BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA

¨ Diseño del sistema de accionamiento y sistema de control de una planta piloto para triturar desechos de hierro nodular¨

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

LICENCIATURA EN INGENIERIA MECATRÓNICA

PRESENTA:

DAVID ESPINOZA CASTAÑEDA

ASESORES:

M.C. DAVID CESAR MALPICA MOREDA

DR. BERNARDINO CALIXTO SIRENE

PUEBLA PUE. SEPTIEMBRE DE 2016

Dedicatoria:

A mi familia,

Siendo los más importantes en mi vida, mis amigos, mis guías, mis ayudas en momentos difíciles, agradezco a Dios por tenerlos y por haberme enseñado a no claudicar y enfrentar los problemas con coraje y valentía.

A mi padre Jerson Espinoza que siempre me impulso a seguir adelante cuando yo estaba por rendirme, y me enseño que todo con dedicación y esmero se puede lograr.

A mi madre Consuelo Castañeda, a mi heroína, agradezco la confianza que siempre me brindo y sus palabras de aliento, y los sacrificios que tuvo para apoyarme en mis estudios.

Mis hermanos Jerson y Teté, mis ejemplos a seguir mis ayudas y consejeros que me hacen saber que jamás estaré solo.

A mis amigos,

Por su gran ayuda y su compañía durante toda esta travesía, fortaleciendo nuestros lazos de amistad, por sus consejos y represiones.

Agradecimientos:

A Dios,

Mi guía y mi fortaleza, el que me da sabiduría, sin Él no soy nada.

"Reconoced que JAH es Dios, Él nos hizo y no nosotros a nosotros mismos."

Agradezco principalmente a la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por haberme abierto las puertas del conocimiento y formarme profesionalmente y personalmente.

Quiero hacer un agradecimiento especial al Maestro en Ciencias David César Malpica, por su confianza y apoyo brindado no únicamente durante este periodo como asesor, si no desde los primeros años de carrera mostrándose como un hombre ejemplar y valiente, un hombre que ama su profesión y lo reparte a la comunidad estudiantil.

Al Dr. Bernardino Calixto que al igual que el profesor David me brindó su apoyo sin dudarlo para la elaboración de este trabajo, agradezco los conocimientos que me brindó durante todos estos años como estudiante.

Resumen:

Durante los últimos años la automatización en procesos se ha desarrollado de una manera muy rápida, abarcando todos los sectores, en especial en la industria de manufactura automotriz. El siguiente trabajo se ha elaborado en conjunto con otros trabajos de tesis para la solución a un problema que se presenta en una empresa dedicada a la elaboración de piezas de hierro nodular para autos.

Es en este trabajo se desarrolla una propuesta de automatización en un sistema piloto para la trituración de material de hierro nodular, utilizando un Controlador Lógico Programable (PLC), así como la automatización de sistemas de seguridad para los trabajadores, como complemento de este trabajo se elaboró de igual forma el análisis de la máquina que se empleará para la trituración de dicho material.

El capítulo uno da una introducción del trabajo que se realizará abordando el tema de las diferentes máquinas trituradoras existentes en el mercado, también se mencionan las características principales del material que se desea triturar y por último la máquina trituradora que se tiene propuesta.

En el segundo capítulo se hace mención de cada uno de los elementos principales que hacen funcionar la máquina trituradora, realizando una investigación de las propiedades y características principales de éstos elementos.

En el tercer capítulo están plasmadas las características principales del software que se emplea para la programación del sistema, así como una introducción a los sistemas automatizados con PLC.

El cuarto capítulo consta de las propuestas realizadas para la elección de los elementos constituyentes en los dos capítulos anteriores, es decir, la parte operativa y la parte de mando, basándose en los estudios realizados y plasmados en los mismos capítulos anteriores.

Por último, en el quinto capítulo se presentan los resultados y conclusiones obtenidas en el sistema automatizado propuesto.

ÍNDICE

Resumen: *4*

Introducción: *9*

PRESENTACIÓN DE PROBLEMA: 10

OBJETIVOS: 11

JUSTIFICACIÓN: 11

Capítulo I: MÁQUINA TRITURADORA 13

EL PROCESO DE DISEÑO DE LA MÁQUINA TRITURADORA 13

HIERRO NODULAR 15

MÁQUINAS TRITURADORAS Y MOLINOS: 19

TRITURADORA DE MANDÍBULA: 21

TRITURADORA DE CILINDROS LISOS: 23

TRITURADORA DE MARTILLOS. 24

TRITURADORA DE RODILLO SIMPLE: 25

TRITURADORAS CÓNICAS: 26

MOLINOS DE TAMBOR 26

TRITURADORA DE DOBLE RODILLO DENTADO 27

Capítulo II: MOTOR E INSTRUMENTACIÓN 32

MOTOR DE LA MÁQUINA TRITURADORA: *32*

TIPOS DE MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS Y SISTEMAS DE ARRANQUE: *34*

MOTORES TRIFÁSICOS 34

TENSIONES E INTENSIDADES EN EL ESTATOR DE LOS MOTORES TRIFASICOS [5]. 34

MOTOR DE ROTOR EN CORTO CIRCUITO: 35

MOTOR DE ROTOR BOBINADO Y ANILLOS ROSANTES: 38

SENTIDO DE GIRO DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS: 39

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES ELECTRICOS: 39

PUNTOS IMPORTANTES PARA LA SELECCIÓN DE MOTOR 41

ELECCIÓN DEL MOTOR DE LA MÁQUINA TRITURADORA 42

VENTAJAS DEL USO DE MOTOR TRIFÁSICO CON ROTOR EN CORTOCIRCUITO: 43

TIPOS DE MOTORES SEGÚN NORMAS 43

NORMAS SOBRE LOS MOTORES: 48

INVERSIÓN DE GIRO PARA UN MOTOR TRIFÁSICO 53

ACTUADOR DE SEGURIDAD: 58

Capítulo III: PARTE DE MANDO 67
FUNCIONES BASICAS DE LOS PLC´s 67
PARTES IMPORTANTES DEL PLC 68
FUNCIONAMIENTO DE UN PLC 69
LENGUAJE DE PROGRAMACION DE UN AUTÓMATA PROGRAMABLE 69
DISEÑO DE UN SISTEMA CON PLC: 71
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PLC´s: 72
CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PLC: 75
SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN: CODESYS 77
DESCRIPCIÓN GENERAL: 77
Capitulo IV: PROPUESTA 80
INSTRUMENTACIÓN: 80
CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE: 85
PARTES COMPLEMENTARIAS 87
PROGRAMACIÓN CON CODESYS 88
PROGRAMACION Y ENTREGA DE RESULTADOS: 92
Capítulo V: CONCLUSIONES 97
REFERENCIAS *98*
ANEXOS *100*

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: PLANEACIÓN EN EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA (“TEORIA Y PROBLEMAS DEL DISEÑO DE MÁQUINAS” HALL HALLEN S.) 14
FIGURA 2: Métodos de trituración a) por aplastamiento, b) penetración c) frotación d) por impacto (“DISEÑO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL” V.S. SHUBIN C. PEDRE) 19
FIGURA 3: Esquema de la trituradora de mandíbula (“DISEÑO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL” V.S. SHUBIN C. PEDRE) 21
FIGURA 4: Trituradora de cilindros sencillos 1. Bastidor 2,3. Cilindros 4. Árbol de transmisión intermedia por correa 5, 6. Cubiertas cambiables de los cilindros 7. Tapa de trituradora con embudo de carga 8. (“DISEÑO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL” V.S. SHUBIN 23
FIGURA 5: Trituradora de martillo de un rotor: 1. Cuerpo 2. Placa. 3. Árbol 4. Disco 5. Martillos 6. Rejilla (“DISEÑO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL” V.S. SHUBIN C. PEDRE) 24
FIGURA 6: Trituradora de rodillo simple. Fuente: http://novhan-natanagara.blogspot.mx/2011/03/sekilas-tentang-peralatan-pemecah-batu.html 25
FIGURA 7: Trituradora de cilindros dentados (dibujo elaborado por FLSmidth) 28
FIGURA 8 : PARTES DE UN MOTOR ELÉCTRICO (“MOTORES ELECTRICOS” MC. GRAW HILL) 33
FIGURA 9: ROTOR Y ESTATOR DE MOTOR ELÉCTRICO (“MOTORES ELECTRICOS” MC. GRAW HILL) 33
FIGURA 10 : CONEXIONES EN LOS BOBINADOS TRIFÁSICOS a) ESTRELLA b) DELTA(“MOTORES ELÉCTRICOS” MC. GRAW HILL) 34
FIGURA 11: COLOCACION DE LOS PUENTES SOBRE LAS PLACAS DE BORNES IZQUIERDA CONEXIÓN ESTRELLA, DERECHA CONEXIÓN DELTA (“MOTORES ELECTRICOS” MC. GRAW HILL) 35
FIGURA 12: DISTRIBUCION DE LOS EXTREMOS DE LAS BOBINAS EN LA PLACA DE BORNES (“MOTORES ELECTRICOS” MC. GRAW HILL) 35
FIGURA 13: DISPOSICIÓN DE UN AUTOTRANSFORMADOR (“MOTORES ELÉCTRICOS” MC. GRAW HILL) 37
FIGURA 14: DESPIECE DEL MOTOR DE ROTOR BOBINADO 38
FIGURA 15: procedimientos de inversión de giro: 53
FIGURA 16: MANDO DE UN INVERSOR DE SENTIDO DE GIRO MEDIANTE CONTACTORES 54
FIGURA 17: ACTUADOR DE DOBLE EFECTO 60
FIGURA 18: Válvula 4/2 accionada por solenoide y presión [http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_24751/rs24751_2008-08.pdf] 62
Figura 19: Ventana general del programa CoDeSys. [CoDeSys V2.3.9 provided by festo] 77
FIGURA 20: Diagrama de flujo del sistema 90
FIGURA 21: Diagrama de estados del sistema. 91
FIGURA 22: estado inicial del sistema 92
FIGURA 23: estado de preparación de la máquina 93
FIGURA 24: Sensor de inicio de carrera activado. 93
FIGURA 25: Inversión de giro en los motores. 94
FIGURA 26: Activación de sensor de final de carrera. 95
FIGURA 27: Activación de sensor de final de carrera para regresar al pistón a su posición de casa. 96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con las normas ASTM A-536 17
Tabla 2: Descripción de la fundición nodular de acuerdo a la norma ASMT A-536..... 18
Tabla 3: Tipos de trituración y dimensiones de cada una. 20
Tabla 4: RELACIÓN DE INTENSIDADES DE ARRANQUE Y PLENA CARGA ADMISIBLES EN LOS MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA PARA SU PUESTA EN MARCHA SEGÚN EL REBT ("MOTORES ELECTRICOS" MC. GRAW HILL)..... 36
Tabla 5: TIPOS DE MOTORES SEGÚN NORMA DIN..... 44
Tabla 6: PLACA DE CARACTERISTICAS DE UN MOTOR SEGÚN LA NORMA DIN 42961 45
Tabla 7: TEMPERATURAS ADMISIBLES SEGÚN LAS CLASES DE AISLAMIENTO 47
Tabla 8: TOLERANCIAS ADMISIBLES EN LOS MOTORES ELECTRICOS. 48
Tabla 9: NORMAS ELÉCTRICAS EN MOTORES ELECTRICOS 49
Tabla 10: NORMAS MECÁNICAS EN MOTORES ELECTRICOS 50
Tabla 11: NORMAS IEC PARA MOTORES ELECTRICOS..... 51
Tabla 12: COMPARACION ENTRE DIFERENTES FORMAS DE ARRANQUE DE MOTORES TRIFASICOS 55
Tabla 13:: tipos de fluidos hidráulicos, clasificados por sus bases y propiedades particulares, según la norma ISO 6743/4 60
Tabla 14: SIMBOLOGIA DE LAS VALVULAS SEGÚN LA NORMA DIN- ISO 1219 62
Tabla 15: COSTO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS CON PLC VS SISTEMA DE CONTACTORES (CONVERSIÓN DE MONEDA DEL 2015) 74
Tabla 16: ENTRADAS Y SALIDAS EN EL SISTEMA AUTOMATIZADO 85

Introducción:

Hoy en día el hombre se ha enfocado en buscar y encontrar herramientas que le permitan facilitar diferentes trabajos que se le presentan en su vida cotidiana.

La industria manufacturera no está exenta de tal necesidad, dado que desde el siglo XX, la industria se ha dedicado al desarrollo en cuanto a tecnología para así facilitar el trabajo de sus obreros y mejorar sus procesos de producción, y dicha necesidad se ha cubierto con diferentes dispositivos mecánicos, eléctricos y electrónicos, partiendo desde tarjetas perforadas, pasando por módulos enormes de contactos y relés electromecánicos, hasta la utilización del Controlador Lógico Programable (PLC).

La aparición de los PLC´s significó una revolución en la industria, hablando puntualmente de la industria manufacturera, dado que en un encapsulado de dimensiones pequeñas, tomando un promedio, podía realizar el mismo sistema automatizado que un conjunto cableado de contactores, relés, y temporizadores que abarcaban aproximadamente el tamaño de una pared lo cual significaba un trabajo significativamente difícil en cuanto a mantenimiento y corrección de problemas, inclusive en cuanto a costos dado que si había una necesidad de cambiar el proceso la mayoría del sistema quedaría inservible y se tenía que hacer una nueva lógica. A diferencia de los sistemas cableados, el PLC tiene la flexibilidad de programarse y desprogramarse de modo que dicha programación sustituye la lógica de los sistemas cableados. También los PLC aventajan a los sistemas que lo precedieron dado que puede existir una comunicación entre máquina y humano o inclusive comunicación entre diferentes PLC´s que tengan diferentes tareas asignadas, logrando así un proceso automatizado que permitirá a la empresa mejoras en cuanto a tiempo de producción y calidad del producto, así como la evasión de tareas peligrosas para sus trabajadores.

En el siguiente trabajo se desarrolla una posible solución a un problema que la empresa Rassini Frenos tiene en su proceso de reciclado de material de hierro nodular para la fabricación de discos, muelles o tambores.

Todo esto se logra mediante la programación tipo LADDER en un software de programación y simulación de PLC´s llamado CoDeSys ® propiedad de Festo, dicho software tiene el soporte de la empresa ya antes mencionada y consolidada como una empresa importante en automatización. El software brinda al usuario una interfaz flexible para realizar proyectos.

El trabajo que se realiza a continuación para Rassini frenos, se lleva a cabo con CODESYS, que generará el programa encargado del control del proceso al mismo tiempo que permitirá la simulación del mismo.

PRESENTACIÓN DE PROBLEMA:

Durante el proceso de reciclado, en ocasiones el material a fundir es muy grande y éste se atora en la boca del horno de inducción lo cual requiere la intervención del recurso humano para encontrar la forma de meter el material al horno por cualquier medio, corriendo así el riesgo de sufrir un accidente que puede ser desde una quemadura, pasando por intoxicación o bien en un caso extremo poder llegar a la muerte.

Otra vertiente del problema es que al introducir el material al horno éste tiene espacios de aire lo cual lleva a una pérdida de eficiencia.

Dichos problemas convergen a una pérdida de energía calorífica y aumento de consumo energético, así como los kilogramos exorbitantes de CO2 emitidos innecesariamente y por consecuencia la contaminación del planeta.

OBJETIVOS:

- OBJETIVO GENERAL:

Diseñar el proceso de automatización de un sistema piloto para trituración de desechos de hierro nodular.

- OBJETIVOS ESPECIFICOS:

  - Hacer un estudio de la instrumentación requerida (sensores, pre actuadores y actuadores) y seleccionar los elementos apropiados que cumplan los requerimientos y las normas del proceso.
  - Hacer un estudio de las características de la etapa de mando del sistema piloto y seleccionar el controlador lógico programable que cubra los requerimientos solicitados.
  - Llevar a cabo la programación del PLC para el correcto funcionamiento de la planta.
  - Simular el diseño propuesto para la automatización de la trituradora.

JUSTIFICACIÓN:

El presente trabajo se lleva a cabo en virtud de que en el mercado automotriz existe un alto nivel de competencia y por lo tanto la empresa que mejor realice el trabajo y que esté a la vanguardia tecnológica tendrá más oportunidades de emerger como empresa líder en producción, distribución y calidad de su producto.

Las necesidades de Rassini Frenos son muy importantes ya que no simplemente se enfoca a la producción en grandes cantidades, sino que también se interesa por sus trabajadores y por el medio ambiente.

La necesidad de automatizar el proceso de fundición del material residual es muy transcendente dado que se reducen costos en compra de materia prima y se disminuye el desperdicio debido a que el material puede ser reutilizado. Esta importancia de automatizar también radica en múltiples ahorros, no solo referentes a la materia prima, sino a algunos otros que se comentan a continuación:

SEGURIDAD:

Se ahorra en la compra de equipo de seguridad para lugares en zonas peligrosas, específicamente el horno de inducción, (Cascos, guantes, iluminación, trajes especiales, arneses, etc.). También se obtienen ahorros en seguros de vida, hospitalización y accidentes e indemnizaciones a familiares, costos de representación legal (en caso de demanda).

CALIDAD:

El automatizar un proceso genera un incremento en la demanda de los clientes nacionales e internacionales debido a la mejora de calidad del producto, disminución de devoluciones de artículos, ingreso a nuevos mercados o nuevos clientes debido a la capacidad de ofrecer tiempo de garantía mayor a lo establecido.

LOGÍSTICA:

Se obtiene una disminución de costos en almacenamiento e inventarios, así como el tiempo de procesamiento del material a reciclar.

DESECHOS:

Se obtienen ahorros estimados en la disminución del almacenamiento de desechos, utilización más eficiente de la materia prima, disminución en los costos involucrados en la eliminación o transporte de los desperdicios.

AMBIENTE:

Con respecto al ambiente se presenta una disminución de multas por contaminación, ahorro para representantes legales en caso de violaciones de regulaciones ambientales.

LABORAL:

Se generarán ahorros estimados en sueldos y salarios del personal asociado al proceso a automatizar, promociones, seguro social, prestaciones, pensiones, bonos, sobretiempos, entre otros ingresos, así como también ahorro de daños de equipo, tiempos de respuesta y otros originados por errores humanos.

ENERGÍA:

Se obtiene un ahorro en la energía eléctrica y calorífica, así como la disminución de costos al usar una fuente de energía alterna.

Capítulo I: MÁQUINA TRITURADORA

El sistema de automatización de la máquina trituradora depende directamente de los elementos que ésta presente en su construcción es por eso que en el siguiente capítulo explicará brevemente el tipo de máquina trituradora que se emplea para realizar el trabajo, partiendo del proceso de diseño de una máquina trituradora, el material que se triturara, los diferentes tipos de máquinas trituradoras y llegando a la elección de la máquina trituradora desfragmentándola en partes para conocer sus partes principales.

EL PROCESO DE DISEÑO DE LA MÁQUINA TRITURADORA

Cuando se menciona la palabra máquina uno puede imaginarse un dispositivo que realiza un movimiento, pero no únicamente el movimiento va a hacer que éste dispositivo funcione correctamente o realice un trabajo eficiente, entonces no se puede llamar máquina a un dispositivo que solamente se mueve, sino también debe de realizar un trabajo útil.

Para que la máquina realice un trabajo útil es imperativo que ésta disponga de los elementos necesarios y suficientes para que realice un trabajo adecuado, es decir, se debe hacer un estudio detallado de los elementos constitutivos de la máquina; como lo menciona Guillermo Aguirre Esponda en su libro "*Diseño de elementos y maquinas",* se deben saber las cargas sobre los elementos de la máquina, las limitaciones de espacio, velocidades de operación, etc., ya que todas éstas están impuestas por la máquina y la función que debe desempeñar [1].

El proceso de diseño de una máquina consta de lo siguiente:

1) Definir el problema y establecer la necesidad en términos generales.
2) Realizar un estudio de factibilidad respaldado por una investigación especial del problema a solucionar
3) Elaborar un diseño preliminar de la máquina, estructura, sistema.

4) Realizar un diseño de todos los componentes junto con la descripción de todas sus especificaciones, es necesario elaborar todos los dibujos de los componentes.

Todo este proceso debe ser realizado basándose en principios científicos, complementados con información meramente empírica. Sin embargo, cabe resaltar que la ciencia únicamente delimitará los rangos de operación de la máquina físicamente, así mismo influirá en la toma de decisiones.

na vez definidos los cuatro puntos anteriores se puede hacer un estudio específico de las partes que componen la máquina como se muestra en la figura1, se necesita hacer un esquema cinemático, es decir definir la movilidad, tipo de movimiento, eslabonamientos, etc., posteriormente se realizara un análisis de posición, velocidad, aceleración, una vez obtenida esta información se realizará un análisis de fuerzas o análisis dinámico que contendrá un análisis detallado del centro gravedad, momentos inerciales, dinámica de motores, etc., por ultimo pasamos al diseño de los componentes, es decir, el tipo de material, dureza, elasticidad etc.,

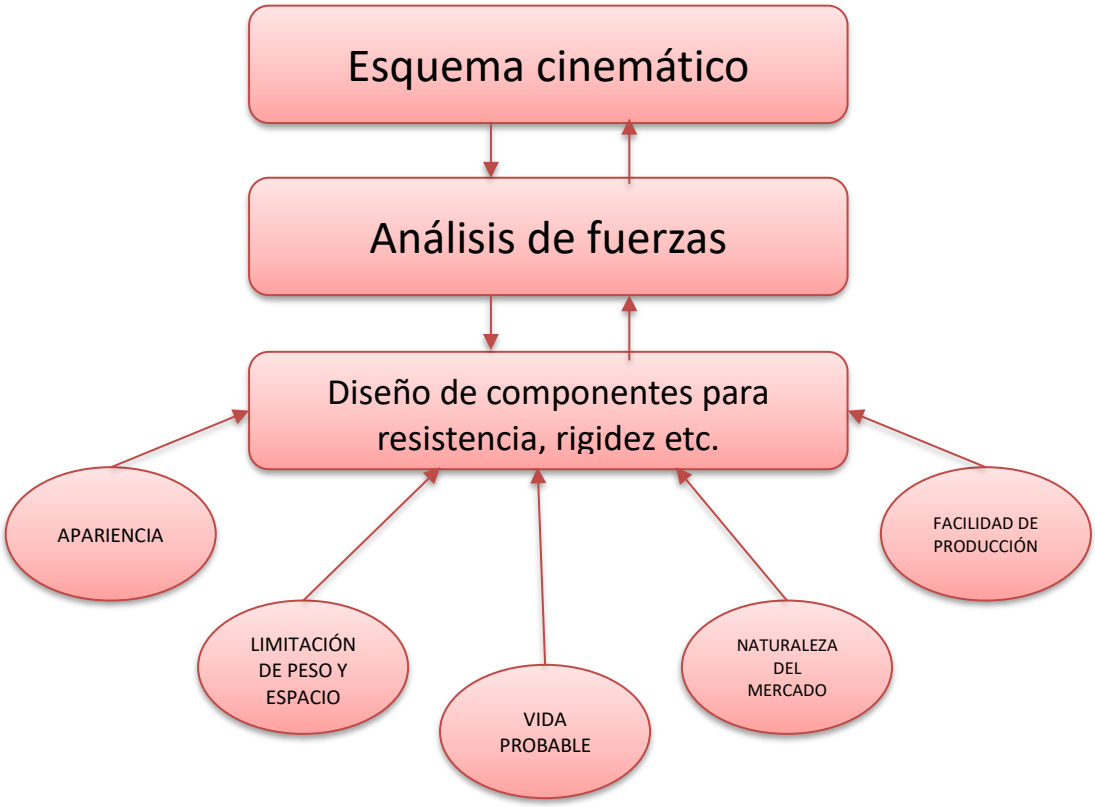


FIGURA 1: PLANEACIÓN EN EL DISEÑO DE UNA MÁQUINA ("TEORIA Y PROBLEMAS DEL DISEÑO DE MÁQUINAS" HALL HALLEN S.)

todo esto delimitado por cinco puntos importantes para el diseño de la máquina que son: Apariencia, longitudes y peso, tiempo de vida, viabilidad en mercado, manufactura sencilla [2].

Como se mencionó anteriormente es necesario conocer el material con el que va a interactuar la máquina a diseñar, en este caso la máquina trituradora desea triturar material de hierro nodular, por ende, se realizó el siguiente estudio de dicho material.

HIERRO NODULAR

El material con el cual se va a trabajar y que es de suma importancia conocer para realizar el análisis y diseño de nuestra máquina trituradora es el hierro nodular o hierro dúctil.

A lo largo del tiempo, la fundición se ha considerado uno de los procesos de fabricación más importantes en la manufactura de piezas metálicas. Este proceso se remonta cerca de 2000 años A.C. y ha tenido grandes repercusiones en la historia debido a su gran uso en la industria y tecnología.

La fundición de hierro dúctil con grafito de morfología nodular, conocidas como fundiciones nodulares o esferoidales, están sustituyendo al acero fundido y forjado en la fabricación de piezas y partes de maquinarias. Esto es debido a su menor costo, a su mayor facilidad de obtención y excelente respuesta a los tratamientos térmicos, lo que permite obtener propiedades mecánicas similares a las logradas en las piezas de aceros.

Los términos “hierro dúctil”, “hierro nodular”, “hierro con grafito esferoidal”, sirven para designar a las aleaciones de base hierro-carbono multifásicas con contenidos significativos de Silicio (Si), donde hay también pequeñas cantidades de Manganeso (Mn) y de impurezas como Fosforo (P) y Azufre (S). La adición en cantidades minoritarias, controladas de elementos subversivos influye sobre las energías interfaciales entre el grafito y el líquido. Es debido a esto que las aleaciones hierro-carbono en las que el contenido en carbono es superior al 2 por ciento, teniendo habitualmente un valor entre el 2,5 y 4,5 por ciento en peso, y con

la presencia de silicio, generalmente con porcentajes entre 1 y 3 por ciento. A menudo lleva pequeños porcentajes en elemento de aleación como el manganeso, azufre o fósforo. En algunos casos es posible encontrar fundiciones especiales con alto contenido en elementos de aleación, como son el níquel, cromo o manganeso, para mejorar las propiedades mecánicas.

La aplicación de las fundiciones siempre es para la fabricación de piezas por moldeo, en moldes de arena o metálicos. Aunque las piezas se pueden colar directamente desde los altos hornos, obteniéndose arrabio, en la mayoría de las ocasiones se utilizan fundiciones de segunda fusión, preparada con los electos de aleación adecuados para controlar la composición. Pero en este caso se debe tomar en cuenta la primera aplicación mencionada ya que ese es el caso en el que se sitúa el trabajo dado que es la fabricación de piezas por moldeo, donde se utilizan moldes de arena.

Dejando de forma clara que en la fundición nodular se presenta el grafito, bajo la forma de grafito esférico o nodular, siendo la matriz de tipo perlitico. Por tratamiento térmico adecuado puede descomponerse totalmente la perlita, obteniéndose las fundiciones nodulares ferriticas. La fundición nodular es el miembro más joven de la familia de las aleaciones férreas, formando con las maleables un puente entre las propiedades de fundiciones grises y los aceros moldeados. En general, la fundición nodular presenta propiedades bastante semejantes a las de las fundiciones maleables perliticas (por ejemplo: amplio y variado campo de carga de rotura, apreciable ductilidad) con la ventaja de no necesitar ciclo térmico de transformación que resulta indispensable en las fundiciones maleables, por lo cual, cuando este material hizo su aparición en la industria, causo una verdadera revolución. Ya que el resultado de este cambio de estructura, genero un hierro mucho más fuerte, resistente y elástico del cual cabe destacar algunas de sus principales propiedades.

- ✓ Resistencia a la compresión
- ✓ Aptitud al moldeo
- ✓ Material Maquinable
- ✓ Resistencia a la abrasión
- ✓ Resistencia a la fatiga

La clasificación de las fundiciones nodulares se realiza de acuerdo a la ASTM A-536 tomando en cuenta su resistencia y se designa una nomenclatura de tres números los cuales tiene en cuenta las resistencias en PSI y el alargamiento siendo usuales fundiciones del tipo 60-40-18 con resistencia de 40 KPSI y alargamientos del 18% o la 120-70-02 con una resistencia de 24 KPSI y un alargamiento promedio de 2%, evidentemente a mayor resistencia mecánica menor capacidad de alargamiento.

CLASE	REISTENCIA PSIx1000	LIMITE FLUENCIA	DUREZA BRINELL	ALARGAMIENTO (%)
60-40-18	42000	2800	149-187	18
65-45-12	45000	32000	170-207	12
80-55-06	56000	38000	187-255	6
100-70-03	70000	47000	217-267	3
120-70-02	84000	63000	240-300	2

Tabla 1: Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con las normas ASTM A-536

Dureza Brinell: Emplea como punta una bola de acero templado o carburo de W. Para materiales duros, es poco exacta pero fácil de aplicar. Poco precisa con chapas de menos de 6mm de espesor. Estima resistencia a tracción.

Las características mecánicas similares a los aceros, junto con sus buenas características de moldeo y mecanización, hace que estos materiales hallan experimentado en los últimos veinticinco años un gran aumento en la producción, para aplicaciones como válvulas y cuerpos de bombas, engranajes, rodillos, etc.

	GRADO	DESCRIPCIÓN	USOS GENERALES
ASTM A-536	60-40-18	Ferrita; puede ser reconocida	Piezas resistentes al impacto; servicio a bajas temperaturas
	65-45-12	Mayoritariamente ferritica; de colada o reconocida	Servicios generales
	80-55-06	Ferritica-Perlitica; puede ser normalizada	Servicios generales
	100-70-03	Mayoritariamente Perlitica; puede ser normalizada	La mejor combinación de resistencia al desgaste y tenacidad. Buena respuesta al endurecimiento superficial
	120-90-02	Martensitica; temple al aceite y revenido	La más tenaz y resistente al desgaste

Tabla 2: Descripción de la fundición nodular de acuerdo a la norma ASMT A-536

En el mundo de la automoción se aplica con gran frecuencia para la fabricación de piezas como bielas, cigüeñales, volantes, motor, colectores, turbocompresores, partes de la transmisión, partes suspensión, partes dirección, piezas del sistema de frenado y soporte de chasis.

Una vez identificado el material que se desea triturar, se realizara una investigación de las maquinas trituradoras que existen comúnmente, así como una breve explicación de cada una de ellas.

MÁQUINAS TRITURADORAS Y MOLINOS:

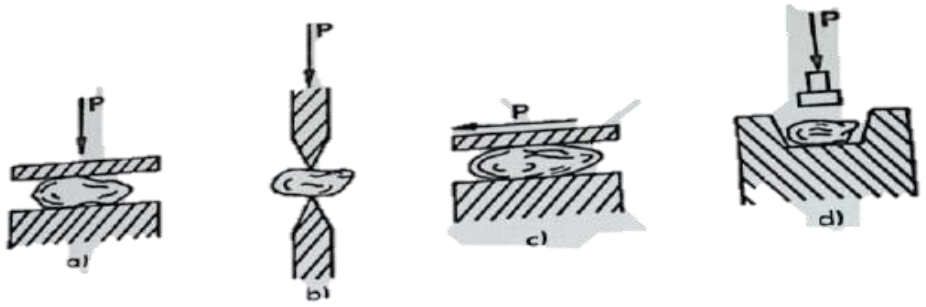


FIGURA 2: Métodos de trituración a) por aplastamiento, b) penetración c) frotación d) por impacto ("DISEÑO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL" V.S. SHUBIN C. PEDRE)

Los tipos de trituración, convencionalmente en las maquinas trituradoras, se dividen en dos tipos, uno de ellos es la trituración ya sea gruesa, mediana o fina, el otro tipo es por desmenuzamiento ya sea fino o muy fino. Todo este proceso de trituración se hace mediante el aplastamiento, penetración, frotación, por impacto entre otras, estos procesos muy a menudo van combinadas, es por ello es sumamente importante saber el tipo de máquina que se va a utilizar y las actividades que esta va a desarrollar.

La aplicación de la máquina trituradora depende directamente de las propiedades físico-mecánicas del material que se desea moler, de este modo para triturar material duro y quebradizo se utilizará una por aplastamiento, penetración e impacto, mientras que si el material es duro y viscoso se puede efectuar un proceso de triturado mediante aplastamiento y frotación (véase figura 2) [3].

Generalmente el proceso de trituración normal se efectúa en seco; es decir, que no se utiliza agua, mientras que el desmenuzamiento fino se realiza con frecuencia utilizando agua, dado que cuando se presenta este tipo de desmenuzamiento se evita la formación de polvo.

El resultado de la trituración se expresa como la relación entre la dimensión inicial del material a triturar entre la dimensión del material ya triturado, en la industria la mayoría de los casos requieren altos grados de trituración, con una dimensión inicial de 1500 mm y una dimensión final de hasta micas o fracciones de micras.

Los tipos de trituración dependen directamente del material de los pedazos antes de triturarse mismas dimensiones y tipos de trituración se mostrarán en la siguiente tabla:

TIPO DE TRITURACIÓN	DIMENSIÓN DE PEDAZOS ANTES DE TRITURAR (mm)	DIMENSIÓN DE PEDAZOS DESPUÉS DE TRITURAR (mm)	GRADO DE TRITURACIÓN
Gruesa	1500 ÷ 300	300 ÷ 100	2 ÷ 6
Media	300 ÷ 100	50 ÷ 10	5 ÷ 10
Fina	50 ÷ 10	10 ÷ 2	10 ÷ 50
Muy fina	10 ÷ 2	$2 \div 75.10^{-3}$	≈ ÷ 100
Extra fina	$10 \div 75.10^{-3}$	$75.10^{-3} \div 1.10^{-4}$	--

Tabla 3: Tipos de trituración y dimensiones de cada una.

Dependiendo los tipos de trituración es como se clasifican las máquinas trituradoras: las trituradoras y molinos para gruesos, para medios y para finos, así como molinos de trituración exclusivamente muy fina y extra fina, a continuación se presentará una pequeña explicación de los tipos de trituradora se emplean para los diferentes tipos de trituración.

TRITURACION GRUESA

Para este tipo de trituración se utiliza generalmente trituradoras de mandíbulas y cónicas en las cuales el material con una dimensión no mayor a 1500 mm se tritura bajo la acción de fuerzas de compresión y penetración hasta obtener material con la dimensión de entre 300 y 100 mm.

TRITURACION MEDIA Y FINA

El siguiente tipio de trituración es la media y fina, para este tipo de triturados se recomienda utilizar máquinas trituradoras de dos cilindros por choque, centrifugas y trituradoras cónicas haciendo una trituración de material con dimensión inicial de 100mm hasta llegar a 10 o 12 mm.

Los molinos de tambores y anillos, por su parte, se utilizan generalmente para trituraciones finas, con pedazos a triturar de dimensión inicial de entre

10 y 2 mm hasta obtener material de dimensiones máximas de entre .075 a 2 mm bajo la acción simultanea de fuerzas de aplastamiento, de impacto y de frotación.

Las trituradoras que se han mencionado en los tipos de trituración son las que comúnmente se utilizan, puntualizando una vez más, dependiendo del tipo de trituración que se necesita emplear, así como las necesidades de la empresa, a continuación, se explicarán brevemente algunos tipos de trituradoras.

TRITURADORA DE MANDÍBULA:

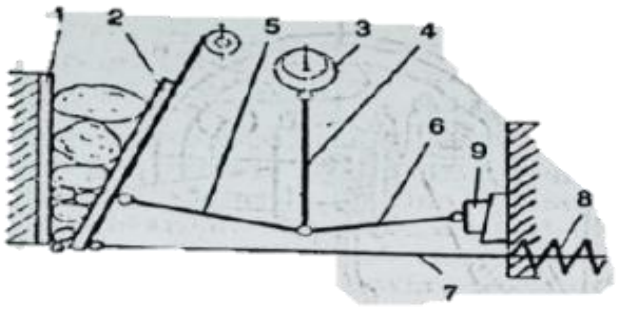


FIGURA 3: Esquema de la trituradora de mandíbula ("DISEÑO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL" V.S. SHUBIN C. PEDRE)

En la trituradora de mandíbula (figura 3) el material se tritura mediante la combinación de fuerzas de aplastamiento y penetración así como la flexión entre las mandíbulas fija (1) y móvil (2), la mandíbula móvil, se aproxima y se aleja de la mandíbula fija, este movimiento se logra gracias al movimiento de un árbol excéntrico (3) que transmite el movimiento mediante una biela (4) que está unida en forma móvil con el árbol excéntrico y dos placas de separación articulada (5 y 6), en el otro extremo se encuentra un muelle (8) mismo que crea una resistencia que favorece al tensor (7) y por ultimo las cuñas (9) que regula el ancho del orificio de salida en la máquina trituradora.

Este tipo de trituradoras se emplean en muchas ocasiones en la industria, las mandíbulas, tanto fija como móvil, tienen desgaste a consecuencia de su trabajo, lo cual se hacen sustituibles y se fabrican con material resistente al desgaste (acero fundido al cromo y al magnesio) [4].

Las trituradoras de mandíbulas en algunas construcciones la mandíbula móvil no se aproxima y se separa a la fija, si no que durante la marcha también se mueve hacia abajo, hacia el lado, por ende, no solo se produce el aplastamiento si no también la frotación, debido a lo cual la productividad de este tipo de trituradoras comparándolas con otras disminuye el consumo de energía.

Las ventajas de la trituradora de mandíbula son:

- ✓ Sencillez y seguridad de la construcción
- ✓ Se utiliza para triturar materiales de gran dureza
- ✓ Dimensiones de orificio de 2135 x 3150 mm
- ✓ Facilidad para el mantenimiento.

Entre las deficiencias se encuentran:

- ✓ Generan ruido
- ✓ Vibración durante el proceso de trituración
- ✓ Fallas debido a rotura de piezas independientes
- ✓ Atascamiento de material en el espacio de trabajo

Las características tecnológicas de este tipo de trituradora de mandíbulas son: ángulo de sujeción, velocidad de rotación en el árbol cigüeñal, productividad y potencia requerida.

TRITURADORA DE CILINDROS LISOS:

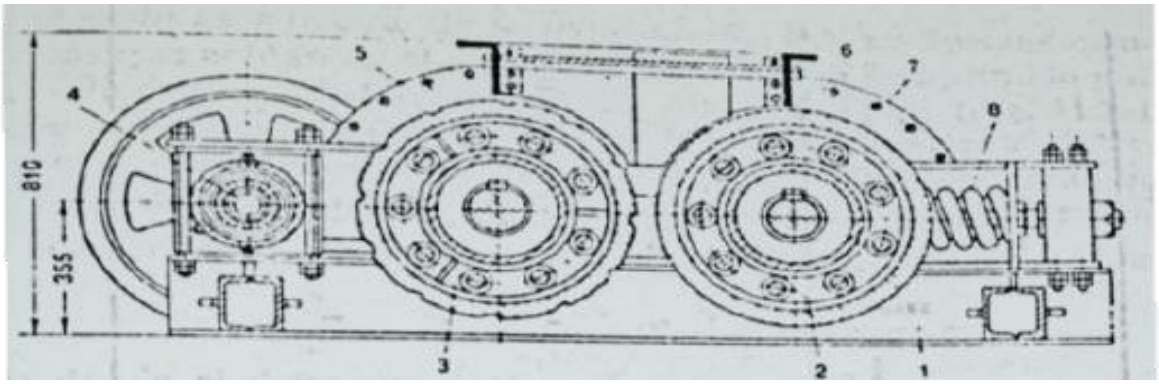


FIGURA 4: Trituradora de cilindros sencillos 1. Bastidor 2,3. Cilindros 4. Árbol de transmisión intermedia por correa 5, 6. Cubiertas cambiables de los cilindros 7. Tapa de trituradora con embudo de carga 8. ("DISEÑO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL" V.S. SHUBIN

En la figura 4 se puede observar una trituradora con dos cilindros lisos, en ésta trituradora, el proceso de trituración se realiza mediante aplastamiento, siempre y cuando las velocidades de los dos cilindros sea la misma, de lo contrario; es decir si los cilindros giran a una velocidad diferente entre ellos, el proceso de trituración se realizará mediante la frotación.

Este tipo de trituradoras no está equilibrada, es decir que solamente un cilindro puede realizar el movimiento de vaivén a lo largo del eje del bastidor de apoyo y así crear una carga dinámica unilateral en la base, por ende estas trituradoras necesitan de una base sumamente reforzada y únicamente se pueden instalar en plantas bajas.

En la trituradora de cilindros lisos, la deformación de los cilindros se origina debido a una carga irregular de los muelles o debido a una alimentación irregular.

TRITURADORA DE MARTILLOS.

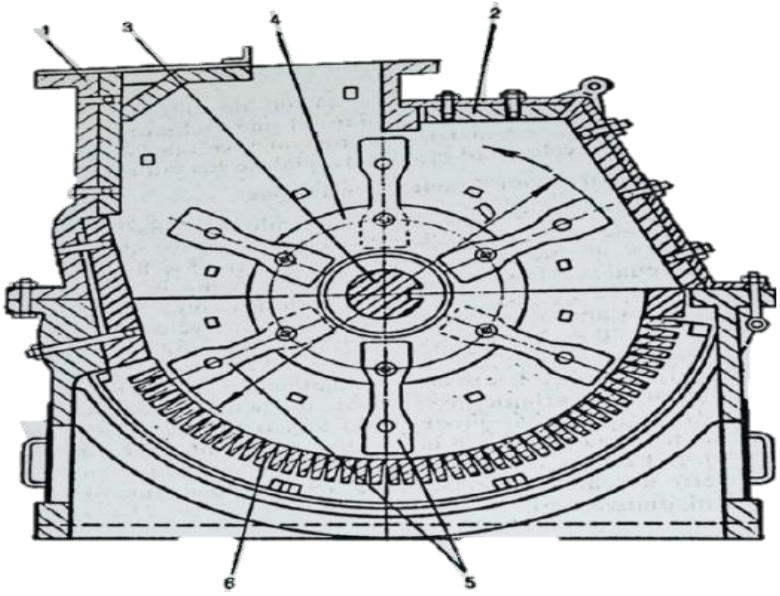


FIGURA 5: Trituradora de martillo de un rotor: 1. Cuerpo 2. Placa. 3. Árbol 4. Disco 5. Martillos 6. Rejilla ("DISEÑO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL" V.S. SHUBIN C. PEDRE)

Ésta trituradora consta de un árbol giratorio en el cual tiene fijados los discos entre los cuales se encuentran colocados los martillos (véase la figura 5).

El proceso de trituración se efectúa mediante los golpes de los martillos que rotan con mucha rapidez, de entre 30 y 55 m/seg, así mismo al salir despedido el material a gran velocidad debido al golpe de los martillos, el material golpea con las paredes lo cual produce otra etapa de trituración, de este modo el material se tritura completamente mediante impactos, aplastamiento y frotación sobre el emparrillado donde a través de este se descarga el material triturado.

Por su parte los martillos, placas y el emparrillado se fabrican de acero al carbono (recubierto de aleaciones duras) o de acero de manganeso.

Este tipo de trituradoras se utilizan generalmente para la trituración fina y media, y en ocasiones para la trituración gruesa. Se distinguen por su gran productividad, por el consumo de energía y el grado de desmenuzamiento en comparación con las trituradoras de mandíbulas y cónicas.

Por su parte de las deficiencias que cuenta esta trituradora son:

- ✓ Desgaste considerable de martillos y placas

- ✓ Complejidad de montaje (balanceo del rotor)

Este tipo de trituradoras se utiliza generalmente para materiales quebradizos, fibras y materiales de dureza moderada, es a saber: carbón, yeso, caliza etc.

TRITURADORA DE RODILLO SIMPLE:

La trituradora de rodillo simple (véase figura 6), es un tipo de trituradora que emplea un rotor simple reforzado con una serie de martillos oscilantes mismos que tienen forma de dientes fijos integrales.

En esta trituradora ocurren tres tipos de trituración que son: el impacto, el cizallamiento y la trituración.

El primer tipo de trituración el producto a triturar chocan entre si posteriormente a medida de que el rodillo gira el material se va acercando al embudo de la trituradora formada por el plato de frenado y el rodillo cortando los pedazos del material a triturar; este es el segundo tipo de trituración, por último ya que el material cortado éste cabe el espacio entre el rodillo y el plato, pero dicho espacio se reduce cada vez más, dando paso a la trituración final logrando así la minimización máxima del material a triturar.

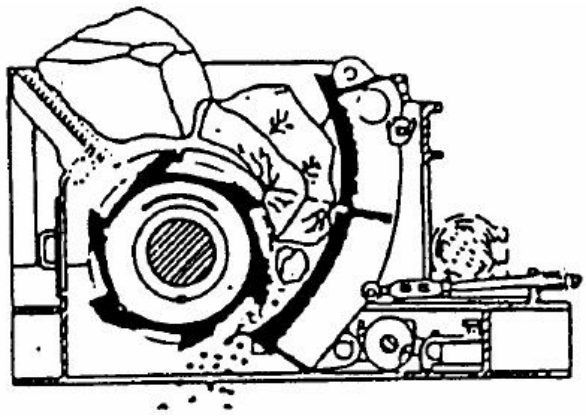


FIGURA 6: Trituradora de rodillo simple. Fuente: http://novhan-natanagara.blogspot.mx/2011/03/sekilas-tentang-peralatan-pemecah-batu.html

La distancia entre el plato de frenado y el rodillo determina el tamaño del producto final, mismo que puede ser ajustado mediante un arreglo de calces ubicado afuera de la máquina. Así agregando o quitando calzas se puede mover el acercamiento al rodillo.

TRITURADORAS CÓNICAS:

La trituradora de cono o molino es también llamada trituradora Simmons, este tipo de trituradora está adecuada para triturar minerales o rocas semiduros y duros.

Entre sus ventajas se encuentran:

- ✓ Construcción fácil
- ✓ Alta productividad
- ✓ Fácil ajuste
- ✓ Bajos costos de operación

Este tipo de trituradoras a diferencia de las trituradoras de mandíbula, tiene un proceso de rompimiento de material y alejamiento del mismo ininterrumpido, es decir que mientras de un lado se hace el rompimiento, del otro lado se hace el alejamiento y al momento de cambiar de estado la parte que estaba rompiendo ahora saca el material y del otro lado se hace la ruptura, todo esto se logra a la continuidad y a la regularidad de alimentación de material suministrado a la máquina.

Las máquinas trituradoras cónicas gastan menos energía que las de mandíbula y no necesitan un volante voluminoso. Sin embargo, cabe aclarar una vez más que el empleo del tipo de trituradora depende directamente de las necesidades de la empresa, tanto grado de trituración como consumo de energía y material a triturar.

MOLINOS DE TAMBOR

Los molinos de tambor son máquinas en las cuales el material se tritura al interior del cuerpo giratorio (tambor) bajo la acción de cuerpos trituradores o por medio de la auto-trituración, durante la rotación del tambor los cuerpos trituradores son arrastrados junto con el material a triturar hacia las paredes, bajo la acción de la fuerza centrífuga y luego caen libremente generando la trituración por impacto aplastamiento y frotación.

Este tipo de trituradoras, no cubre los requisitos que nosotros necesitamos para nuestro proceso de trituración.

Al momento del análisis de trituradoras para saber cuál es la más factible para ser usada, se concluyó que se utilizaría la máquina trituradora de rodillo doble con cuchillas, dado que ésta presenta muchos beneficios en cuanto a producción y costos, los cuales se presentarán a continuación.

TRITURADORA DE DOBLE RODILLO DENTADO

La trituradora de doble rodillo generalmente se usa para hacer trabajos de trituración de primer o segundo grado, logrando una trituración de 4:1 e inclusive dependiendo del material la trituración puede llegar a un rango de 6:1. Tanto la trituración de primer grado como la de segundo en este tipo de máquinas, se trabaja con un alto par (muy bajas revoluciones).

Los cilindros están dispuestos en forma horizontal, uno frente al otro en forma paralela, mismos cilindros giran en forma opuesta.

Es importante puntualizar que las características del material juegan un papel muy importante para obtener la máxima eficiencia de la máquina trituradora, y no únicamente eso, también es importante saber las dimensiones del material, el contenido que se desea procesar por hora, y de ser necesario la granulometría del material procesado, aclarando que en el trabajo presente no se contempla este último punto, dado que el problema a solucionar es el ingreso del material al horno de fundición.

El material a triturar va a ser arrastrado a el espacio entre los cilindros mismo espacio será el que dicte la reducción de tamaño.

RODILLOS Y DIENTES

Cada rodillo se compone de dientes, mismos dientes pueden ser cambiados e incluso pueden ser reversibles los cuales se encuentran atornillados y aprisionados por un concentrador hexagonal robusto, los dientes pueden ser cuchillas, dientes de tiburón, picas, estrías, resaltes, etc. éstos se disponen a lo largo del rodillo en forma escalonada para así evitar posibles impactos entre dientes. La proporción del diente es diseñado dependiendo de los requerimientos del material a triturar.

Los rotores se maquinan de acero con un proceso de tratado térmico, lo cual permite minimizar la deflexión. Diseñado para obtener factores de seguridad extrema y para requerimientos de velocidad críticos. Por su parte los rotores se manejan independientemente por dos motores, aunque los sets de correas estén conectadas entre ellas a una caja de velocidades y al volante de inercia, como se mencionó anteriormente el accionamiento es independiente con dos motores eléctricos montados en una base ajustable.

El material que no puede ser triturado genera un trabajo muy grande lo cual es absorbido por el muelle mismo que se compacta y permite por ende el paso del material no triturable, el resorte se monta en la caja de uno de los motores, en otras palabras un rodillo se encuentra montado contra unos topes sobre los cuales es

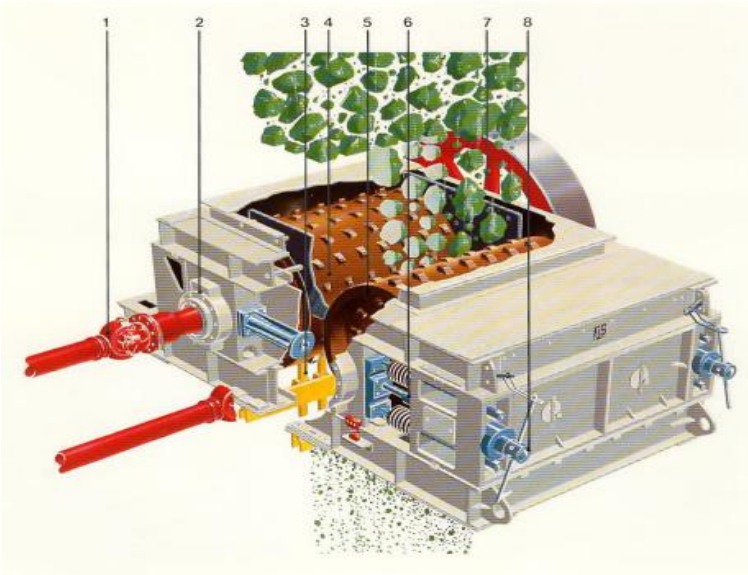


FIGURA 7: Trituradora de cilindros dentados (dibujo elaborado por FLSmidth)

presionado por unos muelles o cilindros hidráulicos (véase figura 7), mismos que hacen que el sistema este fijo y si existe algún material que no pueda ser triturado, es resorte o cilindro se despliegue dejándolo pasar.

El otro rodillo va montado en unos soportes o tornillos que regulan su posición con respecto al otro cilindro, este mismo tornillo regula el tamaño del material de salida.

Como se puede ver en la figura 7, las principales partes de la trituradora son las siguientes:

1. Árbol cardan
2. Cojinete del cilindro
3. Raspador
4. Cilindro fijo
5. Cilindro ajustable
6. Protección contra sobrecargas
7. Volante
8. Tornillo para regulación de la abertura

CUERPO

Este tipo de máquinas se fabrican de chapas de acero tipo EN43A fácilmente soldable con diseño “heavy duty”, soldada y mecanizada con chapa de diferentes secciones. El cuerpo tiene una caja con dos engranes sincronizadas y paredes atornilladas para así conformar un cuerpo rígido. También el cuerpo tiene revestimientos anti-desgaste recambiable, así como paredes laterales con peines para evitar atascamientos en las laterales.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA MÁQUINA DE DOBLE RODILLO:

El motivo de porque se optó por utilizar ésta máquina trituradora sobre las demás fue gracias a que ésta presenta más ventajas que las demás maquinas mismas que se describirán a continuación.

VENTAJAS:

- Grandes bocas de alimentación
- Adecuadas para materiales de dureza media y quebradizo
- Altas fuerzas de trituración
- Mínima altura para reducción de coste de implantación
- Mínima generación de finos
- Granulometría de salida regular, es decir exenta de grandes trozos y de finos.

DIMENSIONADO DE TRITURADORAS DE RODILLOS DENTADOS:

Para saber que dimensiones debe tener la trituradora de rodillos dentados los parámetros que se desean estudiar son los siguientes:

DIMENSIONES DE MATERIAL A TRITURAR Y DIAMETRO DE CILINDROS:

Las dimensiones del material que se desea triturar al cual llamaremos (D_{max}) dependen directamente del diámetro de los cilindros, y el cual se calcula de la siguiente manera:

$$D_{max} = \frac{1}{3} * \ \text{Ø}_{cilindro} \tag{1}$$

CAPACIDAD Y DISTANCIA ENTRE CILINDROS (REGLAJE):

En éste tipo de trituradoras (de cilindros dentados), la distancia entre cilindros la define la distancia existente la punta del diente y la concavidad del cilindro que hay frente al diente.

La capacidad de las trituradoras se obtiene por tablas, mismas que son proporcionadas por los fabricantes.

POTENCIA DE LAS TRITURADORAS DE RODILLOS DENTADOS:

La potencia absorbida, según Shubin, viene dada por:

$$P_a = 10 \cdot W_i \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot Q \tag{2}$$

Donde:

$P_a =$ Potencia absorbida (kW).

$Q =$ Capacidad de la trituradora (t/h).

POTENCIA DEL MOTOR:

Esta potencia está dada por:

$$P_m = 1.3 \cdot P_a \ ; \tag{3}$$

Con este dato de la potencia útil se entrará en las especificaciones de los fabricantes con la finalidad que el motor seleccionado cumpla con los requerimientos mínimos de este valor.

Siendo este último punto (el motor) uno de los más importantes, me atrevería a decir que el más importante, para que la máquina trituradora cumpla con su tarea asignada, se optó por elaborar el siguiente capítulo, para así dar pie al estudio de las partes importantes y que se desean controlar en la máquina trituradora, en conjunto con el análisis y estudio de los sensores que intervendrán en el proceso de automatización.

Capítulo II: MOTOR E INSTRUMENTACIÓN

MOTOR DE LA MÁQUINA TRITURADORA:

Una de las partes más importantes para que la maquina funcione es el motor eléctrico, mismo que se define como un mecanismo capaz de transformar energía mecánica partiendo de una energía eléctrica.

Así mismo dependiendo del tipo de alimentación que este tenga, se clasifican en:

- MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Entre los cuales encontramos:

- ✓ De excitación independiente.
- ✓ De excitación en serie.
- ✓ De excitación (shunt) o derivación.
- ✓ De excitación compuesta (compund).

- MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Entre los cuales se encuentran los siguientes motores:

- ✓ Motores síncronos.
- ✓ Motores asíncronos.
  - Monofásicos.
    - De bobina auxiliar.
    - De espira en cortocircuito.
    - Universal.
  - Trifásicos.
    - De rotor bobinado.
    - De rotor en cortocircuito (jaula de ardilla).

Todos los motores de corriente continua, así como los síncronos de corriente alterna se encuentran en aplicaciones muy específicas, mientras que el motor de corriente alterna asíncronos, tanto monofásicos como trifásicos, son los que tienen aplicaciones más generalizadas gracias a su utilización, poco mantenimiento y bajo coste de fabricación.

CONSTITUCIÓN DEL MOTOR ASINCRONO DE INDUCCIÓN: [5].

Un motor eléctrico está constituido por un circuito magnético, mismo que está formado por chapas apiladas en forma de cilindro en el rotor y en forma de anillo en el estator (figura 8).

El cilindro se introduce en el interior del anillo, mismo que está dotado de ranuras en la parte interior para colocar el bobinado inductor y se envuelve con la carcaza.

El cilindro por su parte se junta al eje del motor y puede estar ranurado en su superficie para colocar el bobinado inducido, en el caso de motores con rotor bobinado, o bien se le incorporan conductores soldados a los anillos, en el caso de motores de rotor en cortocircuito, similares a una jaula de ardilla, de ahí recibieron tal nombre.

El eje se apoya en unos rodamientos de acero, para evitar rozamientos, y se saca al exterior para transmitir el movimiento, lleva a coplado un ventilador para el enfriamiento. Los extremos de los bobinados se sacan al exterior para que se conecten a la placa de bornes. (figura 9).

FIGURA 9: ROTOR Y ESTATOR DE MOTOR ELÉCTRICO ("MOTORES ELECTRICOS" MC. GRAW HILL)

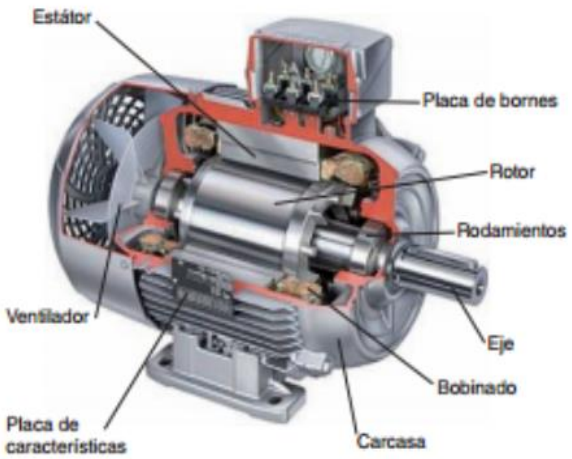


FIGURA 8 : PARTES DE UN MOTOR ELÉCTRICO ("MOTORES ELECTRICOS" MC. GRAW HILL)

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO:

El principio de funcionamiento del motor asíncrono de inducción tiene como base la acción del flujo generado en el estator sobre las corrientes inducidas por dicho flujo en el rotor. En otras palabras, el flujo generado en el bobinado del estator corta los conductores del rotor, por lo que se generan fuerzas electromotrices inducidas.

La velocidad de este tipo de motores, según el principio de funcionamiento y la frecuencia industrial, tiene que ser una velocidad fija. Gracias a los avances en la electrónica de potencia, hoy en día se han desarrollado arrancadores estáticos que pueden regular la velocidad de este tipo de motores, variando la frecuencia de alimentación del motor, en otras palabras, convierten la frecuencia industrial en una frecuencia distinta y ésta se aplica al motor con el fin de regular su velocidad, amortiguar el arranque e incluso el frenado.

TIPOS DE MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS Y SISTEMAS DE ARRANQUE:

MOTORES TRIFÁSICOS

Como se mencionó anteriormente los motores trifásicos son motores en los que el bobinado inductor colocado en el estator está formado por tres bobinados independientes separadas 120° entre si y alimentadas por un sistema trifásico de corriente alterna. Existen dos tipos de motores asíncronos que son los de rotor en cortocircuito, o mejor conocidos como jaula de ardilla, y los de rotor bobinado.

TENSIONES E INTENSIDADES EN EL ESTATOR DE LOS MOTORES TRIFASICOS [5].

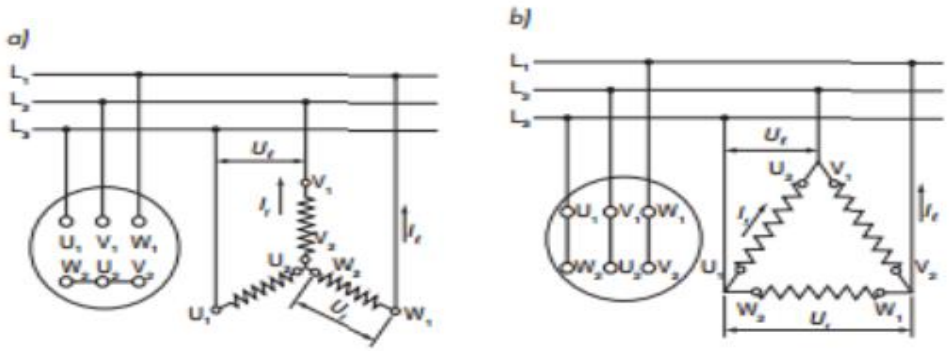


FIGURA 10 : CONEXIONES EN LOS BOBINADOS TRIFÁSICOS a) ESTRELLA b) DELTA("MOTORES ELÉCTRICOS" MC. GRAW HILL)

Para los bobinados trifásicos existen dos tipos de conexiones que son la estrella o conexión delta. (figura 10). En la conexión estrella, la corriente que recorre cada fase coincide con la corriente de línea, mientras que la tensión que se aplica en cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la tensión de línea.

Por su parte en la conexión delta la corriente que recorre cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la corriente de la línea, mientras que las tensiones son iguales tanto para la línea como para cada fase.

Si un motor está diseñado para aplicarle 230V a cada fase, se podrá conectar a la red de 230V en conexión triangulo y a la red de 400V en estrella, dado que las normas de tensiones normalizadas son de 230 o 400V. Estas conexiones nos garantizan que los parámetros como potencia, par, y velocidad permanecerán constantes. La conexión que se desee hacer se realiza sobre la placa de bornes mediante puentes como se puede apreciar en la figura 11.

MOTOR DE ROTOR EN CORTO CIRCUITO:

La construcción de este motor es más sencilla, su funcionamiento es más seguro y la fabricación es más económica. El único inconveniente que presenta este tipo de motor es que consume mucha corriente al arranque.

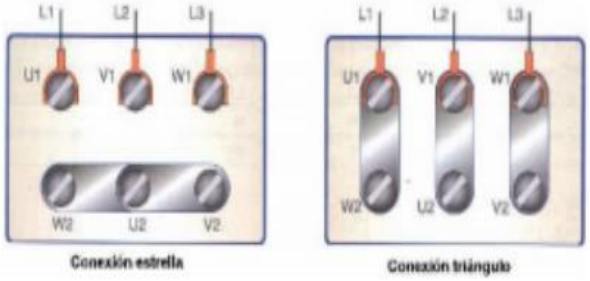


FIGURA 11: COLOCACION DE LOS PUENTES SOBRE LAS PLACAS DE BORNES IZQUIERDA CONEXIÓN ESTRELLA, DERECHA CONEXIÓN DELTA ("MOTORES ELECTRICOS" MC. GRAW HILL)

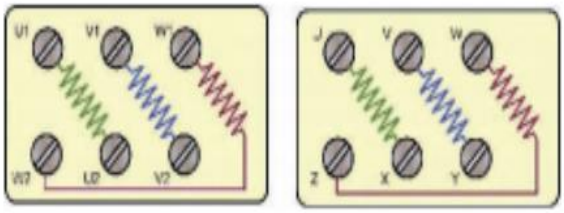


FIGURA 12: DISTRIBUCION DE LOS EXTREMOS DE LAS BOBINAS EN LA PLACA DE BORNES ("MOTORES ELECTRICOS" MC. GRAW HILL)

En el momento de arranque, el motor que se encuentra acoplado directamente a la línea de alimentación presenta un momento de rotación de 1.8 a 2 veces del requerido, pero la corriente absorbida en el arranque toma valores de 5 a 7 veces la nominal.

La puesta en marcha del motor se realiza de forma simple mediante un interruptor manual tripolar, estos interruptores están diseñados para la intensidad del motor.

El reglamento electrotécnico de baja tensión con sus siglas (REBT) en su instrucción ITC-BT-47 regula la relación que existe entre las intensidades de arranque y la plena carga de los motores alimentados desde una red pública (véase tabla 4).

Potencia nominal del motor de corriente alterna	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de arranque y plena carga
De 0,75 a 1,5 kW	4,5
De 1,5 a 5,0 kW	3,0
De 5,0 a 15,0 kW	2,0
Mas de 15,0 kW	1,5

Tabla 4: RELACIÓN DE INTENSIDADES DE ARRANQUE Y PLENA CARGA ADMISIBLES EN LOS MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA PARA SU PUESTA EN MARCHA SEGÚN EL REBT ("MOTORES ELECTRICOS" MC. GRAW HILL)

De la relación establecida se obtiene que los motores de potencia superiores a 0.75kW que no cumplan la relación de intensidades dadas en la tabla anterior, deben disponer de un sistema de arranque que disminuya tal relación.

La corriente en el momento de arranque de los motores que no cumpla esta relación puede hacer presentar daños desde quemar los sistemas de protección hasta perjudicar las líneas de alimentación. Por ende para evitar estos inconvenientes se disminuye la tensión en el periodo de arranque y con ello la intensidad, y una vez alcanzada la velocidad requerida se conecta el motor al voltaje nominal.

Para conseguir esto se utilizan los siguientes procedimientos:

- ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO

Este tipo de arranque es el más común para los motores trifásicos de rotor en cortocircuito con relaciones superiores a las que se observaron en la tabla anterior.

Este tipo de arranque consiste en conectar el motor en estrella durante el periodo de arranque y una vez establecida su velocidad, se conecta en triangulo para que quede conectado a la tensión nominal. Para esto se conecta el motor a un conmutador manual, este conmutador tiene tres posiciones que son: la inicial de desconexión, la siguiente que conecta los bobinados del motor en estrella y la tercera que conecta los bobinados en delta.

Para el uso de este tipo de arranque, es necesario que el motor pueda funcionar en conexión modo delta al voltaje de la línea. Por ende, cuando el arranque lo conectamos en estrella, cada fase queda sometida a una tensión $\sqrt{3}$ menor a la línea y por tanto la corriente también es $\sqrt{3}$ menor que si estuviese conectado en triangulo.

Teniendo en cuenta que si conectamos el motor en triangulo la intensidad en la línea es $\sqrt{3}$ mayor que la de la fase, mientras que en estrella son iguales, resulta que el mismo motor arrancado en estrella consume una intensidad de $\sqrt{3} * \sqrt{3} = 3$, es decir tres veces menor que si lo conectamos en triangulo. Por esta misma razón, el momento de rotación también se reduce en un tercio.

- ARRANQUE MEDIANTE AUTOTRANSFORMADOR.

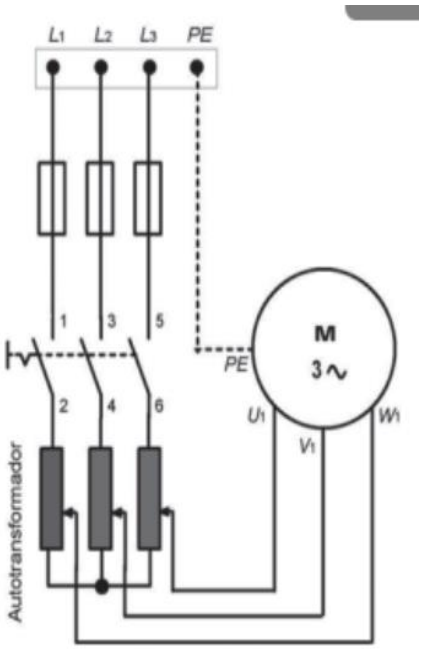


FIGURA 13: DISPOSICIÓN DE UN AUTOTRANSFORMADOR ("MOTORES ELÉCTRICOS" MC. GRAW HILL)

Este tipo de arranque se presenta en motores de gran potencia y consiste en un autotransformador localizado entre la línea de alimentación y el motor como se puede ver en la figura 13.

El autotransformador tiene diferentes tomas de voltaje reducidas, por lo tanto, cuando el motor arranque se le aplica un voltaje menor disminuyendo la corriente y se va elevando en forma progresiva hasta dejarlo conectado completamente a la red.

- ARRANQUE CON RESISTENCIAS EN SERIE CON EL BOBINADO DEL ESTATOR:

Es un procedimiento poco empleado que consiste en, como su nombre lo dice, disponer potenciómetros en serie con el bobinado del estator.

La puesta en marcha se hace con los potenciómetros al máximo de resistencia y se va disminuyendo a medida que el motor se esté moviendo hasta que el motor quede completamente conectado a la corriente de la red.

MOTOR DE ROTOR BOBINADO Y ANILLOS ROSANTES:

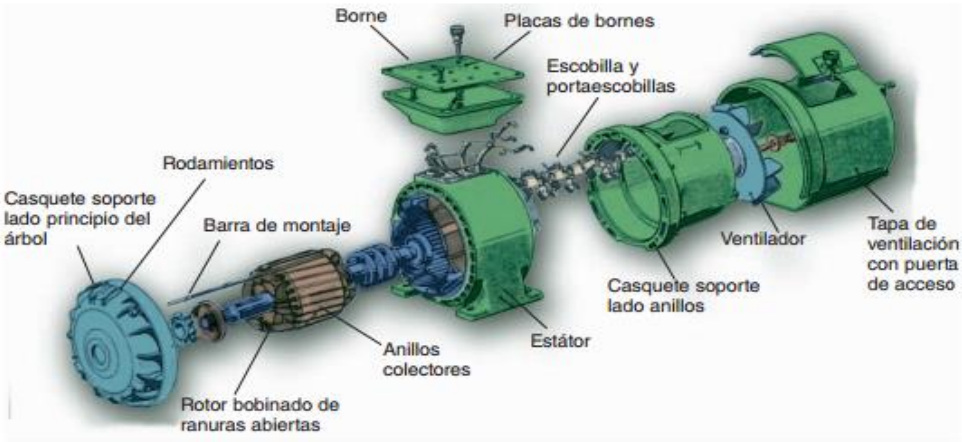


FIGURA 14: DESPIECE DEL MOTOR DE ROTOR BOBINADO

Este tipo de motores (figura 14), el rotor va ranurado al igual que el estator, y en el rotor se coloca un embobinado normalmente trifásico similar al del estator conectado en estrella y los extremos libres se conectan a tres anillos de cobre, completamente aislados y soldados con el eje del rotor [5].

Sobre los anillos, se colocan los porta-escobillas, que a su vez se conectan a la placa de bornes del motor, por eso las placas de bornes para este tipo de motores tienen 9 bornes como lo muestra la figura siguiente:

La ventaja que presentan este tipo de motores es su par de arranque, ya que pueden alcanzar hasta 2.5 veces el par nominal, mientras que la corriente en el arranque es similar a la del par nominal.

Para arrancar este motor es necesaria una conexión entre el bobinado del rotor y un potenciómetro de arranque, dispuestos en serie, y una vez alcanzada la velocidad nominal se puentean a los anillos en conexión estrella.

Estos motores tienen una aplicación muy específica, pero necesitan un mantenimiento sumamente exhaustivo a diferencia de los motores de rotor en corto circuito.

SENTIDO DE GIRO DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS:

Para comprobar el campo magnético giratorio, se tenía en cuenta el sentido de circulación de la corriente por las fases del bobinado. En el sentido de giro se ve reflejado el sentido de la corriente, así si conectamos un motor y éste gira en sentido anti horario y la aplicación requiere de un sentido horario basta con cambiar dos de las tres líneas de alimentación, cabe resaltar que si se invierten las tres líneas el sentido de giro seguirá siendo el mismo [6].

Si la aplicación requiere que el motor gire en ambos sentidos, es necesario acoplarle un conmutador inversor que realice el cambio de alimentación sin tener que manipular las conexiones, estos conmutadores deben soportar la corriente requerida por el motor y poseen tres posiciones, con el cero en el centro para conseguir que la inversión no se realice a contramarcha.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE MOTORES ELECTRICOS:

El mantenimiento en los motores eléctricos representa una actividad sumamente importante para garantizar la óptima operatividad de los motores así como la confiabilidad en el proceso que se desee obtener.

Los motores eléctricos generalmente están propensas a sufrir desgastes en sus componentes mecánicos, debido a que estos se utilizan continuamente, generalmente los componentes que requieren más atención son los cojinetes y rodamientos [7].

El mantenimiento preventivo abarca todos los planes y acciones necesarias para determinar y corregir posibles problemas que puedan afectar a nuestro sistema, máquina o equipo, antes de que lleguen a un grado más severo y se le aplique un mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo, así mismo, disminuye los costos de producción y aumenta la productividad, también aumenta la vida útil de la maquinaria, obteniendo como resultado la disminución de paro de máquinas.

Las actividades principales en el mantenimiento preventivo son:

- Inspección periódica con el fin de encontrar causas que provoquen paros imprevistos
- Seleccionar el armazón del motor:

El armazón de los motores se elige dependiendo de la aplicación y el ambiente de trabajo en el que éste se desenvolverá, si el motor trabajará en condiciones adversas, es preferible trabajar con motores completamente cerrados, mientras que si el ambiente es cerrado el armazón puede ser abierto, normalmente se utiliza de este último tipo de motores dado que son más sencillos y menos costosos.

- Seleccionar correctamente la velocidad del motor:

Si el trabajo lo permite son más convenientes los motores de alta velocidad.

- Sustituir los motores antiguos:

Los costos de operación y mantenimiento a los motores viejos, representan a la empresa un gasto no recuperable dado que estos motores presentaran siempre problemas debido a su edad y desgaste.

- Realizar de forma correcta la conexión a tierra:

Una conexión defectuosa puede poner en peligro la vida de los operarios. Además de ocasionar corrientes de fuga representando gastos innecesarios.

- Proporcionar la ventilación necesaria al motor:

Al momento de ubicar el motor en espacios reducidos, el motor no cuenta con la ventilación necesaria, por ende, se presentan sobrecalentamientos en los motores, lo cual se traduce a una ausencia de eficiencia del motor.

- Instalación de equipos de control de temperatura y lubricación:

Para minimizar las perdidas por fricción y aumentar su eficiencia.

- Efectuar rutinariamente la limpieza del motor:

Con el propósito de eliminar suciedad, polvo y objetos que no formen parte del motor, mismos que impiden su óptimo funcionamiento. La regularidad con la que esta actividad se realiza depende directamente de las condiciones en las que el motor esté trabajando [7].

PUNTOS IMPORTANTES PARA LA SELECCIÓN DE MOTOR

Para la correcta elección de un motor que cumpla los requerimientos que la empresa demande, habrá que tener en cuenta una serie de conceptos tanto eléctricos como mecánicos, y ambientales.

Los conceptos importantes en éstas tres áreas se encuentran listados a continuación y son:

a) Respecto a la parte eléctrica:
   - Tensión de la red eléctrica (U).
   - Frecuencia de la red eléctrica y el motor.
   - Potencia eléctrica necesaria.
   - Velocidad a suministrar.
   - Grado de protección.
   - Tipo de arranque del motor.
   - Si tiene inversión de giro.
   - Si se va a solicitar al motor variación de velocidad electrónica.

b) Respecto a la parte mecánica:
   - Todas las características de funcionamiento de la maquina a la que se aplica el motor.
   - Tipo de transmisión motor máquina.
   - Clase de accionamiento necesario.
   - Potencia útil necesaria.

- Velocidad de entrada.
- Factor de marcha.
- Si precisa de variador mecánico de velocidad.
- Posición del motor en la máquina.
- Posición del eje y de la caja de bornes en el motor.
- Diámetro del eje del motor.
- Forma de anclado del motor.

c) Respecto a condiciones ambientales:
   - Altitud.
   - Temperatura.
   - Atmósfera donde va a trabajar.
   - Riesgos de explosión.
   - Ambientes corrosivos.
   - Ambientes húmedos.
   - Pintura interior y color exterior.

ELECCIÓN DEL MOTOR DE LA MÁQUINA TRITURADORA

Una vez estudiados los tipos de motores trifásicos los cuales representan un 80% del uso de estos en la industria, así como los puntos clave para la correcta selección del motor que cubra con los requerimientos, se eligió un motor trifásico con rotor en corto circuito o también denominado de jaula de ardilla, es por ello que se dará una breve explicación de las partes importantes de éste.

a) CARCASA: Esta cumple con distintas funciones las cuales son:
   - Recoger en su interior el circuito magnético estático.
   - Realizar funciones de disipación de calor
   - Asegurar el interior del motor.

b) CIRCUITO MAGNETICO: Son chapas magnéticas que están unidas a la carcasa.

c) BOBNIADO ESTATÓRICO: Este bobinado constituye la parte inductora del motor.

d) ROTOR: Como su nombre lo dice consta de una base giratoria compuesta de chapas magnéticas cuyo centro se aloja en el eje, dentro del circuito magnético se alojan unas barras conductoras que están interconectadas por unas tapas de aleación especial, a este conjunto se le denomina jaula de ardilla, cabe

resaltar que este tipo de “jaulas” son diferentes de acuerdo al motor, y aplicación que se desee emplear.

e) TAPAS: El motor cuenta con dos tapas las cuales alojan el rodamiento en los que se apoya el motor.
f) CAJA DE CONEXIONES: Donde llegan los inicios y los finales de los bobinados, así como las líneas de alimentación.
g) FORMA DE FIJACIÓN: También llamado anclaje y consta de dos formas:
    - A brida
    - A patas
h) VENTILACIÓN: El motor puede incorporar un aspa para forzar el enfriado de los componentes internos del motor.
i) FRENO: El motor, cuando la aplicación así lo requiera, podrá incorporar un freno.

VENTAJAS DEL USO DE MOTOR TRIFÁSICO CON ROTOR EN CORTOCIRCUITO:

Como se comentó anteriormente el uso de este tipo de motores representa el 80% en aplicaciones industriales por las siguientes razones:

- Por su simplicidad mecánica y eléctrica
- Por su casi nulo mantenimiento
- Por su buen rendimiento
- Por el buen par de arranque que proporciona
- Por la economía en la compra del equipo de arranque
- Por la amplia gama de potencias.

TIPOS DE MOTORES SEGÚN NORMAS

La designación de la forma constitutiva de los motores según la norma DIN atiende al tipo de servicio, si tiene freno, si es de polos conmutables, etc. [8] En la siguiente tabla se recoge la designación de este tipo de motores:

TIPO DN	Motores construidos según la norma DIN 426730- VDE 0530 todos los motores que son construidos según normas pueden ser sustituidos por otros de diferente marca, incluso de diferente nacionalidad
TIPO DNI	Motores de servicio intermitente
TIPO DNP	Motores de polos conmutables
TIPO DNT	Motores de varias tensiones
TIPO eDN	Motores preparados para atmosferas especiales
TIPO DNB	Motores con freno.

Tabla 5: TIPOS DE MOTORES SEGÚN NORMA DIN

PLACA DE CARACTERISTICAS

En la placa de características del motor que se coloca en su carcasa, el fabricante recoge toda la información del motor que puede ser: potencia, tensión, intensidad, factor de potencia, frecuencia y demás datos que pueden ser interesantes para efectuar cálculos y comprobaciones de cara a su conexión y aplicación a una máquina.

En la siguiente tabla se muestra la placa de características según la norma DIN 42961 (extracto) para una maquina rotativa.

No.	Contenido
1	Fabricante, emblema de la empresa
2	Tipo, denominación del modelo
3	Tipo de corriente G: continua, E: monofásica, D: trifásica
4	Tipo de funcionamiento Ge: generador, Mot: motor
5	N° de fabricación en serie
6	Tipo de conexión del devanado del estator (estrella o delta)
7	Tensión nominal

8	Intensidad nominal
9 y 10	Potencia nominal, potencia útil
11	Tipo de régimen nominal
12	Factor de potencia nominal
13	Sentido de giro
14	Frecuencia de giro nominal
15	Frecuencia nominal
16	Excitación de las maquinas en continua
17	Tipo de conexión del bobinado del rotor
18	Tensión nominal de excitación o tensión a rotor bloqueado
19	Intensidad nominal de excitación, intensidad del rotor
20	Clase de aislamiento
21	Tipo de protección
22	Peso de la máquina
23	Notas adicionales

Tabla 6: PLACA DE CARACTERISTICAS DE UN MOTOR SEGÚN LA NORMA DIN 42961

POTENCIA

La potencia señalada en la placa corresponde a la potencia útil proporcionada por el motor en su eje y no la absorbida de la red por el motor.

El motor suministra la potencia indicada en su placa de información cuando el eje del motor gira a la velocidad indicada, que es:

$$P = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot COS(\varphi) \cdot \eta}{1000} \text{ (kW);} \qquad (4)$$

Donde u es la tensión de la red, I es la intensidad absorbida por el motor, $COS(\varphi)$ es el factor de potencia y η es el rendimiento del motor.

El rendimiento del motor trifásico es la relación que hay entre la potencia útil suministrada por el motor (P_u) y la potencia absorbida de la red por el propio motor (P_a). Mismos datos se encuentran en la placa de información del motor.

VELOCIDADES DE GIRO DEL EJE DEL MOTOR:

Se pueden distinguir tres tipos de velocidades en este tipo de motor que es la velocidad síncrona (n_s), la velocidad en vacío (n_0) y la velocidad nominal (n).

La velocidad síncrona (n_s) está representada por:

$$n_s = \frac{f * 60}{p} \text{ (rpm)} \quad (5)$$

Donde f es la frecuencia de la red de alimentación y p son los pares de polos que el motor tiene.

El deslizamiento por su parte está representado por la diferencia entre la velocidad síncrona y la velocidad nominal, mismo deslizamiento generalmente es del 2% para motores pequeños y de 6% para motores más robustos.

FACTOR DE POTENCIA:

Éste depende directamente del ángulo de desfase entre la tensión y la intensidad de corriente, en un momento dado del funcionamiento del motor.

Para el cálculo de factor de potencia se tiene la siguiente ecuación:

$$\cos(\varphi) = \frac{Pm * 1000}{\sqrt{3} * U * I * \eta} \quad (6)$$

Donde Pm es la potencia del motor en kW, U es la tensión de la red, I es la intensidad absorbida por el motor y η es el rendimiento del mismo.

PROTECCION (IP):

La carcasa de los motores debe cumplir con cierta protección, los motores se pedirán al proveedor teniendo en cuenta su índice de protección según UNE 20324, DIN 40 050, e IEC 144.

El aislamiento térmico del bobinado del motor es muy importante dado que el bobinado se calienta durante el funcionamiento del motor, por lo que el aislamiento

estará preparado para soportar determinada temperatura en función al régimen de trabajo que éstos tengan.

El grado de aislamiento del motor se indica en la placa de características que este lleva en su carcaza por medio de una letra que a continuación se señalará en la siguiente tabla:

Clase de aislamiento	Temperatura máxima admisible (°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	Más de 180

Tabla 7: TEMPERATURAS ADMISIBLES SEGÚN LAS CLASES DE AISLAMIENTO

Se considera muy importante realizar chequeos periódicos de las temperaturas para evitar que éstas salgan de sus rangos permitidos para así evitar degradaciones en los aislamientos de los bobinados, así como en el resto del motor.

Se pueden instalar termistores en el motor o en su embobinado para controlar la temperatura por medio de señales de aviso u órdenes para efectuar el paro del motor cuando se superan las temperaturas permitidas.

El caso omiso a esta advertencia puede causar diferentes problemas en los motores los cuales se presentarán a continuación:

- Aumento de la resistencia en el embobinado.
- Aumento en la caída de tensión
- Reducción de potencia útil suministrada
- Deterioro de las partes mecánicas del motor
- Degradación en el aislamiento de las bobinas
- Se puede quemar el embobinado
- Se presenta una baja sensible en el rendimiento del motor.

Existen más valores y datos a considerar para que la eficiencia del motor no decaiga y tenga un tiempo de vida útil prolongado, estos datos pueden ser:

- Ventilación natural: eliminación del calor por radiación a través de las aletas de la carcasa del motor.
- Autoventilación: por medio del aire movido por el ventilador que incorpora el propio motor acoplado al eje del rotor.
- Ventilación forzada: por aire suministrado desde el exterior y conducido por el motor
- Refrigeración interna: extracción de aire caliente y entrada de aire frio
- Otras formas de refrigeración: según sea el tipo de motor y su lugar de trabajo, se pueden elegir diferentes tipos de ventilación.

TOLERANCINAS ADMISIBLES EN MOTORES ELECTRICOS

Según la norma VDE 0530 se presentará una tabla de tolerancias en los parámetros del motor [8], mismas tolerancias se presentarán en la siguiente tabla:

Parámetro	Valores
1. Rendimiento	a) Con potencia nominal $P_N \leq 50kW$ 0,15*(1- η) b) Con potencia nominal $P_N \geq 50kW$ 0,10*(1- η)
2. Factor de potencia	$COS(\varphi) = \frac{1 - COS(\varphi)}{6}$
3. Deslizamiento	$\pm 20\%$
4. Sobrecorriente	$\pm 20\%$
5. Par de arranque	De -15% hasta +25%
6. Par de vuelco máximo	$\pm 10\%$
7. Momento de inercia	$\pm 10\%$

Tabla 8: TOLERANCIAS ADMISIBLES EN LOS MOTORES ELECTRICOS.

NORMAS SOBRE LOS MOTORES:

Los motores se construyen aplicando normas internacionales, lo que permite su intercambiabilidad. Es por eso que se presentaran las principales normas aplicadas a motores:

- NORMA 73/23/CEE sobre compatibilidad electromagnética

Esta norma no incluye maquinaria eléctrica protegida contra explosiones, máquinas específicas para ascensores y montacargas, ni maquinaria eléctrica para utilización en barcos, aviones o trenes.

- NORMA 89/336/CEE sobre la compatibilidad electromagnética

No existe una normativa específica sobre la compatibilidad electromagnética de máquinas eléctricas. Actualmente rigen los valores límite de los grados de supresión de interferencias G, según VDE 0875, parte 3.

- DOCUMENTO CENELEC 11, 1974

Son normas europeas sobre motores las cuales se dividirán en dos tablas que contendrán normas eléctricas y normas mecánicas.

NORMAS ELECTRICAS	
Prescripciones generales sobre maquinas eléctricas.	IEC 34-1, EN 60034-1, VDE 0530 parte 1, NFC 51 120, NFC 51 200
Marcado de bornes en máquinas rotativas	IEC 34-8, DIN VDE 0530 parte 8, NFC 51118
Comportamiento en el arranque	IEC 34-12, DIN VDE 0530 parte 12, NFEN 60034-12
Tensiones normalizadas	IEC 38, DIN IEC 38
Material aislante	IEC 85 (34-18), DIN IEC 85, VDE 0301 parte 1, NFC 26206.

Tabla 9: NORMAS ELÉCTRICAS EN MOTORES ELECTRICOS

NORMAS MECANICAS	
Dimensiones y potencias asignadas	IEC 72, NFC 51104, NFC 51105
Protección	IEC 34-5, EN 60034-5 VDE 0530 parte 5, NFEN 60034-5
Formas constructivas	IEC 34-7, EN 60034-7 VDE 0530 parte 6, NFEN 60034-7
Valores límite de ruido	IEC 34-9, EN 60034-9 VDE 0530 parte 9, NFEN 60034-9
Vibraciones	IEC 34-14, DINVDE 0530 parte 14, NFEN 60034-14
Bridas de sujeción	DIN 42948

Tabla 10: NORMAS MECÁNICAS EN MOTORES ELECTRICOS

COMITES DE NORMALIZACIÓN:

Las normas CEI o IEC están desarrolladas por el comité internacional electrotécnico, del cual forman parte cincuenta países.

Las normas CEN están redactadas por el Comité Europeo de Normalización del cual están formados los países de la unión europea

Las normas CENELEC están elaboradas por el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica.

Mientras que la AENOR es el encargado de adaptar a las normas UNE (normas españolas) las normas europeas que elaboran el CEN y el CENELEC.

Las normas IEC aplicadas a las maquinas eléctricas son las siguientes:

Número de norma IEC	Titulo	Asunto
IEC 34-7	Máquinas eléctricas giratorias	Clasificación de formas constructivas y montajes
IEC 34-6	Máquinas eléctricas giratorias	Clasificación de los métodos de enfriamiento
IEC 79-10	Carcasas/ gabinetes a prueba de explosión para equipos eléctricos	Clasificación.
IEC 34-2	Maquinas eléctricas giratorias	Determinación de las características
IEC 72-1	Maquina eléctrica giratoria	Dimensiones y potencias
IEC 34-5	Carcasas/ armarios equipos eléctricos de protección	Grado de protección mecánica proporcionado por las carcasas
IEC 85	Materiales aislantes eléctricos, según clasificación térmica	Clasificación
IEC 34-1	Máquinas eléctricas giratorias	Motores de inducción
IEC 34-9	Máquinas eléctricas giratorias	Límites de ruido
ISO 1680-1	Máquinas eléctricas giratorias	Nivel de ruido transmitido a través del aire
IEC 72-1	Máquinas eléctricas giratorias	Motores de inducción de jaula de ardilla
IEC 34-8	Máquinas eléctricas giratorias	Identificación de los terminales y sentido de giro
IEC 79-0	Material eléctrico para atmósferas explosivas	Reglas generales

Tabla 11: NORMAS IEC PARA MOTORES ELECTRICOS

DISPOSITIVOS PARA LA ALIMENTACIÓN DE MOTORES

Los motores pueden ser alimentados por medio de diferentes dispositivos que pueden ser:

- Interruptores de accionamiento manual
- Interruptores automáticos de tipo magnético
- Interruptores automáticos de tipo magneto-térmico.
- Contactores
- Arrancadores estáticos.

Dichos dispositivos deben tener el suficiente poder de conexión y desconexión para soportar los picos de corriente que se generan en éstas dos fases producidas por los motores, [9] para que no se deterioren los contactos por chispeo, temperatura elevada o erosión.

No únicamente se pueden meter este tipo de dispositivos, de igual forma se pueden combinar más dispositivos los cuales se mencionarán a continuación:

DISPOSITIVOS DE ARRANQUE Y PROTECCIÓN DE MOTORES:

A continuación, se presentarán diferentes combinaciones posibles respecto a las formas de disponer los elementos de accionamiento y protección para la alimentación del motor:

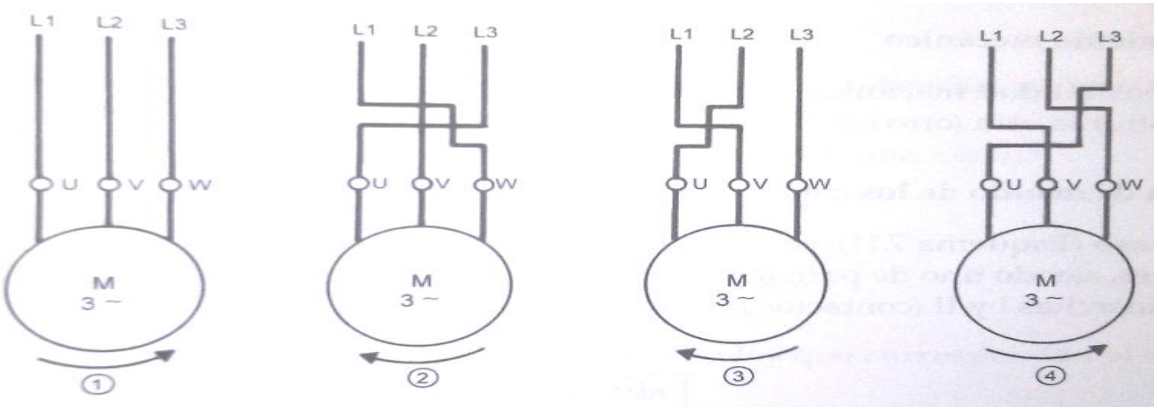
En cuanto a los elementos de protección tenemos [10]:

- Fusibles o interruptor con fusibles incorporados
- Interruptor automático magnético
- Interruptor automático magneto-térmico
- Relé térmico

En el caso de los elementos de maniobra tenemos:

- Interruptor
- Contactor
- Interruptor automático de efecto magneto térmico.

INVERSIÓN DE GIRO PARA UN MOTOR TRIFÁSICO



1. Situación de partida con giro a la izquierda.
2. Cambio de dos fases en el orden de alimentación. Se produce inversión.
3. Cambio de dos fases respecto a 2 se produce inversión respecto a 1
4. Cambio de orden en las tres fases de alimentación, no se produce inversión.

(Jose Roldan Viloria "motores trifásicos", ed. PARANINFO)

FIGURA 15: procedimientos de inversión de giro:

La aplicación en la que se va a emplear el motor requiere de la inversión de giro, esto se logra mediante el cambio en la orden de conexión (véase fig.15), cabe aclarar que en el caso del motor trifásico únicamente se deben cambiar dos de las tres líneas de alimentación para así garantizar un cambio de giro.

INVERSOR TRIFÁSICO REALIZADO CON CONTACTORES:

Existen dos formas de inversión por contactores que son colocados en línea y superpuestos, como se muestra en la figura 16:

- Cuando entra el Contactor KM1, el orden en la salida de las fases hacia el motor es: L1 –L2- L3.
- Cuando entra el Contactor KM2, el orden de salida de las fases hacia el motor es L3- L2- L2.

ENCLAVAMIENTO MECÁNICO:

La posibilidad mecánica de que estando un contactor funcione y al mismo tiempo pueda accionarse otro contactor es NULA, dado que de hacerlo se haría un cortocircuito [10].

Es por eso que se realizó el siguiente esquema de mando de los contactores de un inversor de giro, el cual se muestra en la siguiente figura:

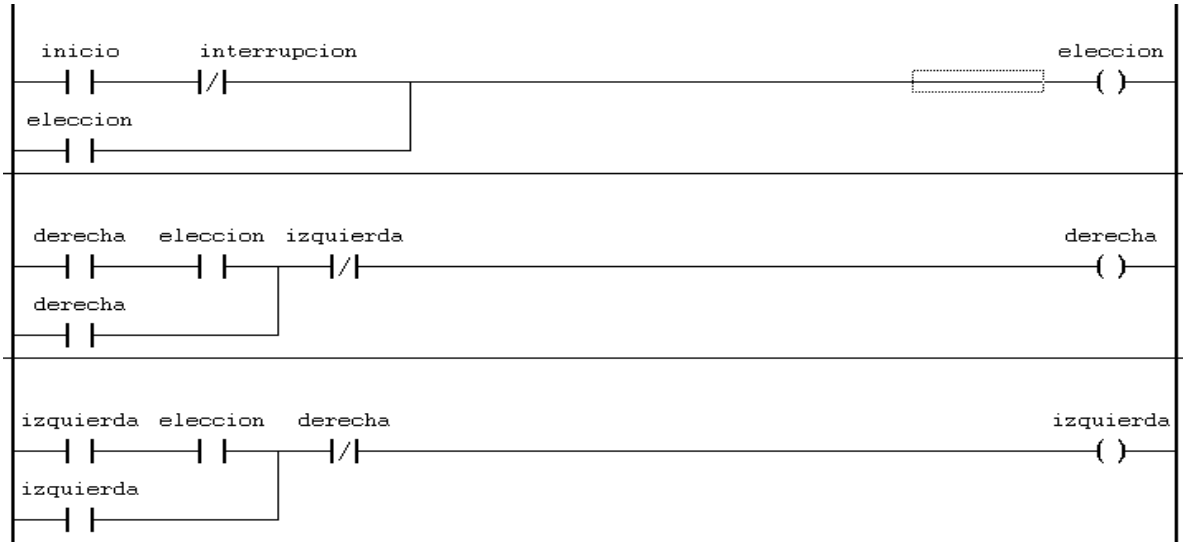


FIGURA 16: MANDO DE UN INVERSOR DE SENTIDO DE GIRO MEDIANTE CONTACTORES

APLICACIÓN DEL INVERSOR:

Es importante aclarar que cuando se realicen las pruebas de sentido de giro, se deberá hacer lo siguiente:

- Desacoplar el motor de la máquina.
- Dar marcha al motor y comprobar el sentido del giro.
- Si no es el giro adecuado para esa maniobra, entonces se cambiará la conexión ya sea directamente o de aparatos que alimentan el motor.
- Comprobar que el sentido de giro sea el correcto.
- Acoplar el motor a la transmisión de la máquina.

ARRANCADORES ELECTRONICOS ESTÁTICOS PARA MOTORES TRIFÁSICOS:

CARACTERISTICAS	FORMAS DE ARRANQUE					
	ARRANQUES CONVENCIONALES					ARRANCADOR ESTÁTICO
	DIRECTO	ESTRELLA-TRIÁNGULO	RESISTENCIAS ESTATÓRICAS	RESISTENCIAS ROTÓRICAS	AUTOTRANSF-ORMADOR	
% sobre la corriente de arranque directo	100%	33%	58 a 70%	6%	Según reglaje	Según ajuste máx. 90%
% sobre el par de arranque directo	100%	3%	33 a 49%	48%	55%	Según ajuste máx. 80%
Escalones de arranque (tensiones)	1	2	3 o 2	2 o 3	2, 3 o 4	Continuo sin escalones
Conexiones del motor (bornes)	3	6	3	3	3	3
Sobrecarga de la línea de alimentación	8 L	2,6 L	4,5 L	2,5 L	3,5 L	Según ajuste máx. 5 L
Translación o pausa de arranque	NO	SI	NO	NO	SI	NO

Tabla 12: COMPARACION ENTRE DIFERENTES FORMAS DE ARRANQUE DE MOTORES TRIFASICOS

Son dispositivos que permiten arranques, paradas y un funcionamiento controlado en los motores. El equipo no tiene contacto lo cual maximiza el ciclo de vida útil a comparación de un contactor. El arrancador estático empleado en el arranque de los motores trifásicos con rotor en cortocircuito mejora los resultados a comparación de otro tipo de arrancadores, en la tabla 12 se presentan los diferentes tipos de arrancadores, así como las comparaciones entre sí.

Cada vez es mayor el número de los arrancadores electrónicos dado que éstos presentan maniobras suaves y mucho menos agresivas para el motor a comparación de los arrancadores tradicionales, entre las ventajas de los arrancadores estáticos son:

- ✓ Mejora las características de aceleración y desaceleración del motor.
- ✓ Permite un arranque y desaceleración o paro controlado.
- ✓ Protege el motor contra sobrecargas, pérdida de fase, rotor bloqueado, cortocircuito de un tiristor, etc.
- ✓ Tiene fácil operación y ajuste.
- ✓ Emplea tecnología digital.
- ✓ Suministra información.
- ✓ Ayuda a la identificación de averías.
- ✓ Es equivalente a otros equipos de arranque.

En general este tipo de arrancadores no presenta inconvenientes, únicamente el costo que este presenta a comparación de los demás arrancadores, pero en cuanto a las prestaciones que éste presenta como identificación de problemas, control de marcha, protección, etc., éste inconveniente se ve redituable.

FRENADO DE MOTORES Y MÁQUINAS:

El frenado de motores y maquinas resulta en muchos casos necesario para:

- Parar con rapidez el motor o la máquina
- Detener la máquina en una posición determinada.

La parada puede ser de dos tipos:

- Frenado y sin bloqueo del eje del motor.
- Frenado con bloqueo del eje del motor.

En el caso de que se emplee un motor con freno incorporado, su funcionamiento normal es el siguiente:

- Cuando se alimenta con corriente eléctrica el motor, ésta también llegará al electroimán del freno, por lo que durante un tiempo muy corto el rotor estará bloqueado y no podrá girar.
- Cuando se corta la corriente en el motor, lo mismo sucederá con el electroimán, momento en el que el dispositivo de frenado bloquea el rotor del motor, efectuando de esta manera el frenado.

En el caso de que se usen motores trifásicos sin frenos incorporados al motor, éstos (los frenos) pueden ser acoplados y pueden ser tanto por accionamiento manual, neumático, hidráulico o eléctrico (electroimán).

FRENADO CON ELECTROIMÁN ALIMENTADO POR CORRIENTE ALTERNA:

El dispositivo de frenado está conectado en paralelo con la alimentación al motor cuando se conecta el motor, el freno se desbloquea y cuando se deja de alimentar, el freno se acciona bloqueando el giro del motor [10].

Este sistema es muy simple y lo emplean muchos motores dado que el bloqueo del eje del motor se realiza inclusive cunado éste está fuera de servicio.

FRENADO DE UN MOTOR POR EQUIPO DE FRENADO EXTERNO

Este frenado externo deberá estar sincronizado con el equipo de marcha y paro del motor.

FRENADO DE MOTOR POR CONTRACORRIENTE:

Se trata de un sistema de frenado muy brusco tanto para la mecánica del motor como para la máquina que realiza el trabajo, así como la parte eléctrica de la alimentación al motor, el frenado se realiza si y solo si el motor está en funcionamiento esto debido a un interruptor centrifugo que se cierra cuando el motor alcanza determinada velocidad.

También existe el frenado por contracorriente con resistencias limitadoras que es el mismo principio de funcionamiento solo que las resistencias brindan una menor brusquedad al frenado.

VARIACIÓN DE VELOCIDAD EN MOTORES TRIFÁSICOS DE JAULA DE ARDILLA:

Existen tres tipos de variaciones de velocidad para este tipo de motores, los cuales se mencionan a continuación:

1. En función de su bobinado: los motores de doble bobinado pueden adquirir dos velocidades, así como los motores de un solo bobinado y conmutación de polos, los motores de tres velocidades con dos bobinados siendo un bobinado para conmutación de polos y otro para variación de velocidad, los motores de cuatro velocidades con dos bobinados por conmutación de polos.

2. En función a la frecuencia: normalmente los motores eléctricos trabajan a la frecuencia en el que se esté trabajando (en el caso de México son 60Hz.), estos motores pueden variar la velocidad si se le varia su frecuencia de trabajo así como otros parámetros que son tanto intensidad y tensión.
3. Variadores de velocidad mecánicos: consta de un variador manual o por procedimientos motorizados.
4. Variación electrónica de velocidad: en la industria la mayoría de los motores trifásicos utilizados en sus procesos admiten la posibilidad de variar su velocidad, esto se logra mediante convertidores electrónicos de frecuencia, mediante los cuales se cambian parámetros de frecuencia, tensión, y corriente en la alimentación del motor, este variador incorporado a los motores presenta características muy importantes que son:
    - Arranques suaves.
    - Rampas de aceleración y desaceleración.
    - Arranque progresivo con limitación de intensidad.
    - Arranque a tensión reducida.
    - Limitador de potencia.
    - Frenado electrónico programable.
    - Protección contra cortes instantáneos de corriente.
    - Posibilidad de gran número de arranques por hora.
    - Señalización de defectos.
    - Posibilidad de integrar equipos automáticos de maniobra y control.
    - Control de tensión en los bornes del motor.

ACTUADOR DE SEGURIDAD:

El actuador de seguridad en la máquina trituradora tiene dos funciones primordiales los cuales brindaran soporte a los cilindros dentados de la máquina y a su vez éste actuador brindará la seguridad a la maquina en caso de que esta no llegue a triturar algún cuerpo sólido imprevisto.

Este tipo de actuadores generalmente son hidráulicos dado que ésta configuración presta mayor capacidad de carga y control, además de sus propiedades físicas que son fluidez viscosidad compresibilidad y régimen de flujo.

Los fluidos hidráulicos están basados, habitualmente, en aceite mineral o en fluidos de síntesis con aditivaciones especiales, estos últimos utilizados en casos muy especiales.

El uso del fluido que se utilizará en este sistema ha sido seleccionado de acuerdo a la aplicación que se le ha dado, basándonos en la tabla que se mostrará a continuación (véase tabla 13).

La tabla 13 muestra los diferentes tipos de fluidos hidráulicos, clasificados por sus bases y propiedades particulares, según la norma ISO 6743/4 en los sistemas hidráulicos [11].

SÍMBOLO ISO-L	COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES	APLICACIONES Y COMENTARIOS
HH	ACEITE MINERAL SI ADITIVAR	
HL	ACEITE MINERAL CON ADITIVOS ANTIOXIDANTES Y ANTICORROSIVOS	
HM	ACEITE TIPO HL CON MEJORADORES DE DESGASTE	HIDRAULICOS EN GENERAL, INCLUIDO ALTAS PRECIONES
HR	ACEITE TIPO HL CON MEJORADOR I.V.	
HV	ACEITE TIPO HM CON MEJORADOR I.V.	MINERÍA Y MARINA
HS	FLUIDO SINTÉTICO FLAMABLES	POSEEN PROPIEDADS ESPECIALES
HG	ACEITE TIPO HM CON ADITIVOS ANTI STICK-SLIP	MÁQUINA HERRAMIENTA
HFAE	EMULSIONES DE ACEITE EN AGUA	NORMALMENTE CONTIENEN MAS DEL 80% DE AGUA
HFAS	SOLUCIONES QUÍMICAS EN AGUA	NORMALMENTE CONTIENEN MAS DEL 80% DE AGUA

HFB	EMULSIONES DE AGUA EN ACEITE	
HFC	SOLUCIONES DE POLÍMEROS EN AGUA	MENOS DEL 80% DE AGUA
HFDR	FLUIDO SINTÉTICO SIN AGUA, BASADO EN ÉTER FOSFÓRICO	SALUD Y MEDIO AMBIENTE
HFDS	FLUIDO SINTÉTICO SIN AGUA, BASADO EN HIDROCARBUROS CLORADOS	SALUD Y MEDIO AMBIENTE
HFDT	FLUIDO SINTÉTICO SIN AGUA, BASADO EN MEZCLAS DE HFDR Y HFDS	
HFDU	FLUIDO SINTETICO SIN AGUA, BASADO EN OTROS TIPOS DE COMPUESTOS	

Tabla 13:: tipos de fluidos hidráulicos, clasificados por sus bases y propiedades particulares, según la norma ISO 6743/4

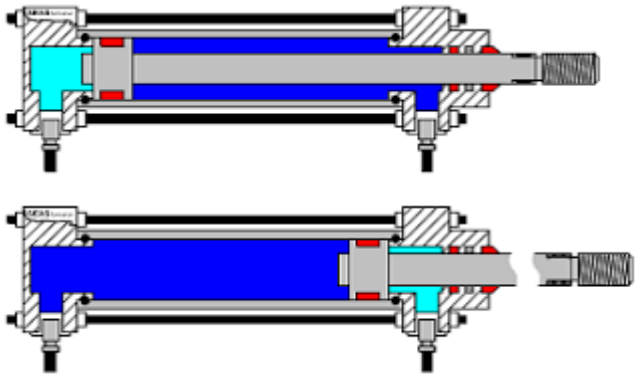


FIGURA 17: ACTUADOR DE DOBLE EFECTO

El fluido que se utiliza en el actuador de seguridad para la máquina es del tipo HM dado que es un aceite flexible en uso, que cuidará la instalación y con sus debidos filtros no tendrá problemas.

La configuración de éste actuador es de doble efecto (véase fig. 17), Es decir que el fluido puede entrar en una de las dos entradas que el pistón tiene, para mover el vástago hacia afuera o hacia adentro.

CÁLCULOS EN LOS PISTONES HIDRAULICOS [11]:

- PARA LAS FUERZAS DE COMPRESIÓN DEL CILINDRO (Fc):

$$Fc = \frac{0.785 * d_1^2 * p}{10^4}[KN] \quad (7)$$

- PARA LAS FUERZAS DE TRACCIÓN DEL CILINDRO (Ft):

$$Ft = \frac{0.785(d_1^2 * d_2^2) * p}{10^4}[KN] \quad (8)$$

Donde:

d_1: Diámetro del émbolo [mm].

d_2: Diámetro del vástago [mm].

p: presión del servicio.

- VELOCIDAD DE SALIDA DEL VASTAGO $\left[\frac{m}{s}\right]$:

$$v = \frac{L}{10^3 * t} \; ; L = carrera\ del\ vástago \quad (9)$$

SISTEMAS DE ACCIONAMIENTO:

Válvulas distribuidoras:

Las válvulas distribuidoras o de control direccional se utilizan para cambiar el sentido de flujo dentro del cilindro, para mover el pistón de un extremo a otro del sistema. [12]

La simbología de estas válvulas está normada en el caso de México por la norma DIN-ISO 1219, y el Comité Europeo de Transmisiones Oleo-hidráulicas y Neumáticas (CETOP) las cuales se presentarán en la siguiente tabla:

ISO 1219 ALFABÉTICA	CETOP NUMÉRICA	FUNCIÓN
P	1	ALIMENTACIÓN
A, B, C	2, 4, 6	VIAS DE TRABAJO
R, S, T	3, 5, 7	ESCAPE O PURGA
X, Y, Z	12, 14, 16	ACCIONAMIENTOS
L	9	FUGA

Tabla 14: SIMBOLOGIA DE LAS VALVULAS SEGÚN LA NORMA DIN- ISO 1219

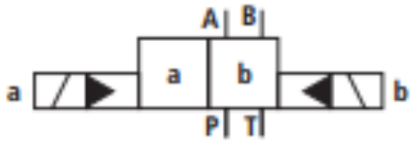


FIGURA 18: Válvula 4/2 accionada por solenoide y presión [http://www.boschrexroth.com/RDSearch/rd/r_24751/rs24751_2008-08.pdf]

En el caso de la aplicación en la que se va a emplear este actuador, la válvula será 4/2, es decir cuatro vías y dos posiciones, como se puede observar en la figura 18, la posición inicial de esta válvula se encuentra en “b”, esta posición inicial permite el ingreso de fluido a un extremo del pistón hidráulico que se empleará mientras que por la otra vía se manda el fluido hacia el tanque, cuando el solenoide “a” se active, la posición de la válvula cambiará a “a”, esto permitirá que la vía que se estaba empleando para la fuga ahora alimentará el extremo vacío del pistón, mientras que el extremo que estaba lleno comenzará a vaciarse yéndose el fluido por la vía que queda disponible.

El accionamiento y retorno de esta válvula es sumamente importante dado que con ello se definirá la posición del pistón de seguridad que tendrá la máquina trituradora de igual forma su accionamiento será únicamente por solenoide si y solo si existe la presión suficiente para que se efectúe el cambio.

SENSORES Y ACONDICIONADORES DE SEÑAL:

Un transductor se puede apreciar como un dispositivo que convierte una señal de forma física, a otra forma física distinta, las cuales pueden ser: mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica y química; cualquier dispositivo

Un sensor por su parte es un dispositivo que se alimenta con una señal física y manda como resultado una señal medible en función a la variable medida, en ocasiones sensor y transductor se emplean como sinónimos pero cabe resaltar que el término sensor sugiere un significado más extenso, dado que éste implica la ampliación de los sentidos para adquirir datos de valores que pueden ser despreciados o no tomados en cuenta por su naturaleza o tamaño, mientras que los transductores sugiere que la señal de entrada y la de salida no necesariamente deben ser directamente proporcionales.

Los acondicionadores de señal, también llamados adaptadores o amplificadores, son un complemento para la señal de salida del sensor electrónico, para que ésta señal pueda ser apta o captada, después ser procesada mediante un equipo o instrumento estándar, estos acondicionadores generalmente se presentan como circuitos electrónicos que ofrecen: filtrado, amplificación, adaptación de impedancias, modulación y demodulación.

Las interfaces son sumamente necesarias dado que la interpretación de datos en el sensor no únicamente termina ahí, sino que es necesario emplear acciones que cambien los valores obtenidos por los sensores hasta obtener el valor o lectura que nosotros deseamos, el término interfaz, en resumen, se define al conjunto de elementos que modifican las señales del sensor.

TIPOS DE SENSORES:

Los sensores se pueden clasificar por diferentes criterios que pueden ser de acuerdo a su aporte de energía, de acuerdo a la señal de salida, y respecto al modo de operación.

Para los sensores clasificados respecto a su aporte de energía están los moduladores y generadores, como pueden ser los termistores y termopares.

Los sensores clasificados respecto a la señal de salida están divididos en analógicos y digitales, como por ejemplo los potenciómetros o algún codificador de posición.

Por último, los clasificados de acuerdo al modo de operación, ya sea de deflexión y de comparación, que pueden ser los acelerómetros de deflexión y el servo-acelerómetro respectivamente.

Desde un punto de vista electrónico, resulta más atractiva la clasificación de sensores de acuerdo al parámetro que varía: resistencia, capacitancia, inductancia, generadores de voltaje, carga o corriente una vez definidas las clasificaciones de los sensores electrónicamente hablando, se definen los parámetros físicos que éstos pueden captar, ya sea posición, distancia, desplazamiento, velocidad, aceleración, vibración, temperatura, fuerza, etc.

Para darnos una idea del mundo que representan los sensores, a continuación, se desglosaran los diferentes tipos de sensores que se pueden encontrar [14].

1. Posición, proximidad o presencia
    1.1. Finales de carrera mecánicos (posición)
    1.2. Detectores de proximidad:
        1.2.1. Inductivos:
            1.2.1.1. Sensibles a materiales ferromagnéticos
                1.2.1.1.1. De contacto auxiliar
                1.2.1.1.2. De bobina
            1.2.1.2. Sensibles a materiales metálicos
        1.2.2. Capacitivos
        1.2.3. Ópticos
            1.2.3.1. Directos
            1.2.3.2. Con fibras ópticas acopladas
2. Desplazamiento o movimiento
    2.1. Medida de grandes distancias
    2.2. Medida de distancias cortas
    2.3. Pequeños desplazamientos
        2.3.1. Resistivos
        2.3.2. Inductivos
        2.3.3. Capacitivos
    2.4. Medidores de ángulos

        2.4.1. Resistivos
        2.4.2. Inductivos
        2.4.3. Capacitivos
        2.4.4. Encoders (incrementales y absolutos)
3. Velocidad
    3.1. Tacómetros
        3.1.1. Mecánicos
        3.1.2. Eléctricos (taco-dinamos y taco-alternadores)
    3.2. Ópticos
4. Presión/ Fuerza
    4.1. Mecánicos
    4.2. Electromecánicos
        4.2.1. Piezoeléctricos
        4.2.2. Resistivos
        4.2.3. Galgas
        4.2.4. Capacitivos
    4.3. Vacío
5. Temperatura
    5.1. Termo resistencias
    5.2. Termistores (NTC y PTC)
    5.3. Termopares
    5.4. Pirómetros de radiación
6. Luz
    6.1. Fotorresistencias
    6.2. Fotodiodos
    6.3. Fototransistores

PROPIEDADES DE LOS SENSORES, TRANSDUCTORES Y CAPTADORES [14]:

RANGO DE MEDIDA: Es la limitación en los rangos mínimos y máximos que se medirán, se recomienda no utilizar no utilizar un sensor para medidas por debajo de 1/10 del máximo valor que se desea medir.

SENSIBILIDAD: Es la pendiente de la curva que relaciona la salida eléctrica con la magnitud física a medir.

RESOLUCIÓN: Es la variación detectable más débil

NO LINEALIDAD: Es la distancia mayor entre la curva de funcionamiento del sensor (en dirección ascendente) y la recta del punto inicial al final de funcionamiento.

HISTÉRESIS: En ocasiones los datos que presenta el sensor al captar la señal física es diferente cuando va en aumento que cuando va en decremento. Y se define como:

REPETITIVIDAD: Cuando la medida se realiza varias veces, la gráfica magnitud-señal eléctrica no siempre pasa por el mismo lugar. La máxima diferencia será el valor absoluto de la repetitividad.

Capítulo III: PARTE DE MANDO

En el campo de la industria se han desarrollado los Controladores Lógicos Programables (PLC), mismos que son dispositivos programables encargados de controlar el funcionamiento normal de los sistemas de producción, aumentando la calidad del producto final o mejorar los servicios que proporcionan estos equipos. Los PLC en la industria automotriz, no quedan exentos en el aumento de su utilización dado que gracias a estos dispositivos se pueden realizar diferentes tipos de tareas.

Cualquier sistema automatizado está formado por tres partes importantes, claramente diferenciadas que son [15]:

1. Parte operativa o proceso que se desea controlar.
2. Parte de control o controlador utilizado para gobernar la parte operativa.
3. Interfaz entre operador y sistema automatizado.

En el siguiente capítulo se hará un estudio de la parte de mando o de control que logre cubrir los requerimientos para la automatización de la planta piloto que se utilizará para triturar material de hierro nodular.

FUNCIONES BASICAS DE LOS PLC´s

Entre las funciones básicas de un PLC se pueden destacar las siguientes:

- Detección: Esta función se encarga de leer las señales provenientes de los captadores distribuidos por el sistema.
- Mando: Éste elabora y envía las acciones al sistema las cuales se realizan por medio de los accionadores y pre actuadores.
- Dialogo Hombre Maquina: Éste mantiene un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando del estado del proceso.
- Programación: Permite el ingreso de un programa que contiene una secuencia lógica del funcionamiento que existe en el proceso.

Una vez definidas estas características importantes del PLC, hoy en día podemos utilizar nuevas funciones existentes en los PLC´s, mismas que se han perfeccionado con el paso del tiempo las cuales son:

Redes de comunicación: Permiten comunicación con otras partes de control, así mismo las redes industriales permiten la comunicación e intercambio de datos de diferentes PLC´s en tan solo milisegundos.

Sistemas de supervisión: Hoy en día los controladores permiten comunicarse, además del ser humano, con computadoras provistas de programas de supervisión industrial.

Control de procesos continuos: Los PLC´s llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos, mismos que disponen de módulos de entrada y salida para señales analógicas, así como la posibilidad de ejecutar algoritmos PID, mismos que ya están precargados en dicha computadora [16].

Entradas/ Salidas distribuidas: Los módulos de entrada- salida no necesariamente están en el armario del controlador. Pueden estar distribuidos por la instalación y se comunican con la unidad central del PLC mediante un cable dispuesto para este fin.

Auto sintonización de parámetros PID: Esta función brinda la posibilidad al PLC de obtener de manera automática los parámetros necesarios para llevar a cabo un óptimo control PID, estos parámetros se almacenan en direcciones de memoria y se actualizan contantemente.

PARTES IMPORTANTES DEL PLC

Un PLC es un quipo autónomo y compacto que internamente está distribuido por diferentes áreas o secciones las cuales son:

- Unidad Central de Procesos (CPU)
- Sección de entradas
- Sección de salidas
- Unidad de alimentación
- Unidad de programación
- Periféricos
- Módulo de comunicaciones
- Memoria.

FUNCIONAMIENTO DE UN PLC

Partiendo de que un PLC, sea el que sea, esté provisto de alimentación eléctrica, sus modos de funcionamiento básicos son los siguientes:

- STOP: Es este modo de funcionamiento no se ejecuta el programa de control.
- RUN: En este modo de funcionamiento el programa de control se está ejecutando de manera indefinida hasta que el PLC pasa al modo Stop o se desconecta de la alimentación.

Este último modo de funcionamiento, evidentemente, es el más importante ya que cuando el controlador se encuentra en este modo se ejecuta un “ciclo scan” mismo que consta de cuatro pasos los cuales son los siguientes:

1. Lectura de las entradas del PLC.
2. Ejecución del programa de control.
3. Escritura sobre las salidas del PLC.
4. Tareas internas del PLC.

LENGUAJE DE PROGRAMACION DE UN AUTÓMATA PROGRAMABLE

La programación de un autómata programable consiste en el establecimiento de una sucesión ordenada de instrucciones que resuelven una determinada tarea de control [16].

Un programa es el conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos reconocibles por el controlador, a través de su unidad de programación, que le permiten ejecutar la secuencia de control deseada.

El lenguaje depende del controlador empleado y de su fabricante, el cual decide el tipo de unidad de programación y el intérprete que utiliza su máquina. Asimismo el modelo de representación depende del usuario, que lo elige según sus necesidades o conocimientos.

ESTANDAR IEC 611131-3

CONSTITUCIÓN:

Este sistema normalizado internacional recopila estándares referentes a autómatas programables y sus periféricos asociados, misma que consta de ocho partes, las dos primeas partes especifican y establecen las características y requisitos de los equipos tanto para los PLC´s así como sus periféricos asociados, la tercera parte define los elementos básicos de programación; es decir, las reglas sintácticas y semánticas para los lenguajes de programación, entre los cuales, como se mencionó en párrafos anteriores , figuran los de diagrama de contactos, diagrama de bloque de funciones, lenguajes textuales de lista de instrucciones y texto estructurado. De igual modo norman los medios por los cuales los fabricantes pueden expandir o adaptar estos conjuntos básicos de programación a sus propias implementaciones en los controladores lógicos programables. Por otra parte las partes cuarta y quinta de este estándar contienen un reporte técnico que proporciona una vista general, así como guías de posible aplicación del estándar para los usuarios que requieran este estándar, también define el tipo de comunicación entre los controladores y otros sistemas electrónicos utilizando el "Manufacturing Message Specification" (MMS, acorde al ISO/IEC9506) [17]. Resulta interesante la parte siete de este estándar ya que define los elementos básicos de programación en lógica difusa para su uso en este tipo de controladores. Y por último la octava parte que proporciona una guía para los desarrolladores de software (hablemos específicamente de CODESYS) para los lenguajes de programación definidos en la tercera parte del estándar que lo norman.

La norma IEC 61131-3 pretende ser la base para la normalización de los lenguajes de programación en la automatización industrial, dado que muchas empresas que cuentan con sistemas de control cerrados y poco flexibles y con programación compleja, lo cual significa costos elevados para la persona o empresa que trabaje con ese tipo de dispositivos [17].

IMPLEMENTACIONES:

El hecho de cumplir los requerimientos de la norma IEC 61131-3 implica una complejidad muy grande, es por ello que se permiten implementaciones en los softwares para facilitar un poco más los requerimientos, pero cabe aclarar que el usuario debe tener cuidado para la elección del software porque en ocasiones la actualización de éste puede dar lugar a un nivel muy alto de trabajo.

Muchos de los entornos de programación con la norma IEC actuales ofrecen una interfaz amigable para el usuario, desde el uso del ratón, pasando por menús desplegables y pantallas de programación gráfica, hasta ventanas de ayuda en línea y verificación durante el diseño. Puntualizando que esta ayuda que ofrecen los desarrolladores no está especificada en la norma por lo que ésta cambia dependiendo de los proveedores.

Es por eso que el uso de la norma IEC 61131-3 genera numerosos beneficios para tanto usuarios como programadores dado que la adopción de este estándar varía dependiendo de las áreas de aplicación, además de la reducción de costes en recursos humanos, formación mantenimiento en consultoría, también evita la inflexibilidad de los softwares, y la conjunción de lenguajes de programación que son mayormente conocidos y utilizados en el sector industrial dejando abierta la posibilidad de variar únicamente el entorno gráfico y de ayuda al usuario para que los desarrolladores de software se distingan uno de otro.

DISEÑO DE UN SISTEMA CON PLC:

A la hora de realizar el diseño de un sistema con PLC se deben seguir ciertos pasos con el objetivo de garantizar un buen diseño, mismos pasos se describirán a continuación:

- Determinar que debe hacer el sistema controlado, cuando y donde.
- Determinar el tamaño requerido por el sistema es decir, si será suficiente con una CPU o será necesario un adaptador de enlace para utilizar más de una.
- Asignar, sobre papel, todos los dispositivos de entrada y de salida a los puntos E/S.

- Utilizando un lenguaje de programación, escribir un programa que represente la secuencia de operaciones necesarias y su relación.
- Escribir en el PLC el programa y todos los datos necesarios.
- Depurar el programa para eliminar errores de sintaxis y para localizar errores de ejecución.
- Cablear el PLC a los sistemas controlados
- Probar el programa en una situación real de control.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PLC´s:

No todos los autómatas ofrecen las mismas ventajas, esto es debido, principalmente, a la variedad de los modelos existentes en el mercado y las innovaciones técnicas que surgen constantemente. Producto de tales consideraciones es necesario hacer referencia a las ventajas que proporciona un controlador de tipo medio [18].

Ventajas:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de los proyectos.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin necesidad de cambiar el cableado ni añadir dispositivos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía en el mantenimiento.
- Posibilidad de manejar varios dispositivos con un mismo controlador.
- Menor tiempo para la puesta de funcionamiento.
- Si por alguna razón el sistema de producción queda fuera de servicio, el PLC sigue siendo útil para otro sistema.

Como se ha mencionado en ocasiones las empresas no se animan a adquirir un PLC dado que, a opinión suya, éstos presentan costos excesivos para su mantenimiento e instalación sin tomar en cuenta las ventajas que se han mencionado en el párrafo anterior, para que esto sea más visual, a continuación se

presentaran dos tablas, las cuales compararán costos en cuanto a instalaciones con relés y contactores de manera “clásica” enfrentado contra los costos para un PLC.

SISTEMA AUTOMATIZADO POR RELÉS				
#	**DESCRIPCIÓN**	**CANTIDAD**	**COSTO (PESOS MEXICANOS)**	**Total**
1	Contactor	100	600	60000
2	Relé térmico	47	700	32900
3	Relé auxiliar	52	250	13000
4	Temporizador (on delay)	47	800	37600
5	Contador electromecánico	3	400	1200
6	Pulsadores NA/NC	36	150	5400
7	Selector	10	200	2000
8	Seccionador	16	400	6400
9	Lámpara de señalización	24	180	4320
10	Fusible y porta-fusible	140	250	35000
11	Transformador aislador	3	1500	4500
12	Tablero 2200 x 100 x 500 mm	3	8000	24000
Total				**226 320**

SISTEMA AUTOMATIZADO POR PLC

#	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO (PESOS MEXICANOS)	Total
1	PLC	1	35000	**35000**
2	Contactor	100	600	**60000**
3	Relé térmico	47	700	**32900**
4	Pulsador NA/NC	36	1510	**54360**
5	Selector	10	200	**2000**
6	Seccionador	16	400	**6400**
7	Lámpara de señalización	24	180	**4320**
8	Fusible y porta-fusible	140	250	**35000**
9	Transformador aislador	1	1500	**1500**
10	Tablero 1000 x 500 x 200	1	1500	**1500**
Total				**184 320**

Tabla 15: COSTO DE SISTEMAS AUTOMATIZADOS CON PLC VS SISTEMA DE CONTACTORES (CONVERSIÓN DE MONEDA DEL 2015)

Desventajas:

En la realización de un proyecto, cuando se tienen cuenta cualquiera de las tecnologías del PLC existentes, no se piensan en muchos inconvenientes dado que estos dispositivos son muy ventajosos, sin embargo, un inconveniente puede ser la falta de un programador, lo que obligaría a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido. El costo inicial también puede ser uno de los inconvenientes presentes a la hora de la realización de un proyecto que requiera de esta tecnología, pero a largo plazo el costo se ve redituable en el instante en que se decida emplear otra lógica de programación e incluso una aplicación al sistema automatizado.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PLC:

La selección de un PLC como sistema de control depende de las necesidades del proceso de producción que se desea automatizar, considerando puntos importantes que son: fuente de alimentación, unidad de procesamiento central, entradas y salidas discretas, entradas y salidas analógicas, módulos inteligentes, lenguaje de programación, sistema de configuración, y soporte técnico; las características antes mencionadas, se desglosaran a continuación [19].

FUENTE DE ALIMENTACIÓN Para la fuente de alimentación es necesario tener presente los siguientes datos técnicos:

- Nivel de tensión nominal: (Vn)
- Potencia admisible. Expresado en (W)
    - Frecuencia de la red valor nominal: (50/60 Hz)
- Capacidad de entrada y salida
- Índice de protección (IP...)
- Condiciones ambientales
        - Temperatura: (°C)
        - humedad (% sin condensación)

UNIDAD DE PROCESAMIENTO CENTRAL (C.P.U.) Del mismo modo, cuando se selecciona la CPU, debemos tener presente:

- La capacidad de memoria total: (Kb)
        - Interna RAM: (Kb) o (instrucciones).
        - Módulos de memorias: EPROM/EEPROM
- Tiempo de ejecución (SCAN TIME)
        - De cada operación binaria: (µs)
        - De cada operación tipo palabra: (µs)
        - De una operación mixta: 35% binarias + 65% palabras (µs)
- Tiempo de vigilancia de ciclo
- Cantidad de E/S digitales

- Cantidad de E/S analógicas
- Cantidad de memorias internas
    - Total remanentes y no remanentes
- Cantidad de temporizadores
- Cantidad de contadores
    - Reloj-calendario
    - Algoritmo de regulación PID

ENTRADAS DIGITALES: Al seleccionar los módulos de entrada, es conveniente tener presente:

- La cantidad de entradas digitales
- El tipo de corriente AC/ DC
- El nivel de tensión nominal (V)
- La intensidad de corriente (mA)
- La temperatura ambiente admisible (°C)

Es recomendable usar entradas digitales en DC por razones de seguridad y económicas en lugar de entradas en AC.

SALIDAS DIGITALES: Del mismo modo para las salidas discretas:

- La cantidad de salidas digitales
- El tipo de corriente AC/ DC (Tipo: transistor, relé o triac)
- El nivel de tensión
- Capacidad admisible de corriente

MÓDULOS INTELIGENTES Se tienen de diferentes tipos tales como:

- Módulo de temporizadores.
- Módulo de contadores.
- Módulo de regulación PID.
- Módulo de posicionamiento.
- Controlador de motores paso a paso.
- Módulos de comunicación, etc.

LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN Cada fabricante tiene su propio lenguaje de programación, cuya representación varía de acuerdo a la marca.

SOPORTE TÉCNICO Esta parte es de gran importancia, ya que el fabricante o distribuidor debe dar toda la garantía para una máxima disponibilidad del equipo y del servicio del futuro; para ello debe disponer de repuestos: la totalidad de las partes y accesorios de preferencia también de catálogos y manuales, así como del servicio técnico de mantenimiento y programación, asesoramiento en caso de ser requerido.

SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN: CODESYS

DESCRIPCIÓN GENERAL:

CoDeSys es uno de los sistemas de programación del estándar IEC 61131-3 más conocidos para PLC´s y reguladores industriales. Este software permite programar autómatas de diferentes fabricantes, así como generar programas para algunos microprocesadores y DSPs.

Easy CoDeSys es un software destinado a la creación de los programas el cual tiene diferentes menús de trabajo (fig. 19) mismos que a continuación se describirán:

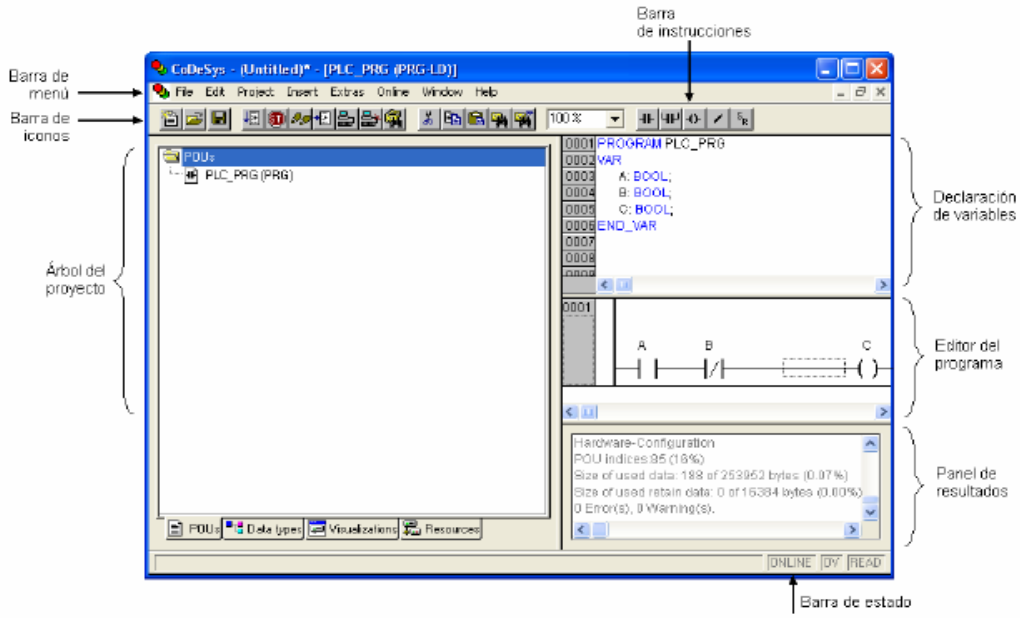


Figura 19: Ventana general del programa CoDeSys. [CoDeSys V2.3.9 provided by festo]

Barra de menú: permite realizar diferentes funciones como recuperar o guardar programas, opciones de ayuda, etc., dicho de otra manera, es la barra con las funciones elementales que contiene un software actual.

Barra de instrucciones: misma que permitirá, a través de pestañas y botones acceder de forma rápida a las instrucciones más utilizadas del lenguaje que se está empleando.

Panel de resultados: en este aparecen los errores en la programación que surgen cuando se verifica el proyecto realizado. Cuando se hace doble clic en el error, el cursor se sitúa sobre la ventana del editor específicamente en el error.

Declaración de variables: en esta ventana aparecen las variables que se están utilizando en el programa, así como los temporizadores, contadores entre otros. Es imperativo declarar la naturaleza de la variable que se está utilizando.

Editor del programa: contiene el texto o el esquema, según el lenguaje utilizado entre los 5 lenguajes que CoDeSys tiene disponibles.

Barra de estado: Nos permite visualizar el modo de trabajo del procesador. Ya sea online u offline. En el primer caso la palabra ONLINE se pone en negrita y se puede visualizar enseguida cual es el autómata que se está utilizando.

Árbol del proyecto: esta ventana está situada en la izquierda de la pantalla de la figura 19, donde en la parte inferior dispone de cuatro pestañas, cada una de las cuales tiene una función diferente, mismas que se mencionaran a continuación:

- POUs (program Organization Unit): cada uno de estos elementos consiste en una parte de declaración y un cuerpo. En caso que se deseen agregar POUs al proyecto que se está utilizando, se debe incluir la librería standard.lib.

- Data types: en este apartado el usuario puede definir sus propios tipos de datos.
- Visualización: CoDeSys ofrece al usuario visualizaciones de modo que el mismo pueda mostrar las variables de su proyecto.
- Resources: aquí se ayuda el usuario a configurar y organizar los elementos del proyecto.

Capitulo IV: PROPUESTA

Para realizar una propuesta de solución coherente a la problemática presentada en el proceso de fundición, es necesario definir las características principales de los actuadores y pre-actuadores así como del PLC, el puto anterior se ha definido en los capítulos antecesores a este para así dar pie a la realización de un estudio de mercado para encontrar el que cubra con las características definidas anteriormente y así pueda realizar un trabajo óptimo.

En el siguiente capítulo se plasmarán aquellos dispositivos seleccionados de acuerdo a los requerimientos de la máquina, así como sus características principales y por qué han sido elegidos como propuesta.

INSTRUMENTACIÓN:

MOTOR:

Una vez definidas las características que necesitamos para que el motor pueda mover la máquina, así como las características eléctricas, mecánicas y el ambiente en que éste se va a desenvolver, se optó conveniente la utilización de un motor trifásico con rotor en cortocircuito de bajo consumo, ya que el motor trifásico con rotor en cortocircuito, o conocido comúnmente como jaula de ardilla, representa un 80% en el uso industrial; es decir, la mayoría de los motores utilizados para cualquier aplicación dentro de la industria son propiamente los de jaula de ardilla cumpliendo de esta manera la teoría de la oferta y demanda, además de la utilización común en este tipo de motores los costos de instalación y mantenimiento son mínimos, los motores de bajo consumo además presentan un ahorro significativo para quien lo instala ya que este significa un gasto redituable a corto plazo ya que se presentan ahorros energéticos y ayudan de igual manera al medio ambiente.

Suponiendo que del 100% del costo total del motor de bajo consumo, se divide en dos partes, un 3% en su instalación y mantenimiento, y un 97% en pagos energéticos en un motor que trabajara 3000 horas al año durante 20 años, esto traducido en gastos, representa un gran ahorro para las empresas que utilizan motores de bajo consumo.

Para este tipo de motores se encuentran diferentes marcas, con diferentes complementos para dichos motores, la mayor parte de ellos con características similares, sin embargo resultó particular el motor SIEMENS 1LE1 el cual se destaca de los demás dado que éste presenta 6 sondas de temperatura incorporadas para alarma y desconexión, este sistema de protección, para la aplicación en la que se va a utilizar, es sumamente importante ya que con estas sondas se hará el sensado de temperatura en los motores, además de estas sondas, cuenta con un freno de disco trifásico que se puede alimentar de 220 o 440V, la carcasa es cerrada completamente (protección IP55), este motor tiene una potencia de 0 a 15 kW que es alrededor de 0 y 20 HP lo cual lo hace útil para la aplicación que nosotros buscamos, con aislamiento clase F lo cual permite trabajar a temperaturas normales de entre 0 y 155°C, caja de conexiones laterales (tipo F1), y su montaje es horizontal, ya sea con bridas o con patas, las normas que rigen a este motor son la UL, CCC, PSE, CSA y la NOM.

Dado que necesitamos invertir el giro de los motores, es necesario un driver que permita la realización de esta tarea, para éste driver se propone un Emerson Comander SK mismo que cuenta con 4 entradas digitales, ya sea para activar/reiniciar, dar marcha adelante o hacia atrás, y poner una velocidad referencial, así mismo cuenta con 2 entradas analógicas y 1 salida analógica.

En cuanto a seguridad ambiental y conformidad eléctrica cuenta con las siguientes características:

- IP20 (NEMA 1)
- Juegos de conductos disponibles para montaje en pared
- Temperatura ambiente de -10 °C a 40 °C
- Inmunidad electromagnética de conformidad con EN61800-3, EN61000-6-1 y EN61000-6-2
- Humedad máxima del 95% (sin condensación)
- Las emisiones electromagnéticas cumplen la norma EN61800-3 (segundo entorno) de serie. Cumple con las normas genéricas EN61000-6-3

(residencial) y EN61000-6-4 (industrial) con el filtro CEM opcional en superficie de contacto.

Dado que se requiere reducir costos en la electricidad se propone de igual manera un arrancador electrónico, estos arrancadores electrónicos presentan las ventajas de arranques y paradas suaves, además que no desgastan al motor con arranques sin esfuerzo y evitan fluctuaciones en los voltajes de la línea, la mayor parte de los arrancadores electrónicos presentan detección de fallas en el motor y protección a la sobrecarga de los motores.

Además de estas características el arrancador TeSys modelo U de Schneider Electric ® presenta protección contra cortocircuitos y sobrecargas térmicas, lo cual es un punto a nuestro favor ya que el motor, como se mencionó anteriormente, cuenta con sensores de temperatura, mismos que pueden presentar lecturas y estas a su vez pueden ser captadas de igual manera por el arrancador electrónico. Facilita el conexionado ya que ocupa 3 entradas en los bornes del motor en lugar de 6, también presenta una vigilancia en cuanto a tiempo de utilización y la cantidad de fallas, cuenta con módulos de comunicación por bus en serie o paralelo, y tiene una velocidad de comunicación con el PLC de 19200 bit/s.

Con estos dispositivos será posible el control del motor, a que dirección girará así como su frenado tanto de emergencia como de seguridad.

ACTUADOR DE SEGURIDAD:

El actuador de seguridad que se utilizará para la automatización de la máquina trituradora será un actuador de doble efecto, las marcas no varían mucho en cuanto a las características de diámetros y presión de servicios, el actuador propuesto es un BOSCH CG210, mismo que cuenta con flexibilidad de diámetros en el pistón, mismos que son de 40 a 200 mm, y diámetro de vástago de 40 hasta 200 mm. La presión de servicio también varía de los 63 a los 250 bares. El actuador cuenta con amortiguación final para evitar desgastes mecánicos, y tiene 16 métodos de fijación.

El dimensionado y sujeción del cilindro hidráulico está estandarizado por la norma ISO 6022, utilizados para aplicaciones industriales de alta exigencia, de igual

manera el actuador que se propone es un cilindro de serie HL, HM, de diámetro 80mm, diámetro de vástago 50mm, carrera 450mm, fijación por charnela trasera fija, amortiguación delantera, juntas normales y orificios de alimentación en cara en ambas partes.

La viscosidad del tipo de aceite está normalizada por la norma DIN 51524, el cual admitirá una temperatura de -20°C a 80°C.

En cuanto a la válvula de distribución también será un BOSCH tipo 4WEH pilotado por presión y dos solenoides en cada extremo, la presión máxima de trabajo son los 280 bar en cada una de sus vías, el rango de temperaturas tanto para el pistón como para la válvula es de -30 hasta 80°C lo cual entra en el rango de trabajo general de la máquina y su sistema de seguridad, el grado máximo admisible de impurezas del fluido está definido por la norma ISO 4406 cuya clase debe ser 20/18/15.

Las normas en la electroválvula, por mencionar algunas son: la superficie mecanizada de válvula; posición de las conexiones están normadas según ISO 4401-05-05-0-05 y NFPA T3.5.1 R2-D05, superficie mecanizada de válvula; posición de las conexiones normadas según ISO 4401-07-07-0-05 y NFPA T3.5.1 R2-D0710.3, superficie mecanizada de válvula; posición de las conexiones según ISO 4401-08-08-0-05 y NFPA T3.5.1 R2-D0810.4, superficie mecanizada de válvula; posición de las conexiones según ISO 4401-10-09-0-05 y NFPA T3.5.1 R2-D10.

SENSORES

SENSOR DE FINAL DE CARRERA:

Para que el pistón hidráulico propuesto cumpla con las necesidades del sistema se necesita conocer la posición en la que se encuentra, por ende es necesario un sensor de final e inicio de carrera, con el cual se sabrá su posición, el sensor propuesto es un Allen-Bradley modelo 871D tipo inductivo, lo cual reducirá el desgaste mecánico que se presenta en los interruptores mecánicos de final de carrera, ya que este sensor detecta cuerpos metálicos sin tener contacto con ellos,

mismo sensor está disponible para trabajar a CA o CC, de igual forma el sensor cuenta con la capacidad de, una vez fijado, girar 300° esto se logra fijando el cuerpo del sensor en un sitio con un tornillo de tope en la brida de montaje, cuenta con protección de cortos circuitos y falsas detecciones así como eliminación de ruido, la capacidad de repetición es del 5%, todas los sensores de esta marca cumplen con los estándares IEC IP67 para envolventes y están marcadas por el mercado CE para todas las directivas aplicables.

SENSOR DE SEGURIDAD OPTICO:

Para garantizar la seguridad de los operarios durante el funcionamiento de la máquina trituradora, se han propuesto las cortinas fotoeléctricas de SIEMENS modelo SIGUARD 3RG78 mismas que proporcionan protección optoelectrónicos activos (AOPD), los cuales protegen al personal operador evitando que éste se acerque a la máquina, además tienen la gran ventaja que no presentan desgastes mecánicos comparados con las alfombras sensibles.

Una cortina fotoeléctrica está constituida de un emisor y un receptor dispuestos en forma paralela, los cuales hacen funcionar un número determinado de diodos emisores y receptores, éste número es directamente proporcional a la distancia y resolución que se deseé emplear, los diodos emisores mandan breves impulsos luminosos los cuales son recibidos por los diodos receptores.

Las funciones integradas para esta cortina fotoeléctrica son:

- Bloqueo de arranque/re arranque
- Control de contactores
- Tres tipos de cegado:
    - Fijo
    - Flotante
    - Resolución reducida
- Configuración por aprendizaje con llave opto magnética.
- Conexión en cascada con dispositivos maestros y esclavos
- Pantalla de 2 a 7 segmentos

- Diferentes tipos de salida, ya sea por transistor, de relé o de conexión AS-interface.

Las propuestas escritas anteriormente para la parte operativa dan pie a continuación a la propuesta, que, a mi consideración, es de suma importancia para lograr nuestro objetivo, es a saber, la parte de mando, con lo cual se realizara una propuesta de marca y modelo del PLC dependiendo directamente de las entradas y salidas que hayamos tomado en cuenta para el sistema automatizado

CONTROLADOR LOGICO PROGRAMABLE:

Como se mencionó en el capítulo anterior, es necesario conocer toda la información que el autómata procesará, es decir las señales de información que entraran y las decisiones o salidas que el autómata tendrá que controlar. Con lo cual a continuación se presentará una tabla que describirá cada una de las señales de entrada y salida definidas para nuestro sistema automatizado.

Con el objetivo de conocer las señales que influirán en la elección del PLC, además de definir las entradas y salidas también se puede observar de forma visible el tipo de señal que se utilizara (digital, analógica).

ENTRADAS	SALIDAS
Botón de inicio (bi)	Banda de alimentación (banda)
Botón de paro (paro)	Motor derecho derecha (d1)
Celda fotoeléctrica (ss)	Motor derecho izquierda (i1)
Sensor de temperatura (X2) (st1-st2)	Motor izquierdo derecha (d2)
Sensor final de carrera (f2)	Motor izquierdo izquierda (i2)
Sensor inicio de carrera (f1)	Solenoide de inicio (z1)
	Solenoide de retorno (z2)

Tabla 16: ENTRADAS Y SALIDAS EN EL SISTEMA AUTOMATIZADO

Una vez identificadas el número de entradas y de salidas de nuestro sistema podemos elegir un controlador lógico programable.

Dado que nuestro sistema no presenta un número de entradas y salidas muy grande se optó por utilizar un PLC modular el cual tiene la ventaja de extender el número

de entradas y salidas que éste presenta en caso de que se desee realizar algún otro proceso en paralelo además del que se está realizando.

Cabe resaltar que la programación se realizó con los estándares de la norma IEC 61131-3 mediante CoDeSys misma que tiene una amplia gama de marcas y modelos de PLC´s dado que este software nació y creció con el respaldo de muchas empresas que unieron fuerzas, entre las cuales están ABB, Shneider Electric, Festo, por nombrar algunas.

De la amplia gama de marcas de PLC´s compatibles con CoDeSys se realizó un pequeño filtro el cual constaba de la compatibilidad de versión del software obteniendo así los PLC que tengan la posibilidad de trabajar con CoDeSys V3 en caso que se necesite o se desee realizar una actualización de software obteniendo las siguientes marcas: Berghof Automationstechnik, Bosch Rexroth, Datawatt, Eaton, Hitachi, Lenze y Schneider, siendo este último el PLC el elegido como propuesta por las siguientes características.

PLC SCHNEIDER ELECTRIC MODICON M258

Se eligió este autómata en virtud del alto rendimiento que el controlador lógico M258 presenta con un procesador de doble núcleo, dándole a uno de ellos la tarea exclusiva de la gestión de las tareas y al otro a la ejecución de tareas de comunicación, además tiene una velocidad de ejecución de 22 ns. para dar una instrucción booleana, a diferencia de algunos otros PLC´s que tienen una velocidad de ejecución de hasta 60 ns.

La comunicación de este PLC es muy variada partiendo desde Ethernet con protocolos Modbus, así como UTP, TCP y SNMP. Además, cuenta con un servidor web y un servidor FTP integrados, aparte de la dirección predeterminada MAC, es posible asignarle una dirección IP al controlador a través de un servidor DHCP o BOOTP.

El puerto serie también está presente en este modelo de PLC, mismo puerto se puede configurar para ser utilizado con dos protocolos de comunicación mismos que son:

- Modbus ASCII/RTU maestro o esclavo
- Cadena de caracteres (ASCII).

La visualización en este PLC permite ver el estado del controlador, si está en “stand by”, o el programa está en ejecución, la batería etc., también permite visualizar el estado de los puertos de comunicaciones.

Cuenta también con un módulo de alimentación a 24 V. con un bornero extraíble y una pestaña de bloqueo, así como un bloque de visualización en los estados de las E/S y ranura para porta etiquetas.

Otra de las ventajas que presenta este controlador lógico a comparación de otros es que cuenta con un conector USB-A y un mini-conector USB-B, siendo el primero de ellos para la conexión de una memoria USB la cual pretenda transferir programas, datos o actualizaciones del firmware, mientras que el mini-conector permite la conexión al PC de programación.

PARTES COMPLEMENTARIAS

BOTONERA:

En gran escala de producción, ya no se accionan más grandes palancas mecánicas sino que el procedimiento se convirtió en automatismo de forma electromecánica por medio de prácticas botoneras, de un pulsador o botón, o bien de una serie de ellos.

Los botones suelen ser de plástico como policarbonato, aunque también pueden ser de metal, y se ensamblan en cajas especiales en las que se combinan los pulsadores.

Las botoneras industriales se usan en la fabricación de máquinas, herramientas, ascensores, soldadoras industriales, bombas, iluminaciones generales, e instalaciones eléctricas en general. También se las ha usado en investigaciones con animales en psicología experimental o bien en programas de preguntas y respuestas en televisión.

Las botoneras pueden ser opacas o luminosas, en este último caso siendo un híbrido entre operador de señalización y comando al mismo tiempo.

Existen botoneras con pulsador para golpes de puño o para accionar con el dedo, otras botoneras tienen accionamiento mediante cerradura, que operan como selectores de eventos. Otro tipo de botonera industrial es la que tiene retención, generalmente con un pulsador protegido (para no oprimir el botón accidentalmente).

La botonera que se emplea es un conjunto montado o en otras palabras una estación ensamblada con dos botones pulsadores de la marca Allen Bradley ®, la estación ensamblada está hecha de acero inoxidable y como se mencionó anteriormente es con botones operadores con protección, capaces de aguantar 30 A. durante su funcionamiento.

El botón es de tipo 800H-2HA4T estandarizado por la norma IEC AC-15 la cual especifica que para un voltaje nominal de 0 a 120 V el botón soportara hasta 30 A.

Los botones contenidos en la estación ensamblada, son pulsadores montados al ras, mismos que serán: uno normalmente abierto para el botón de inicio, y uno normalmente cerrado para el botón de paro.

PROGRAMACIÓN CON CODESYS

Como se vio en capítulos anteriores el estándar IEC 61131-3 soporta cinco diferentes lenguajes de programación, CoDeSys por su parte, al ser programado para el mismo estándar, también soporta cinco lenguajes de programación.

Para la programación del PLC que se utilizará, se hará mediante esquema de contactos o de tipo LADDER. En este lenguaje, la tarea que debe realizar el autómata se representa gráficamente como un esquema de contactos.

Este lenguaje está especialmente indicado para:

- Facilitar el cambio de un sistema de control de una instalación realizado con relés a un PLC.

- Hacer más fácil el diseño de sistemas de control con autómatas programables a los técnicos que están habituados a diseñar sistemas de control con relés.

FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

El sistema funcionará con un botón de inicio el cual activará el sistema solamente si nuestro sensor de seguridad no detecta ninguna presencia, el sensor de inicio carrera esta encendido y presionado el botón de inicio, tanto nuestra banda de alimentación se activará, como los motores giraran en sentido contrario; es decir, el motor con el eje fijo girara hacia la izquierda y el motor con el eje móvil girará hacia la derecha para que de este modo se logre triturar el material que se está introduciendo entre ellos, definiendo de ésta forma el estado normal de la máquina.

Cuando lo anterior este sucediendo los sensores de temperatura incorporados a los motores de la máquina trituradora estarán monitoreando la temperatura de los mismos (definimiento este estado como sensado de temperatura) y en caso de que la temperatura de los dos motores esté fuera del rango permitido durante un periodo mayor a los 3 segundos, entonces se desactivarán los motores tanto de la banda de alimentación como los de la máquina trituradora, activándose automáticamente los frenos y el cambio de giro en los motores de la máquina trituradora durante cinco segundos para expulsar el materia que se haya atorado, una vez terminados estos cinco segundos el sistema regresa a su estado normal, en caso que nuestro sensado de temperatura registre tres cambios de sentido de giro, entonces se desactivará toda la maquina dando pie a nuestro estado de expulsión, el cual consta de la activación de una electroválvula, misma que sacará un actuador hidráulico el cual moverá el eje del motor que no esté acoplado al bastidor para liberar el material que esté causando problemas, un pistón hidráulico regresará a su posición de casa cuando el final de carrera sense la presencia del pistón, cuando el mismo ya se encuentre en su posición de casa el sistema volverá a su estado normal.

Nuestro sistema se detendrá en caso de que se presione el botón de paro de emergencia o se detecte una presencia en el área dedicada únicamente para la máquina.

Se realizó un diagrama de flujo el cual describirá de una forma más compacta la lógica del sistema, mostrando las variables que influyen y la toma de decisiones.

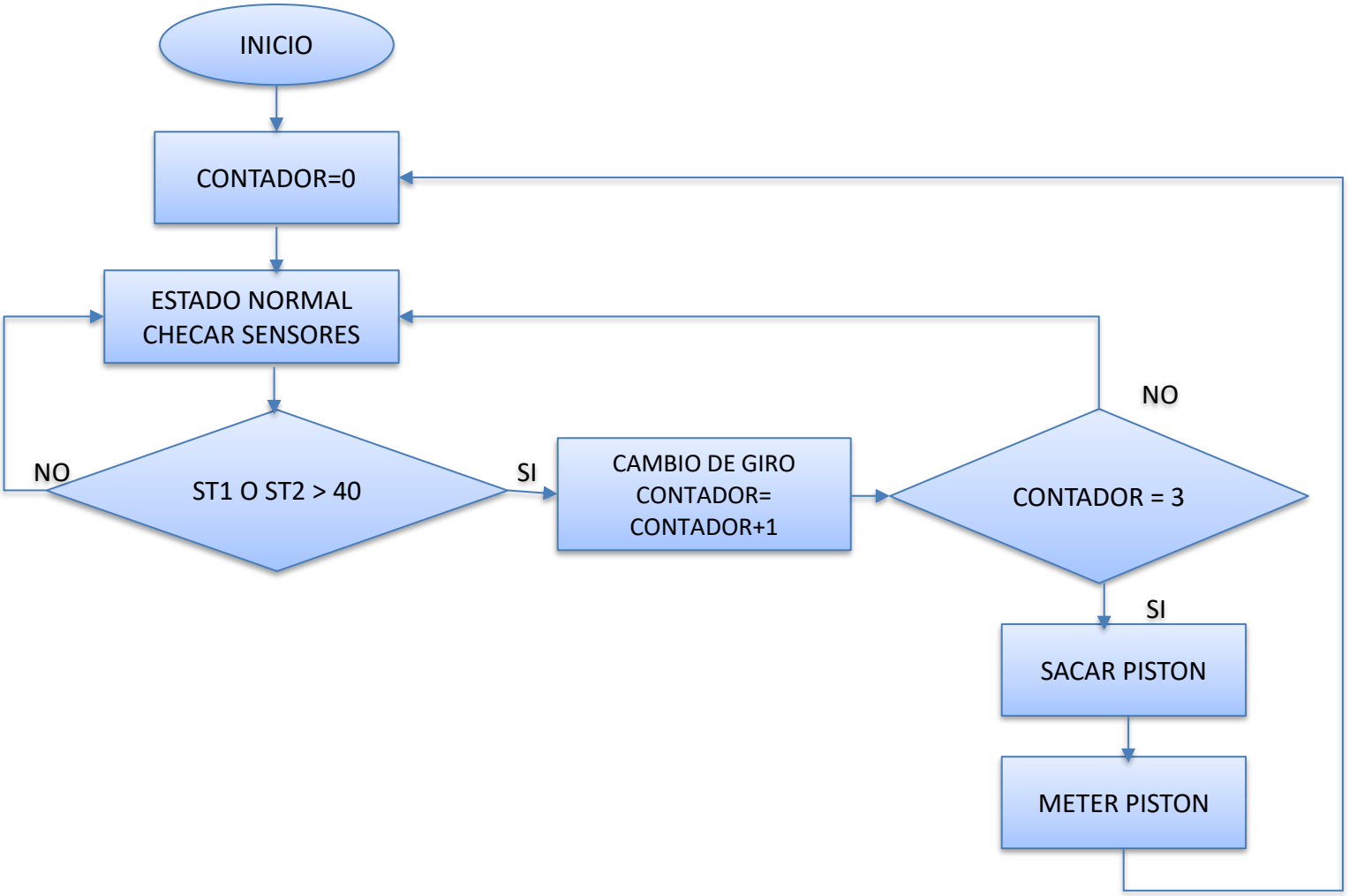


FIGURA 20: Diagrama de flujo del sistema

Para simplificar aún más el proceso se define en tres estados (véase figura 21), mismos que son:

- S1: Estado normal de la máquina, donde los rodillos giran en dirección opuesta de manera que la línea tangente a ellos converjan, la banda de alimentación estará encendida y el solenoide que activa el ingreso del pistón está encendida.
- S2: Estado de cambio, que es donde la banda de alimentación se detiene y los motores invierten su giro.
- S3: Estado de expulsión, que se refiere a la liberación del material atorado mediante la activación del solenoide de salida del pistón, desactivación del solenoide de entrada de pistón y desactivación de la banda de alimentación.

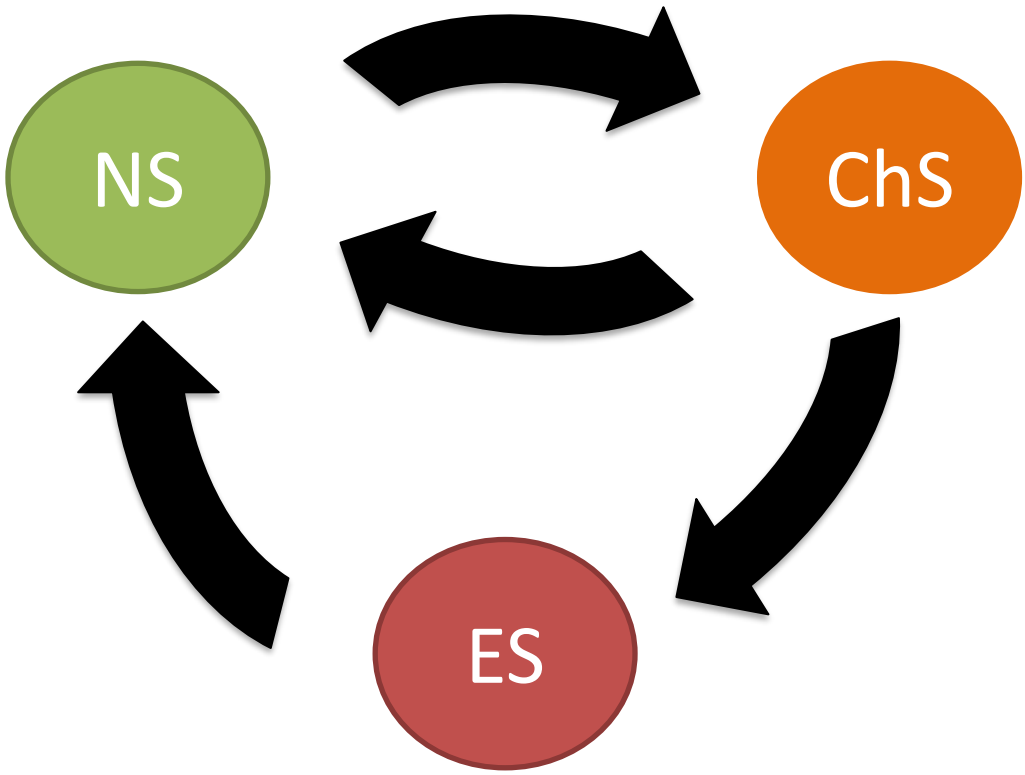


FIGURA 21: Diagrama de estados del sistema.

PROGRAMACION Y ENTREGA DE RESULTADOS:

La programación del sistema mencionado en los párrafos anteriores se realizó con un lenguaje de programación basado en los estándares de la norma IEC 61131-3 y es a saber el lenguaje de programación tipo LADDER, dado que es un lenguaje muy conocido a nivel internacional debido a que maneja diagramas de escalera basados en contactores y relés.

El software de programación como se mencionó anteriormente se realizó en CoDeSys del cual se utilizó el editor de POU´s y el editor de ambientes gráficos, éste último pretende sistematizar toda la lógica del programa (POU) y hacerlo más entendible para las personas que desconozcan el lenguaje de programación utilizado.

A continuación, presentare imágenes de lo que el sistema realizará y los cambios que éste presenta cuando existan problemas.

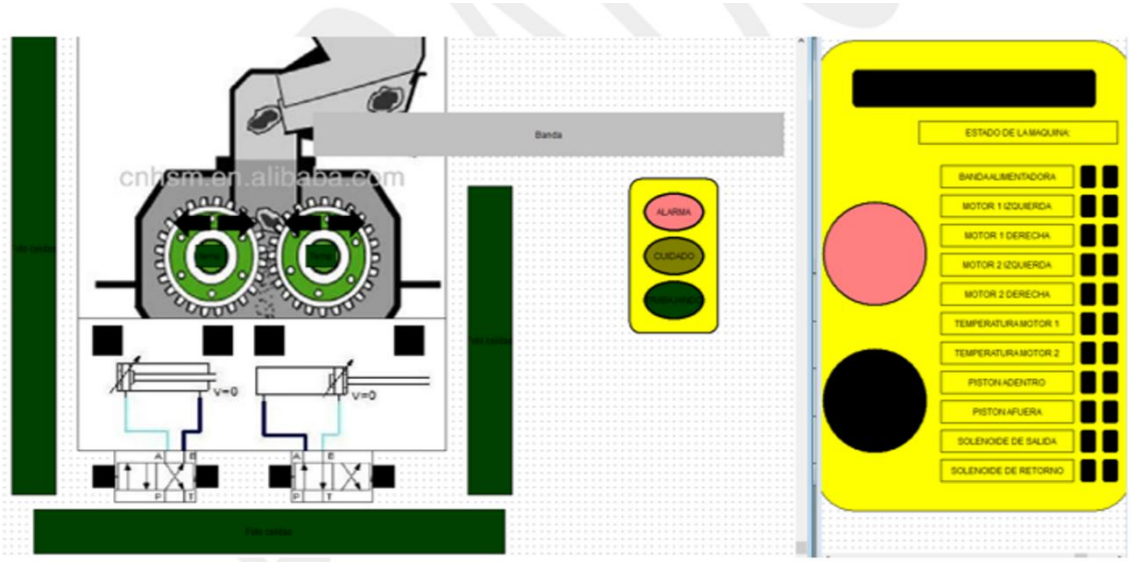


FIGURA 22: estado inicial del sistema

En esta primera imagen se muestra en un entorno grafico a la izquierda la máquina trituradora junto con sus elementos principales, comenzando desde la parte de arriba en un rectángulo gris la banda transportadora, posteriormente la máquina trituradora con las flechas que denotan los sentidos de giro y de bajo de la maquina se muestran dos pistones que ejemplifican la entrada y salida del vástago (para la liberación del material) junto con las electroválvulas, se delimitó el espacio de

trabajo con los rectángulos verdes los cuáles serán las fotoceldas de seguridad, del lado derecho se muestra un mando colgante con botones pulsadores y leds de aviso los cuales notificaran al usuario el estado en que se encuentra la máquina.

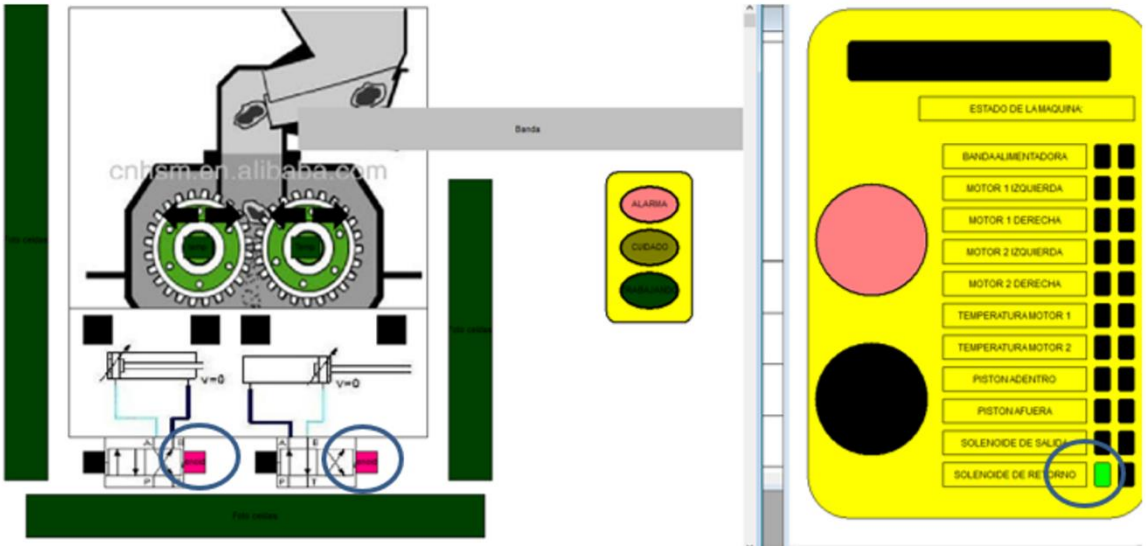


FIGURA 23: estado de preparación de la máquina

En la figura 23 se muestra el estado de preparación de la máquina, con esto logramos que el solenoide que retorna el vástago del pistón hacia adentro logrando así una de las condiciones que se necesitan para el inicio del estado normal o de trituración, que es a saber la activación del sensor de inicio de carrera, para que una vez presionado el botón de inicio, es sistema comience a funcionar, como se puede observar en la siguiente figura.

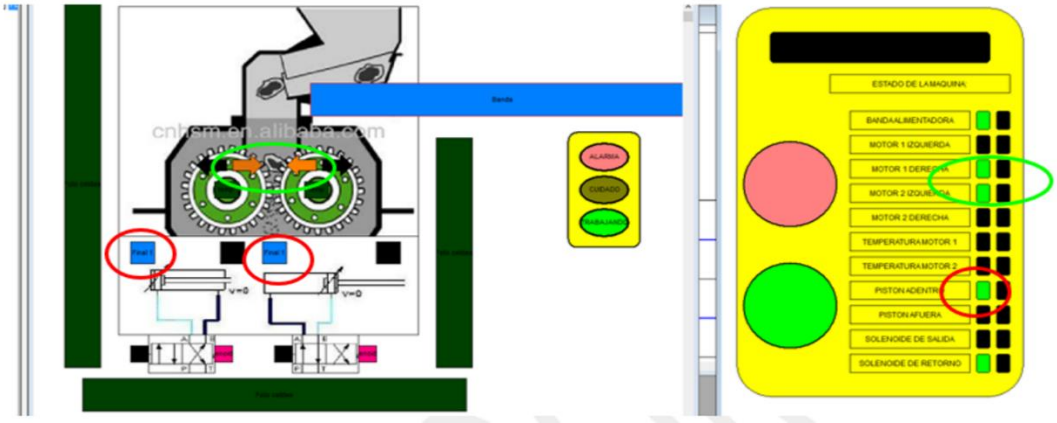


FIGURA 24: Sensor de inicio de carrera activado.

Como se puede observar en la figura 24, una vez presionando el botón de inicio (figura a la derecha, círculo verde), el sistema en su conjunto comienza a funcionar encendiendo los motores (marcador verde) y la banda transportadora.

El sistema estará funcionando normalmente hasta que se presente el problema en la variación de la temperatura en alguno de los dos motores o si se presenta la variación de temperatura en los dos motores, como se puede ver en la siguiente figura donde se indica con una luz que los motores están fuera del rango de temperatura nominal.

Como se puede observar en la figura 25 el motor derecho de la máquina trituradora tiene una temperatura fuera del rango definido, lo cual hará que después de tres segundos de activarse el sensor de temperatura, el sentido de giro de los motores cambiará, como se puede ver en la figura 25, cabe aclarar que la inversión del giro no depende únicamente del sensor de temperatura situado en el motor derecho, por el contrario puede depender del sensor de temperatura situado en el motor izquierdo o del sensor de temperatura del motor derecho e inclusive de ambos motores en caso de que los dos motores tengan una sobrecarga reflejada en sus temperaturas.

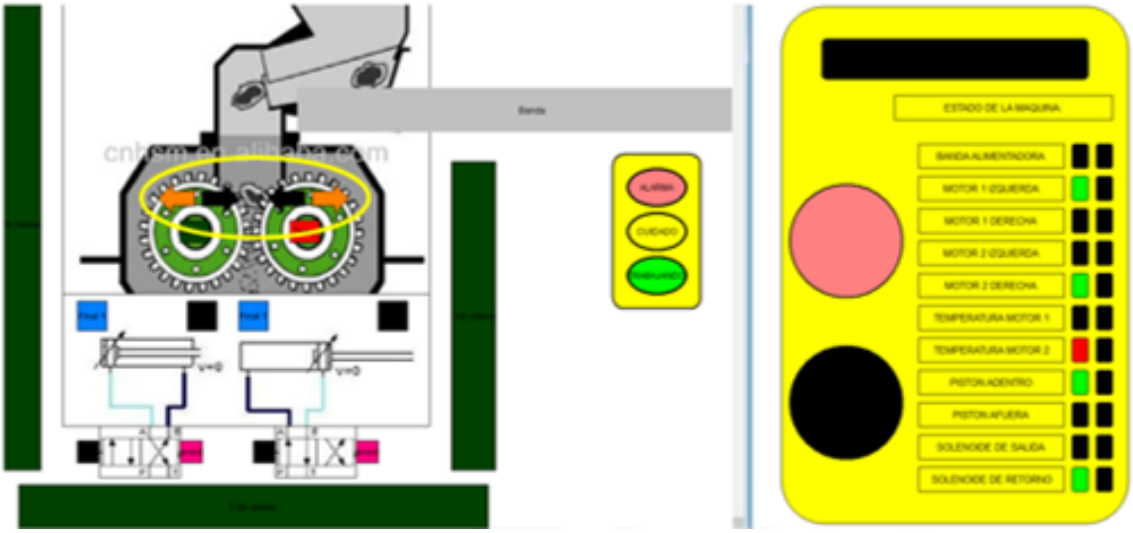


FIGURA 25: Inversión de giro en los motores.

Como se puede observar en la figura 25, la banda transportadora se desactiva y el sentido de giro se invierte durante cinco segundos para poder desatorar el material

que pueda estar atorado, una vez transcurridos los cinco segundos la maquina regresara a su estado normal, en caso que el problema se repita en tres ocasiones se pararán los motores junto con la banda de alimentación para que se active la válvula que sacará el pistón de seguridad como se puede observar en la siguiente figura.

El actuador saldrá desactivando así el sensor de inicio de carrera una vez afuera, se activará el sensor de final de carrera (figura 26) que hará que el pistón retorne a su posición de casa. Todo este estado cuenta con una alarma de seguridad la cual pretende notificar al usuario el estado de liberación del material problemático.

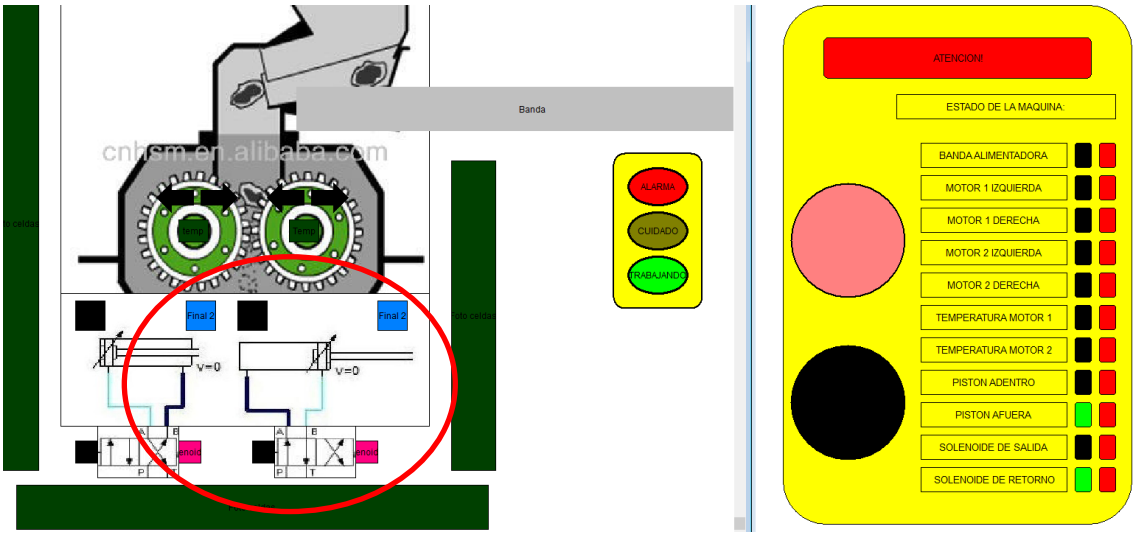


FIGURA 26: Activación de sensor de final de carrera.

Una vez adentro el pistón el sistema vuelve a comenzar su estado normal como se muestra la siguiente figura siguiente.

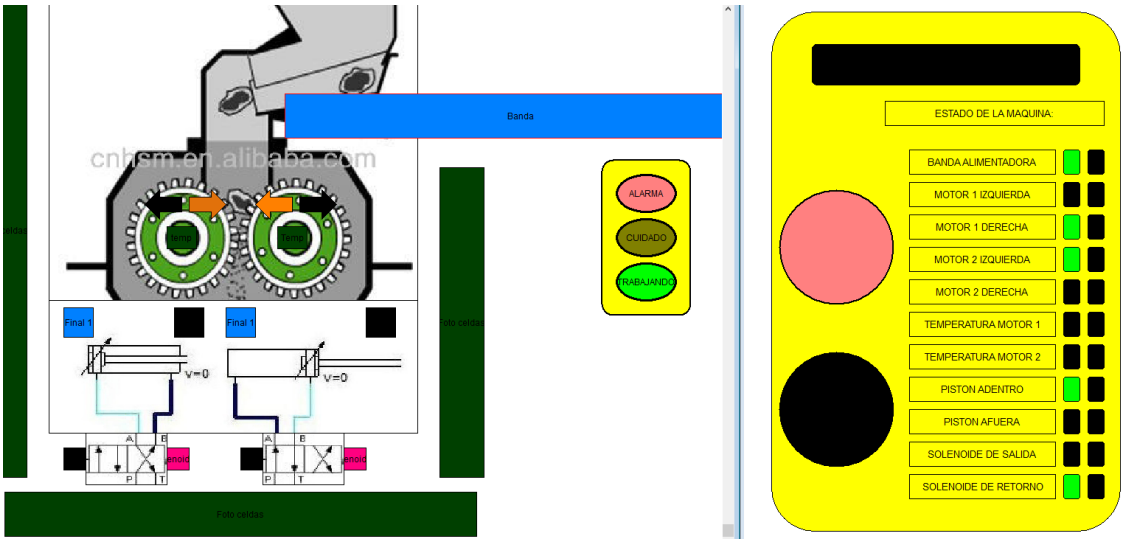


FIGURA 27: Activación de sensor de final de carrera para regresar al pistón a su posición de casa.

Las únicas dos maneras de que el proceso se pare es presionando el botón de paro ubicado en la botonera, o invadiendo el espacio de trabajo que delimita el perímetro de la máquina trituradora.

Con esto se da una posible solución al problema presentado por Rassini Frenos, puntualizando que el trabajo elaborado se realizó basándose en las normas que define tanto leguajes de programación como propiamente el sistema.

Capítulo V: CONCLUSIONES

- Se lograron cumplir satisfactoriamente los objetivos planteados en un inicio, permitiéndonos realizar la investigación de cada una de las partes que forman parte del sistema, así como conocer más a fondo cada una de éstas partes para lograr definir un sistema automatizado.

- La programación se basa en lenguaje LADDER el cual esta estandarizado por la norma IEC 61131-3 y por ende en caso de que se ponga en marcha dicha propuesta no existirá problema alguno con entidades que regulen las empresas.

- Se logró realizar un entorno visual de la programación para que la programación en LADDER sea entendible para personas que desconozcan del tema, logrando así un ambiente más amigable.

- La programación del sistema se puede modificar para trituradoras que tengan únicamente un rodillo o un motor en lugar de dos, simplificando dicha programación y reduciendo costos.

- Como se explicó en capítulos anteriores, la viabilidad de los sistemas automatizados mediante un PLC es mayor a los sistemas automatizados con relés y contactores, logrando ahorros en espacio, electricidad, económicos, etc.

REFERENCIAS

[1] G. Aguirre Esponda, *Diseño de elementos de máquinas*. MÉXICO, Editorial Trillas, 1990.

[2] A. Hall, A. Holowenko, *Teoría y compendios de diseño de máquinas.* MÉXICO, Editorial Mc. Graw Hill, 1977.

[3] Robert L. Norton, *Diseño de maquinaria, síntesis y análisis de máquinas y mecanismos,* 5a edición, MÉXICO, Mc Graw Hill, 2009.

[4] V.S. Shubin C. Pedre, *Diseño De Maquinaria Industrial*. La Habana, CUBA, Editorial Pueblo Y Educación, 1977.

[5] Capitulo Virtual *"Motores eléctricos"* Editorial Mc. Graw Hill. Accessed April 2015. http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf

[6] J. Roldán Viloria, *Motores eléctricos: variación de velocidad*, 2ª edición. MÉXICO Editorial: Thomson-Paraninfo, 2002.

[7] R. Smeaton, *Motores eléctricos: selección, mantenimiento y reparación.* MÉXICO, Editorial McGraw-Hill, 1991.

[8] C. Londoño Parra, J. Ramírez Echavarría, *"Normas de Eficiencia Energética de Motores de Inducción, ¿Está Preparada Latinoamérica?"*, en Revista Tecno Lógicas. ene-jun2013, Issue 30, p117-147. 31p.

[9] J. R. Viloria, *Motores eléctricos: automatismos de control,* 9ª ED. MÉXICO, Editorial Paraninfo, 2005.

[10] J. R. Viloria, Arranque y protección de motores trifásicos. MÉXICO, Editorial Paraninfo, 2005.

[11] A. S. Nicolás, *Oleohidráulica.* MÉXICO, Editorial: Mc Graw-Hill, 2002.

[12] F. R. Ravell, *Oleohidráulica básica: diseño de circuitos.* ESPAÑA, Editorial: Alfaomega, 1999.

[13] A. C. Solé, *Neumática e Hidráulica*. ESPAÑA, Editorial: Marcombo, 2012.

[14] R. P. Areny, *Sensores y acondicionadores de señal.* ESPAÑA, Editorial: Marcombo, 2004.

[15] U. O. García, E. R. Miranda, D. O. Montiel, *Controladores lógicos programables*. MÉXICO Editorial Trillas, 2009.

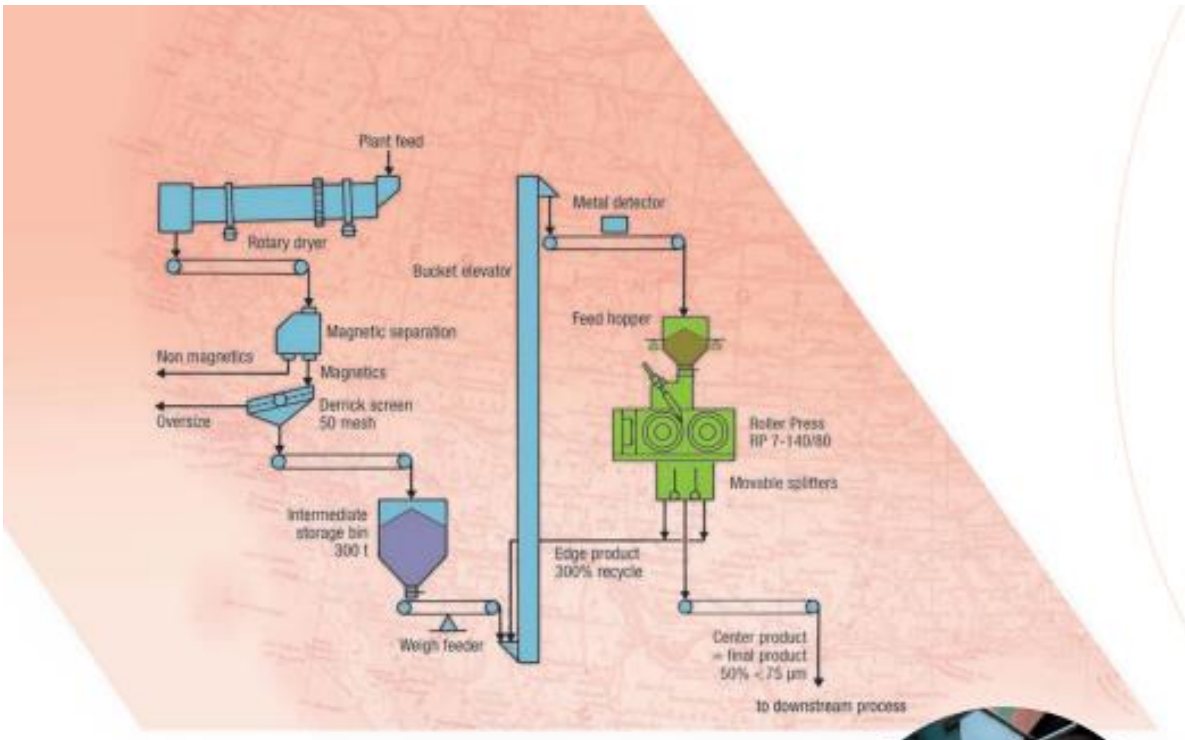
[16] E. M. Pérez, *Autómatas programables y sistemas de automatización*. ESPAÑA, Editorial Marcombo, 2009.

[17] Articulo web "Introduccion al estandar IEC 61131-3" Accessed June 2015 http://www.infoplc.net/files/documentacion/estandar_programacion/infoPLC_net_Intro_estandar_IEC_61131-3.pdf

[18] N. E. Tugues, "*Redes de PLC"*, Trabajo final de grado http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012628/40189-3452.pdf, 2005

[19] Articulo web "*Criterios para seleccionar un PLC*", Accessed December 2012, http://www.instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/automatizacion/curso-de-plcs-avanzado/item/676-criterios-para-selecionar-un-plc.html

MÁQUINA TRITURADORA (KHD_RollerPress_Minerals_span.pdf)



EE. UU.: Prensa de Rodillos 7-140 / 80 para la trituración de pellet feed de minerales de hierro

Diseño y datos de proceso	
Empresa / ubicación:	Iron Dynamics Inc. / Butler, Indiana
Diámetro del rodillo:	1,400 mm
Anchura del rodillo:	800 mm
Material alimentado:	Pellet feed de mineral de hierro
Humedad alimentada:	1 %
Tamaño máximo alimentado:	2 mm
Aumento de la finura:	50 % <75 µm
Capacidad:	400 t/h
Consumo energ. espec.:	<1.75 kWh/t
Fuerza esp. de prensado:	5 N/mm² (máx.)
Tamaño del motor:	2 x 670 kW
Vida útil revestimiento con estoperoles:	8,500 horas de operación

MOTOR
(http://www.motology.co.th/download/motors/(4)%20Catalog%20New%20Motor%201LE1.pdf)

© Siemens AG 2008

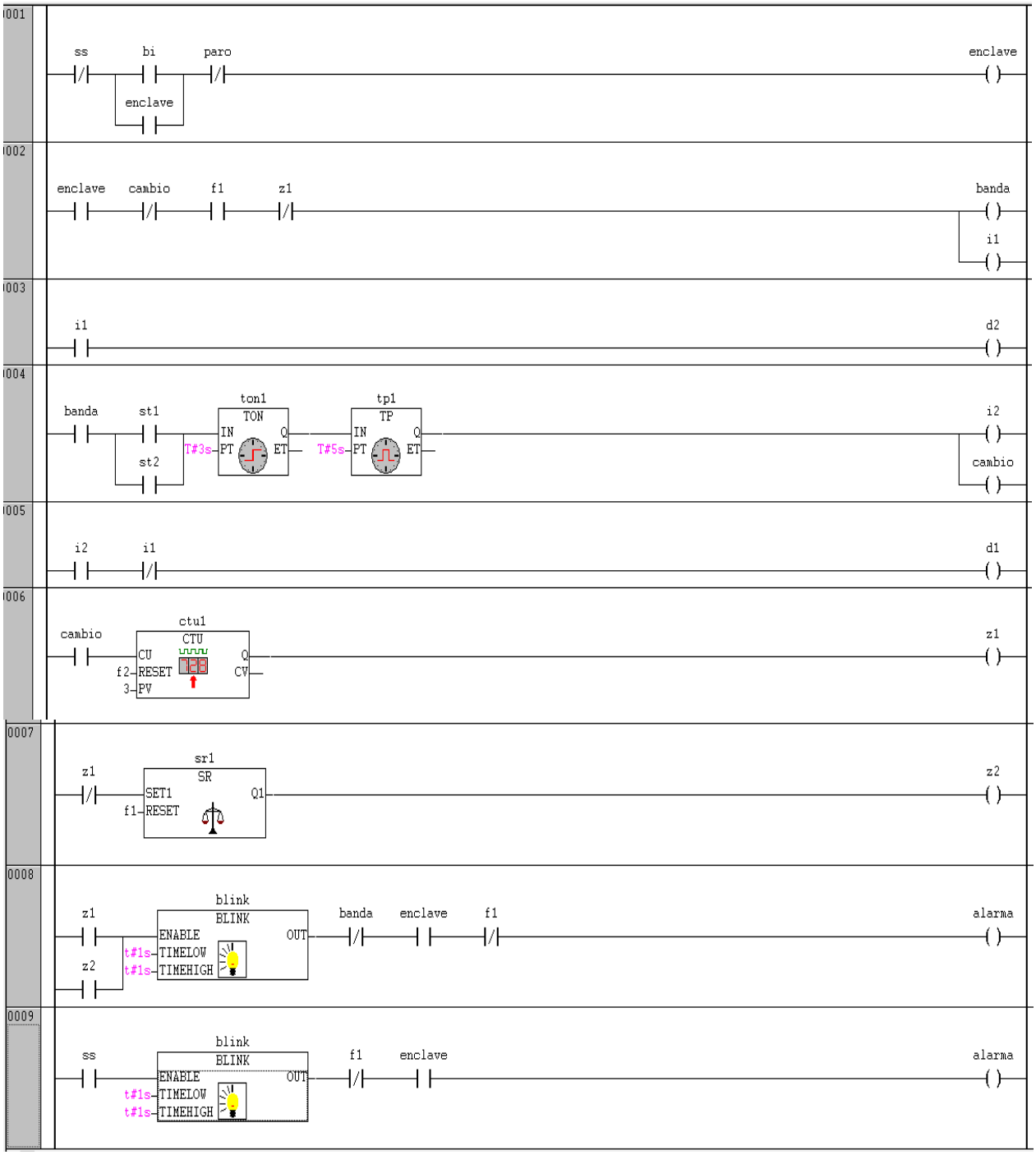
1

New Generation 1LE1/1PC1

1/2	**Orientation**
1/2	Overview
1/3	Benefits
1/4	Application
1/4	Technical specifications
1/5	Selection and ordering data
1/7	More information
1/8	**General Line motors with shorter delivery time**
1/8	Selection and ordering data
1/18	**Self-ventilated energy-saving motors with improved efficiency**
1/18	Selection and ordering data
1/22	**Self-ventilated energy-saving motors with high efficiency**
1/22	Selection and ordering data
1/30	**Self-ventilated motors with increased output and improved efficiency**
1/30	Selection and ordering data
1/34	**Self-ventilated motors with increased output and high efficiency**
1/34	Selection and ordering data
1/38	**Forced-air cooled motors without external fan and fan cover with improved efficiency**
1/38	Selection and ordering data
1/42	**Forced-air cooled motors without external fan and fan cover with high efficiency**
1/42	Selection and ordering data
1/46	**Self-cooled motors without external fan and fan cover with improved efficiency**
1/46	Selection and ordering data
1/50	**Self-cooled motors without external fan and fan cover with high efficiency**
1/50	Selection and ordering data
1/54	**Special versions**
1/54	Selection and ordering data
1/54	• Voltages
1/55	• Options
1/64	**Accessories**
1/64	Overview
1/64	More information
1/65	**Dimensions**
1/65	Overview
1/67	More information
1/68	Dimensional drawings

SENSOR DE SEGURIDAD:

VARIABLES DEL PROGRAMA

```
PROGRAM PLC_PRG
VAR
	s1: BOOL;
	m1: BOOL;
	ss: BOOL;
	bi: BOOL;
	f1: BOOL;
	banda: BOOL;
	i1: BOOL;
	i2: BOOL;
	d2: BOOL;
	d1: BOOL;
	paro: BOOL;
	st1: BOOL;
	st2: BOOL;
	cambio: BOOL;
	ton1: TON;
	tp1: TP;
	enclave: BOOL;
	ctu1: CTU;
	z1: BOOL;
	f2: BOOL;
	z2: BOOL;
	sr1: SR;
	sr2: SR;
	centro: BOOL;
	R_TRIG: R_TRIG;
	alarma: BOOL;
	F_TRIG: F_TRIG;
	BLINK: BLINK;
	sr3: SR;
	luz: BOOL;
END_VAR
```

PROGRAMACION LADDER