal digital entrando en el terminal 06 del variador de frecuencia.

A053 “Sel. Ent digt 3”, se encuentra en la opción “0 (NO SE USA)” debido a que no se tiene ninguna señal digital entrando en el terminal 07 del variador de frecuencia.

A054 “Sel. Ent digt 4”, se encuentra en la opción “11(Impuls0Avance)”, cuando el motor empieza a trabajar hacia adelante le llega la señal digital por el terminal 08 del bloque de terminales de control de variador de frecuencia, mediante esta señal el variador de frecuencia registra que el motor se encuentra en movimiento.

Nota: El variador de frecuencia Allen-Bradley, modelo PowerFlex 40P, tiene la capacidad de recibir 4 señales digitales de entrada, debido a la aplicación para la cual se instaló el variador de frecuencia solo se usó la entrada digital de señal 4. Los parámetros A051, A052 y A053 se programan con la opción de frecuencia preseleccionada y como el parámetro P038 se programó con Entrada 0-10 V, a estas entradas no le llegan ninguna señal.

A055 “Sel. Sal. Pulsos”, este parámetro tiene 24 opciones, se ajustó en la opción 2 “MOTOR EN MARCHA” y controla los contactos NA y NC del relé del variador de frecuencia, sencillamente cuando el motor se pone en marcha estos juegos de contactos se cierran y abren.

A065 “Selección de salida analógica”, este parámetro tiene 23 opciones, se escogió la opción “0” que posee un rango de salida de 0-10 V y depende de la posición del micro-interruptor (potenciómetro), el valor de salida máxima está dada por el parámetro P035 “Frecuencia máxima”.

A067 “Tiempo de aceleración 2”, tiene un rango de 0 a 600 segundos, se estableció en 20 segundos a pedido del técnico bobinador, este valor significa el tiempo que tarda el motor en llegar a la máxima velocidad teniendo el potenciómetro que regula la frecuencia a máxima Hz.

A068 “Tiempo de deceleración 2”, tiene un rango de 0 a 600 segundos, se estableció en 20 segundos a pedido del técnico bobinador, este valor significa el tiempo que tarda el motor en llegar de la máxima velocidad a cero teniendo el potenciómetro que regula la frecuencia a mínimo Hz.

A069 “Frecuencia interna”, este parámetro posee un rango un rango de 0 a 400 Hz, se estableció este parámetro a 60 Hz debido a que el manual de fabricante establece que el modelo del variador de frecuencia tiene clasificación IP20 NEMA/UL y para estos modelos la frecuencia se establece a 60 Hz.

A070 “Frecuencia preseleccionada 0”

A071 “Frecuencia preseleccionada 1”

A072 “Frecuencia preseleccionada 2”

A073 “Frecuencia preseleccionada 3”

A074 “Frecuencia preseleccionada 4”

A075 “Frecuencia preseleccionada 5”

A076 “Frecuencia preseleccionada 6”

A077 “Frecuencia preseleccionada 7”

Los parámetros desde el A070 al A077 se dejaron predeterminados de fábrica, ya que estos parámetros no son de importancia en la programación realizada, debido a que el parámetro P038 “referencia de velocidad” se ajustó en la posición 2 y no en la posición 4 que es frecuencia preseleccionada.

A084 “Selección de Refuerzo”, este parámetro sólo está activo cuando el parámetro A125 “PREFERENCIA DE MODO DE TORQUE” está establecido en “0 (control escalar V/Hz)”, el manual del fabricante establece que para motores de 4 a 11 kW si se desea obtener un par constante este parámetro se tiene que ajustar en la opción 7. Pero este parámetro no tiene una mayor relevancia en el funcionamiento del variador de frecuencia, debido a que la programación que se realizó fue con un control vectorial.

A085 “Refuerzo de arranque”

A086 “Tensión de Ruptura”

A087 “Frecuencia de Ruptura”

Los parámetros A085, A085 y A086 se dejaron por defecto de fábrica con los valores mostrados en la tabla de programación; no se modificó el ajuste de programación de estos parámetros, debido a que ellos se activan sólo cuando existe una programación escalar (V/Hz).

A088 “Tensión máxima”, este parámetro posee un rango de 20 V hasta el voltaje nominal del variador de frecuencia, para esto se ajustó al voltaje de operación del variador debido a que el fabricante aconseja que si la alimentación no presenta fluctuaciones ajustar este parámetro a la tensión nominal.

A091 “Frecuencia PWM”, La frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor pero disminuye el rendimiento del motor. Por otra parte, los IGBT’s generan mayor calor.

A095 “Inversa deshabilitado”, se ajustó en (0)“INACTIVO” para que con el variador de frecuencia se pueda invertir el sentido de giro del motor, si este parámetro se ajusta en (1) “ACTIVO” el motor no podrá cambiar el sentido de giro.

A100 “Borrar Fallo”, se ajustó este parámetro en (0) “INACTIVO” para que al momento de presentarse un fallo en el circuito de control del variador de frecuencia o circuito de potencia, el equipo muestre el código de fallo en el display; para borrar los fallos se debe des energizar el variador de frecuencia. A continuación, se presenta una lista de los posibles fallos que pueden ocurrir:

Códigos de Fallo

Tabla 8 Códigos de fallo del variador de frecuencia Allen-Bradley.

Fuente: Manual del usuario del PowerFlex 40P.

N°	Fallo	Descripción
F2	Entrada Auxiliar	<ul style="list-style-type: none">• Verifique el cableado remoto.• Verifique la programación de comunicaciones en lo que respecta a fallos intencionales
F3	Pérdida alim	<ul style="list-style-type: none">• Monitoree la línea de CA entrante en busca de bajo voltaje o interrupción en la línea de alimentación.• Compruebe los fusibles de entrada.
F4	Voltaje insuficiente	<ul style="list-style-type: none">• Monitoree la línea de CA entrante en busca de bajo voltaje o interrupción en la línea de alimentación.
F5	Sobrevoltaje	<ul style="list-style-type: none">• Monitoree la línea de CA en busca de un voltaje de línea excesivo o condiciones de sobrevoltaje transitorio. El sobrevoltaje en el bus también puede ser ocasionado por regeneración del motor.• Prolongue el tiempo de deceleración o instale una opción de frenado dinámico.
F6	Motor parado	<ul style="list-style-type: none">• Aumente [tiempo acel X]
F7	Sobrecarga Motor	<ul style="list-style-type: none">• Existe una carga de motor excesiva. Reduzca la carga para que la corriente de salida del variador no exceda la corriente establecida en el parámetro P033. Verifique el parámetro A084.

F8	Sobretmp. Rad.	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique que no haya aletas bloqueadas o sucias en el dissipador de calor. Verifique que la temperatura ambiente no haya excedido los 50°C para instalaciones de tipo abierto. • Verifique el funcionamiento del ventilador.
F12	Sobrecorr. HW	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique la programación. Verifique que no haya exceso de carga, un ajuste inadecuado de refuerzo de CC, un voltaje de frenado de CC muy elevado u otras causas de exceso de corriente.
F13	Fallo Tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique el motor y el cableado externo de los terminales de salida del variador en busca de una condición de puesta a tierra.
F29	Pérd ent analóg	<ul style="list-style-type: none"> • Una entrada analógica está configurada para indicar un fallo cuando se pierde la señal.
F33	Int. Rearme auto	<ul style="list-style-type: none"> • Corrija la causa del fallo y borre manualmente.
F38	Fase U a tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique el cableado entre el variador y el motor.
F39	Fase V a tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique que el motor no tenga una fase a tierra.
F40	Fase W a tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Si no puede borrar el fallo, reemplace el variador
F41	Fase UV corto	<ul style="list-style-type: none"> • Verifique que no exista una condición de cortocircuito en el cableado de los terminales de salida del variador o del motor. • Si no puede borrar el fallo, reemplace el variador
F42	Fase UW corto	
F43	Fase VW corto	
F48	Parám.	<ul style="list-style-type: none"> • El variador recibió instrucciones para escribir

	Predet.	<p>los valores predeterminados en la EEPROM.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Borre el fallo, o apague y encienda la alimentación eléctrica del variador. Programe los parámetros del variador según sea necesario.
F64	Sobrecarga variador	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzca la carga o prolongue el tiempo de aceleración.
F70	Unidad pot.	<ul style="list-style-type: none"> • Apague y encienda la alimentación eléctrica. Si no se puede borrar el fallo, reemplace el variador.
F71	Pérd. Adpt. Red	<ul style="list-style-type: none"> • Falló la red de comunicación. • Apague y encienda la alimentación eléctrica. Compruebe el cableado de las comunicaciones. • Compruebe la configuración del adaptador de red. Compruebe el estado de la red externa.
F80	Fallo Autoajuste	<ul style="list-style-type: none"> • El usuario canceló la función de autoajuste o falló la función. Reinicie el proceso.
F91	Pérdida Encoder	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere el encoder diferencial. Falta una de las 2 señales de canal encoder. • Verifique el cableado. • Si P038= 9 “Posicionamiento” y E216= 5 “Comprobación de Quad” intercambie las entradas de canal del encoder.
F100	Sum verf. Parám.	<ul style="list-style-type: none"> • Restaure los valores predeterminados de fábrica.
F111	Habilite Hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Se ha instalado la placa de opción de desactivación segura de DriveGuard (serie B) y no se ha retirado el puente de habilitación ENBL. • Retire el puente de habilitación ENBL. Apague

		<p>y encienda la alimentación eléctrica.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ha fallado la placa de opción de desactivación segura de DriveGuard (serie B). • Desconecte la alimentación eléctrica del variador. Reemplace la placa de opción de desactivación segura de DriveGuard (serie B).
		<ul style="list-style-type: none"> • Han fallado los circuitos de habilitación de hardware. • Reemplace el variador.
F112	Falla tarjeta E/S	<ul style="list-style-type: none"> • Apague y encienda la alimentación eléctrica. Si no se puede borrar el fallo, reemplace el variador.

A108 “Idioma”, el variador de frecuencia marca Allen-Bradley, modelo Powerflex 40P, posee 7 opciones de idiomas, los cuales son: **(1) Inglés, (2) Francés, (3) Español, (4) Italiano, (5) Alemán, (6) Portugués y (7) Holandés**. Se eligió la opción (3) español como idioma de programación.

A110 “Límite inferior en señal analógica 0-10v”, este parámetro limita el porcentaje del límite inferior (lo mínimo) de la señal analógica que entra al variador de frecuencia mediante el potenciómetro externo, se ajustó a 0%.

A111 “Límite superior en señal analógica 0-10v”, este parámetro limita el porcentaje del límite superior (lo máximo) de la señal analógica que entra al variador de frecuencia mediante el potenciómetro externo, se ajustó a 100%

A125 “Modo de torque preferencial”, este parámetro se puede ajustar de dos maneras o con dos opciones, (0)“V/Hz, escalar” o (1) “sinusoidal vectorial”; con el ajuste de este parámetro se establece el tipo de programación que tendrá el variador de frecuencia, para la aplicación que se requiere se ajustó a una programación vectorial para aprovechar al máximo

el torque del motor, esto quiere decir que cuando el operador tenga el motor parado o con una velocidad casi 0 el motor estará entregando el máximo torque que pueda aportar por diseño de construcción. Siempre el motor estará entregando el máximo torque que le es permitido por diseño.

A132 “Selección de referencia de PID”, el variador de frecuencia ofrece un control de velocidad y sentido de giro del motor con un lazo cerrado, es decir, que puede recibir señales de retroalimentación de un sensor y compararlas con una señal de referencia para ir controlando la velocidad y sentido de giro del motor; en el caso de la programación realizada en este trabajo de grado, se deshabilito la referencia de PID, ya que no es necesario porque la aplicación del variador de frecuencia es de un lazo abierto. Con la habilitación de este parámetro el equipo da la posibilidad de ajustar una serie de parámetros adicionales para lograr la entonación del PID.

CAPITULO V

IMPLEMENTACIÓN

A continuación se presenta un registro fotográfico de la fabricación de la estructura física de la máquina bobinadora.

	
<p>Ilustración 73 Proceso de mecanizado del eje. Fuente: El autor.</p>	<p>Ilustración 74 Proceso de mecanizado del eje 2. Fuente: El autor.</p>
	
<p>Ilustración 75 Chumacera P210. Fuente: El autor.</p>	<p>Ilustración 76 Conjunto de chumacera utilizadas. Fuente: El autor.</p>
	
<p>Ilustración 77 Eje mecanizado. Fuente: El autor.</p>	<p>Ilustración 78 Piñón motriz del eje. Fuente: El autor.</p>



Ilustración 79 Presentación de eje con chumaceras.
Fuente: El autor.



Ilustración 80 Colocación de eje con chumaceras en estructura.
Fuente: El autor.



Ilustración 81 Eje montado junto a la cadena.
Fuente: El autor.



Ilustración 82 Motor marca Flender de 4 kW.
Fuente: El autor.



Ilustración 83 Colocación de plato corona con correa motriz.
Fuente: El autor.



Ilustración 84 Montaje de eje con correa motriz.
Fuente: El autor.



Ilustración 85 Brazo motriz.
Fuente: El autor.

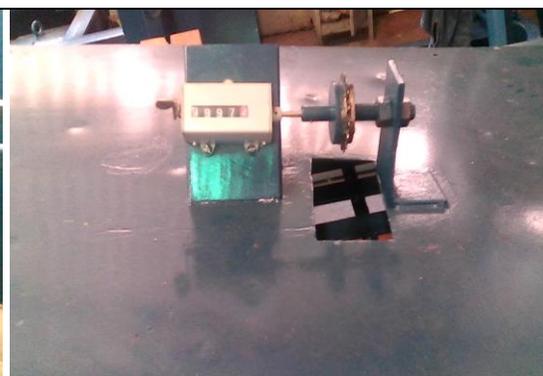


Ilustración 86 Contador de vueltas.
Fuente: El autor.



Ilustración 87 Máquina Bobinadora.
Fuente: El autor.



Ilustración 88 Máquina bobinadora
con punto giratorio.
Fuente: El autor.



Ilustración 89 Máquina bobinadora,
vista lateral.
Fuente: El autor.



Ilustración 90 Máquina Bobinadora
#2
Fuente: El autor.

A continuación se presenta un plano con la disposición física que tendrá los circuitos de potencia y control de la máquina bobinadora.

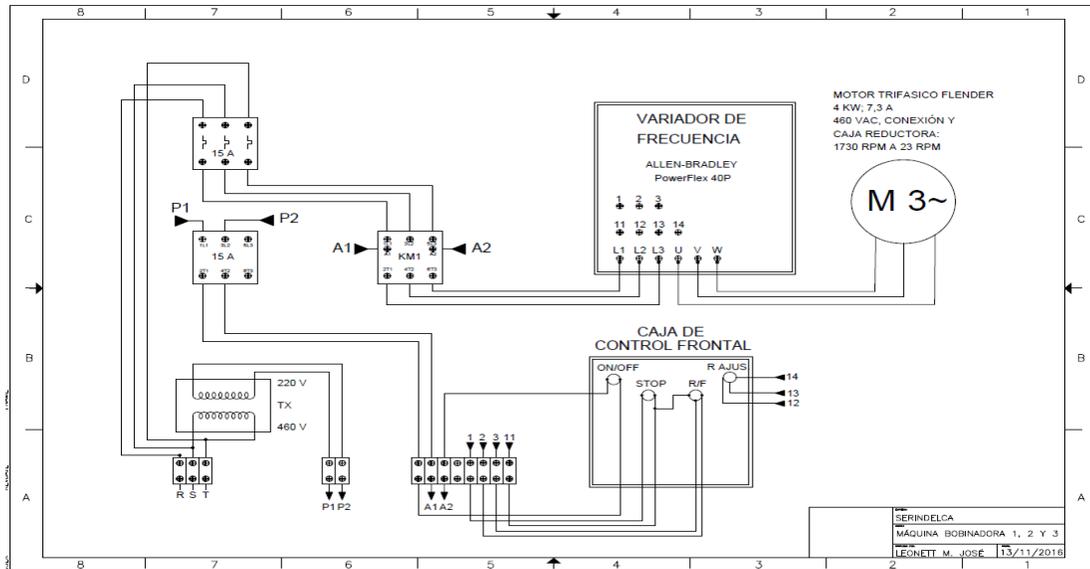


Ilustración 91 Disposición y cableado de circuitos de control y potencia de la máquina bobinadora.

Fuente: El autor, mediante uso de software comercial AutoCad.



Ilustración 92 Circuito de control.

Fuente: El autor.



Ilustración 93 Variador de frecuencia PowerFlex 40P.

Fuente: El autor.



Ilustración 94 Caja principal de interruptores del conjunto de máquinas bobinadoras.

Fuente: El autor.

A continuación se presenta un registro fotográfico de la programación del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P.



Ilustración 95 Pantalla de cristal líquido, 22-HIM-A3.
Fuente: El autor.



Ilustración 96 Pantalla de ingreso de parámetros.
Fuente: El autor.



Ilustración 97 Programando parámetro P031.
Fuente: El autor.



Ilustración 98 Entrada de pantalla líquida de programación al variador de frecuencia.
Fuente: El autor.

Para realizar la programación del variador de frecuencia PowerFlex 40P, mediante el uso de la pantalla de cristal líquido 22-HIM-A3, se ingresa en la ventana “PARÁMETROS” moviéndose, luego se ingresa en la opción de “LISTA NUMERADA”, siguiente se coloca en el teclado el número de parámetro que se desea programar y se coloca mediante el teclado la opción con la cual se desea programar dicho parámetro, por último se presiona el botón “REMOVE” para confirmar la parametrización. Si se desea ver las opciones que tiene el parámetro se presiona la tecla (con la flecha hacia abajo) que se encuentra al lado izquierdo de la tecla “REMOVE”.



Ilustración 99 Programando parámetro P038. Fuente: El autor.



Ilustración 100 Opciones de programación de parámetro P038. Fuente: El autor.



Ilustración 101 Programación de parámetro A091. Fuente: El autor.



Ilustración 102 Opciones de programación del parámetro A091. Fuente: El autor.

Se realizaron múltiples mediciones con el equipo INDUSTRIAL SCOPEMETER, FLUKE, con el fin de verificar que el funcionamiento de los variadores de frecuencia no aporta cantidad considerables de armónicos a la red, debido a que son variadores pequeños y solo funcionan por cortos lapsos de tiempo en el día (no están funcionando todo el día). Estas mediciones se realizaron para corroborar la ausencia de armónicos y demostrar que no se debe de incluir un sistema de filtrado de armónicos en el sistema de SERINDELCA.

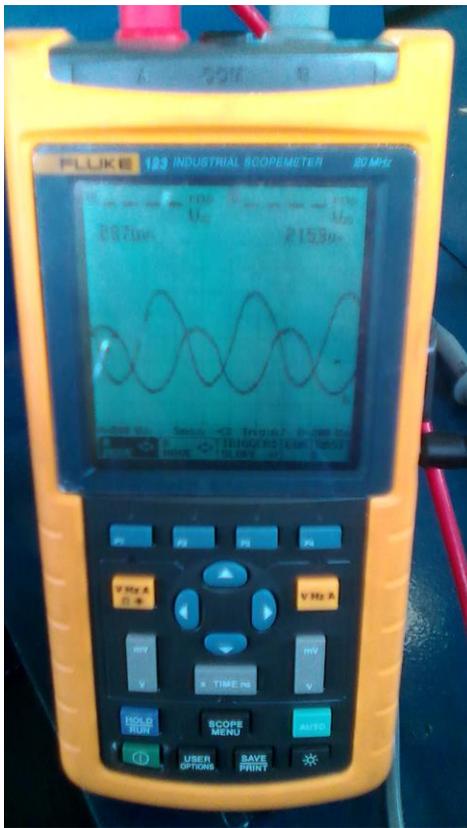


Ilustración 103 Onda de corriente de dos fases con el variador encendido a 0 Hz, con PWM programado de 4 Khz.

Fuente: El autor, haciendo uso del FLUKE SCOPEMETER.

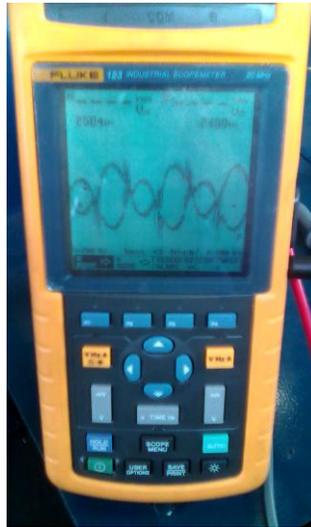


Ilustración 104 Onda de corriente de dos fases con el variador encendido a 0 Hz, con PWM programado de 2 KHz.

Fuente: El autor, haciendo uso del FLUKE SCOPEMETER.

Se nota en la ilustración 98 el ruido o la presencia de armónicos en la medición del instrumento con el variador de frecuencia programado con una modulación de ancho de pulso de 2 kHz, mientras que en la ilustración 97 observa una onda de corriente sin presencia de perturbaciones, una onda de corriente de dos fases sin la presencia de rizados y esto se debe a la programación de un PWM de 4 kHz.

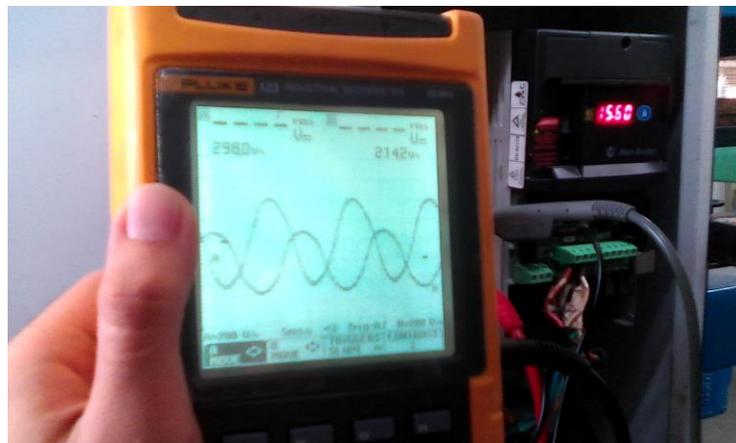


Ilustración 105 Onda de corriente de dos fases con todos los variadores de frecuencia encendidos y con Hz diferente de 0.

Fuente: El autor, haciendo uso del FLUKE SCOPEMETER.



Ilustración 106 Proceso de fabricación de devanado de alta Tensión de un TX de 25 kVA, hecho en máquina bobinadora fabricada.
Fuente: El autor.

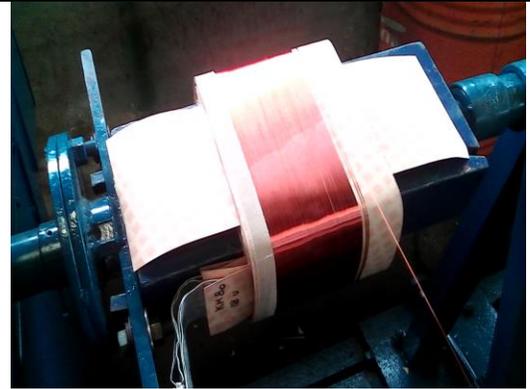


Ilustración 107 Proceso de fabricación de devanado de alta Tensión de un TX de 25 kVA, hecho en máquina bobinadora fabricada (2).
Fuente: El autor.



Ilustración 108 Proceso de fabricación de devanado de alta Tensión de un TX de 25 kVA, hecho en máquina bobinadora fabricada (3).
Fuente: El autor.



Ilustración 109 Proceso de fabricación de devanado de alta Tensión de un TX de 25 kVA, hecho en máquina bobinadora fabricada (4).
Fuente: El autor.

CONCLUSIONES

Las máquinas bobinadoras con el sistema de velocidad variable mediante el uso de variadores de frecuencia sirven como soporte principal en el proceso productivo de fabricación de bobinas de transformadores de SERINDELCA, mejorando así la calidad de los transformadores reconstruidos en la empresa.

La empresa SERINDELCA reconstruye bobinas con capacidad hasta 500 kVA, con este diseño de la máquina bobinadora se logró ampliar la potencia de fabricación hasta 1000 kVA, alcanzando con esto el aumento en la capacidad de fabricación por bobina de la empresa.

La simulación en el programa Cade_Simu confirmó el correcto funcionamiento de los circuitos de potencia y control diseñados.

De acuerdo a las especificaciones de los motores se fabricó un transformador trifásico con relación 220-460 V, con una potencia de 45 kVA, cubriendo así el consumo a plena carga de los motores y dejando una reserva de un 50% en caso de alguna ampliación.

La elección del variador de frecuencia Allen-Bradley, PowerFlex 40P fue la más adecuada debido a que funciona con IGBT y la frecuencia portadora de los IGBT se encuentra entre 2 a 16kHz. Una portadora con alta frecuencia reduce el ruido acústico del motor, pero disminuye el rendimiento del motor y la longitud permisible del cable hacia el motor, en las máquinas bobinadoras la longitud del cable hacia el motor es un factor despreciable

debido a que es una distancia relativamente corta (aproximadamente 1 metro).

En los análisis de precios realizados se observó el costo total de las máquinas bobinadoras y se lograron fabricar, debido a que los precios presupuestados se encontraron dentro del margen dado por SERINDELCA.

Se demostró que los variadores de frecuencia no aportan armónicos a la red y como consecuencia no es necesario de un estudio de THD en la empresa SERINDELCA, pero si en un futuro se decide hacer una modificación y colocar unos variadores de frecuencia más grandes o con otra tecnología de disparo es recomendable que se haga el estudio de cómo impactaría estos nuevos equipos a la red.

Con la programación realizada al variador de frecuencia (control vectorial), se aprovecha al máximo el full torque entregado por la caja reductora, a 0 “cero” RPM (la máquina detenida) se obtiene un torque máximo permitiendo así mantener tensados los devanados de baja y alta tensión al momento de hacer una pausa en el proceso de fabricación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda lo siguiente:

1. Revisar mensualmente el funcionamiento correcto de las correas motrices que se encuentran instalados en las máquinas bobinadoras para garantizar un funcionamiento óptimo de las mismas.
2. Revisar mensualmente el engrasado de las chumaceras que se encuentran instalados en las máquinas bobinadoras para garantizar un funcionamiento óptimo de las mismas.
3. Revisar mensualmente el funcionamiento de los contactores que se encuentran instalados y de los botones y selectores instalados en las cajas de control frontal, de igual manera verificar el buen funcionamiento de los potenciómetros.
4. Ejecutar anualmente todas las pruebas eléctricas necesarias a los motores y al transformador de alimentación de las máquinas bobinadoras.
5. Desarrollar un programa de mantenimiento anual para el conjunto de las máquinas bobinadoras.
6. Desarrollar anualmente programas de mantenimiento preventivo y chequeo técnico.
7. Concientizar al personal, de manera que este cumpla con todos los requisitos establecidos en cuanto a la utilización de los equipos de seguridad y manejo de herramientas necesarias para la utilización de las máquinas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Metodología de la investigación holística /por Jaqueline Hurtado de Barrera. Caracas: SYPAL, 2000.
- [2] EL PROCESO DE INVESTIGACION, Carlos Sabino. Panapo, Caracas, 1992
- [3] Arias, F. (2012). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica (6^{ta} edición). Caracas: Episteme.
- [4] Tamayo, Mario. (1981). El Proceso de la Investigación Científica. México: ediciones Limusa, S.A.
- [5] Fink, D.G., Beaty, H.W. & Carroll, J.M. (1981). Manual práctico de electricidad para ingenieros. (Volumen III). España: Reverté.
- [6] Stephen J. Chapman. Máquinas Eléctricas, Tercera edición. Editorial McGrawHill.
- [7] Manual electrotécnico, Telesquemario Telemecanique. Tecnologías de control industrial. Schneider Electric. Junio 99.
- [8] Pedro Avelino Pérez. Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas. Segunda Edición. España: Reverté.
- [9] Harper, E. (2002). Curso de transformadores y motores de inducción (4^{ta} edición). México: Limusa, S.A.
- [10] <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>.
- [11] SERINDELCA. MANUAL DE ORGANIZACIÓN SAD-MA-001.

[12] Motores trifásicos de inducción Generalidades.
http://prof.usb.ve/jaller/Guia_Maq_pdf/cat_motores_ind.pdf

[13] Variador de velocidad para motores trifásicos asincrónicos. Resumen: T-053 Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-053.pdf>

[14] Electric Motors & Control Techniques. Gottlieb Irving M. McGraw Hill. 1994.

[15] <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>

[16] Manual del motor eléctrico. H. Wayne Beaty – James L. Kirtley. McGraw Hill. 2000.

[17] <http://www.siemens.com/sinamics-g120c>.

[18] **Catálogo** | Convertidores de frecuencia ABB de propósito general, ACS550.

[19] <http://rockwellautomation.com>

[20] Manual del usuario del PowerFlex 40P, Publicación 22D-UM001

[21] Malvino, A. (2000). *Principios de electrónica* (6^{ta} ed.). España: MacGraw-Hill/Interamericana de España, S.A.U.

[22] Martínez García, S., & Gualda Gil, J. A. (2002). *Electronica de potencia*. Mexico: Thomson.

Universidad Católica Santiago de Guayaquil (2012). FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA DEMOSTRACIÓN PRÁCTICA EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS UTILIZANDO EL VARIADOR

DE FRECUENCIA COMO FUENTE DE AHORRO DE ENERGÍA. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/229/3/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-1.pdf>

Universidad Simón Bolívar (2008). Decanato de Estudios Profesionales Coordinación de Ingeniería Electrónica. Diseño e implementación de un sistema de control para telares circulares basado en PLC's y VSD's. Recuperado de <http://159.90.80.55/tesis/000144602.pdf>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE ESCUELA DE INGENIERIA (2015). Departamento de Ingeniería Eléctrica. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. APLICACIÓN DE UN INVERSOR MULTINIVEL COMO VARIADOR DE FRECUENCIA DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFÁSICO. Recuperado de <http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/paperspdf/dixon/tesis/Elgueta.pdf>