

**DISEÑO DE HERRAMIENTAS POKA YOKE PARA LA MEDICION DE NIVELES
DE SILO**

MARIA ANGELICA SALCEDO HERNANDEZ

OSCAR ADOLFO ACEVEDO LOPEZ

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL SEDE DUITAMA

DUITAMA

2020

**DISEÑO DE HERRAMIENTAS POKA YOKE PARA LA MEDICION DE NIVELES
DE SILO**

MARIA ANGELICA SALCEDO HERNANDEZ

OSCAR ADOLFO ACEVEDO LOPEZ

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

Director

ING. JAIME TRUJILLO MANRIQUE

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO

FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL SEDE DUITAMA

DUITAMA

2020

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Duitama

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme la oportunidad de poder culminar esta etapa de mi vida, dándome sabiduría y disciplina, permitiéndome culminar mis estudios profesionales y el presente trabajo de investigación; a mis padres por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años para poder culminar exitosamente mi formación profesional; a mi hermano Wilson salcedo agradecimiento infinito por su incondicional apoyo económico, moral, su cariño, su motivación y su ejemplo para poder cumplir todas mis metas; a mis hermanas, cuñados, sobrinos y demás familiares, que me brindaron sus palabras de aliento y su apoyo en todo momento.

De igual forma agradezco muy especialmente a mi compañero de tesis Oscar Adolfo Acevedo López, por su apoyo durante toda la carrera y especialmente en este trabajo para poder culminar satisfactoriamente esta etapa de nuestras vidas; a la universidad Antonio Nariño, a todos mis docentes, al Administrador Industrial Luis Felipe Amaya por habernos brindado todo su apoyo y colaboración, a nuestro director el Ingeniero Jaime Trujillo por todo su apoyo, a mis amigos y compañeros de carrera que de alguna u otra forma me brindaron su apoyo.

María Angélica Salcedo Hernández

Llegar hasta este punto de mi carrera bajo el acompañamiento de tantas personas maravillosas, que me respaldaron, apoyaron y motivaron en cada uno de los pasos que he dado en mi formación académica es gracias a Dios y a la vida, me es imposible nombrar a todas aquellas personas que formaron parte de esta etapa de mi proyecto de vida, no obstante para con ellas solo guardo en mi sentimientos de gratitud.

Agradezco a la Universidad Antonio Nariño y todos los docentes que aportaron activamente a la persona que soy hoy en día, al Ingeniero Jaime Trujillo y Luis Felipe Amaya, quienes nos brindaron su apoyo y colaboración, indispensable para el desarrollo del presente proyecto.

A mi padres Rodolfo Acevedo Duarte y Martha Lucia López Amezquita por inculcarme los principios y valores que me llevan a ser una mejor persona día a día, A mis hermanos Luis Rodolfo Acevedo López y Ywberth Edicson Acevedo López por sus invaluable consejos además de ser mi mayor ejemplo a seguir, De igual manera a mis cuñadas Adriana Panader y Julieth Cardozo por sus palabras tan pertinentes en los momentos más necesarios.

Agradezco sinceramente a mi compañera de tesis María Angélica Salcedo Hernández, por tantas horas de trabajo y momentos vividos durante toda la carrera así mismo a todos aquellos compañeros y colegas encontrados en el camino.

Oscar Adolfo Acevedo López

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios y a la virgen María por regalarme la vida y cada una de sus bendiciones a lo largo de ella, para que fuera posible culminar exitosamente esta valiosa formación profesional. A mis padres David Salcedo Hernández y María Oliva Hernández Rincón, a mi hermano Wilson Armando Salcedo por ser mis motores de vida y mi motivación para crecer personal y profesionalmente, a mis hermanas Luz Helena Salcedo y Dorelly salcedo por su apoyo constante y a toda mi familia por ser un gran ejemplo para mí.

Dedico muy especialmente este trabajo a la memoria de mi Madrina Aurora Hernández Herrera, quien fue ejemplo de mujer guerrera y luchadora a pesar de todos los obstáculos de la vida, y quien siempre será mi ángel guardián y mi ejemplo para salir adelante.

María Angélica Salcedo Hernández

A mi familia.

Oscar Adolfo Acevedo López

TABLA DE CONTENIDO

| | Pág. |
|--|-------------|
| 1. INTRODUCCION..... | 18 |
| 2. PROBLEMA DE INVESTIGACION | 19 |
| 2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... | 19 |
| 2.2 FORMULACION DEL PROBLEMA..... | 21 |
| 2.3 ALCANCE | 21 |
| 3. OBJETIVOS | 22 |
| 3.1 OBJETIVO GENERAL | 22 |
| 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 22 |
| 4. JUSTIFICACION | 23 |
| 5. MARCO TEORICO..... | 25 |
| 5.1 LEAN MANUFACTURING O MANUFACTURA ESBELTA..... | 25 |
| 5.1.1 Análisis de Desperdicios (Mudas) | 26 |
| 5.1.2 Herramientas Lean Manufacturing | 26 |
| 5.1.2.1 Las 5's | 26 |
| 5.1.2.2 SMED (Cambios rápidos en el proceso)..... | 27 |
| 5.1.2.3 TPM (Mantenimiento Productivo Total) | 27 |
| 5.1.2.4 Mapeo de valor | 27 |
| 5.1.2.5 Trabajo Estandarizado..... | 28 |
| 5.1.2.6 Células de manufactura..... | 28 |
| 5.1.2.7 Justo a tiempo | 28 |
| 5.1.2.8 Heijunka..... | 28 |
| 5.1.2.9 Kaizen..... | 28 |
| 5.1.2.10 Kanban | 28 |
| 5.1.2.11 Jidoka (Automatización con un toque humano)..... | 29 |
| 5.2 POKA YOKE | 29 |
| 5.2.1 Funciones del sistema POKA-YOKE..... | 30 |
| 5.2.2 Técnicas POKA YOKE | 30 |
| 5.2.3 Características de sistemas POKA YOKE | 30 |
| 5.2.4 Sistemas de medición que utilizan los sistemas POKA-YOKE | 31 |
| 5.2.5 Métodos POKA-YOKE..... | 31 |
| 5.2.5.1 Métodos de contacto | 31 |
| 5.2.5.2 Método de pasos | 31 |
| 5.2.5.3 Método de configuración | 31 |
| 5.2.5.4 Método de Control | 32 |

| | |
|---|----|
| 5.2.5.5 Método de Advertencia..... | 32 |
| 5.2.6 Ejemplos de dispositivos POKA YOKE | 32 |
| 5.3 MARCO CONCEPTUAL..... | 33 |
| 5.3.1 Andón..... | 33 |
| 5.3.2 Calidad..... | 33 |
| 5.3.3 Control..... | 33 |
| 5.3.4 Control de calidad | 33 |
| 5.3.5 Silo | 33 |
| 5.3.6 Nivel de silo..... | 33 |
| 5.3.7 Material Granular..... | 33 |
| 5.4 MARCO DE REFERENCIA..... | 34 |
| 5.4.1 Metodología..... | 34 |
| 5.4.2 Resultados..... | 34 |
| 6. METODOLOGIA..... | 35 |
| 6.1 TIPO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN | 35 |
| 6.2 MÉTODO DE ANÁLISIS | 35 |
| 6.3 DISEÑO METODOLÓGICO..... | 36 |
| 6.4 FUENTES DE INFORMACIÓN..... | 37 |
| 6.5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN..... | 37 |
| 6.6 POBLACIÓN | 37 |
| 7. CARACTERIZACION DE PROCESOS DE ALMACENAMIENTO Y CARGA EN SILO..... | 38 |
| 7.1 USOS DE SILOS..... | 38 |
| 7.1.1 Productos químicos..... | 38 |
| 7.1.2 Minería y minerales | 39 |
| 7.1.3 Alimentación y biomasa..... | 39 |
| 7.1.4 Construcción..... | 40 |
| 7.2 TIPOS DE SILO | 40 |
| 7.2.1 Silos aéreos verticales permanentes..... | 40 |
| 7.2.1.1 Silos de torre en hormigón..... | 41 |
| 7.2.1.2 Silos de torre metálicos..... | 42 |
| 7.2.1.3 Silos de torre de tejido | 42 |
| 7.2.1.4 Silos de torre de bajo oxígeno o herméticos..... | 43 |
| 7.2.1.5 Silos cónicos..... | 43 |
| 7.2.1.6 Silos Telescópicos | 43 |
| 7.2.1.7 Silos desmontables..... | 44 |
| 7.2.2 Silos aéreos horizontales | 44 |
| 7.2.2.1 Silos horizontales..... | 45 |
| 7.2.2.2 Silos tipo bunker | 45 |

| | |
|---|----|
| 7.2.2.3 Silos tipo bolsa..... | 45 |
| 7.2.2.4 Silos subterráneos permanentes | 46 |
| 7.3 DETERMINACION DEL PERFIL DE FLUJO | 47 |
| 7.3.1 Flujo de masa..... | 47 |
| 7.3.2 Flujo interno..... | 47 |
| 7.3.3 Marco comparativo de flujos..... | 48 |
| 7.4 INFLUENCIA DEL METODO DE LLENADO | 48 |
| 7.4.1 Llenado distribuido | 48 |
| 7.4.2 Llenado concéntrico | 48 |
| 7.5 FALLAS EN LOS SILOS | 49 |
| 7.5.1 problemas por fallas estructurales..... | 49 |
| 7.5.1.1 Errores de diseño | 49 |
| 7.5.1.2 Errores de usuario | 49 |
| 7.6 PROBLEMAS POR FALTA DE CAUDAL | 50 |
| 7.6.1 Arqueo/ puente | 50 |
| 7.6.2 Ratholing | 50 |
| 7.7 SISTEMAS DE CARGA | 51 |
| 7.7.1 Transportadora mecánica..... | 51 |
| 7.7.2 Transportadora Aero mecánica | 51 |
| 7.7.3 Transportadora con cóclea..... | 52 |
| 7.7.4 Transportadora neumática | 52 |
| 7.7.4.1 Sistema de presión | 52 |
| 7.7.4.2 Sistemas de vacío | 53 |
| 7.7.4.3 Sistemas de presión – vacío..... | 53 |
| 7.7.4.4 Tanque ventilador | 54 |
| 7.7.4.5 Toboganes Y ductos..... | 54 |
| 7.8 SISTEMAS DE VACIADO | 54 |
| 7.8.1 Mangas telescópicas | 54 |
| 7.8.2 Fondo con bandas..... | 55 |
| 7.8.3 Fondo de tornillo..... | 55 |
| 7.8.4 Fondo con cóclea: | 56 |
| 7.9 SISTEMAS DE FLUIDIFICACION..... | 57 |
| 7.9.1 Fondo Vibrante | 57 |
| 7.9.2 Fondo ventilado | 57 |
| 7.9.3 Cañones de aire | 58 |
| 7.9.4 Martillo percutor neumático | 58 |
| 7.10 VALVULAS DE PASO DE MATERIAL..... | 59 |
| 7.10.1 Válvula de mariposa | 59 |
| 7.10.2 Válvula rotativa | 59 |
| 7.10.3 Válvulas guillotinas | 60 |
| 7.10.4 Válvulas tipo bola | 60 |

| | |
|---|----|
| 7.10.5 Válvulas de control de presión | 61 |
| 8. EVALUCION DE LOS METODOS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE PROCESOS DE ALMACENAMIENTO Y CARGA EN SILOS | 62 |
| 8.1 GENERALIDADES DEL CONTROL DE PROCESOS | 62 |
| 8.1.1 Tipos de sistemas de control de procesos | 62 |
| 8.1.1.1 Lazo abierto | 63 |
| 8.1.1.2 Lazo cerrado | 63 |
| 8.1.2 Partes de un sistema de control | 64 |
| 8.2 METODOS DE MEDICION DE NIVEL DE SILOS | 64 |
| 8.2.1 Interruptores de nivel capacitivo | 64 |
| 8.2.2 Interruptores de nivel conductivos | 64 |
| 8.2.3 Interruptores de nivel giratorios | 65 |
| 8.2.4 Interruptores de nivel con ultra sonido | 65 |
| 8.3 MEDIDORES DE NIVEL DE SOLIDOS | 65 |
| 8.3.1 Detectores de nivel de punto fijo | 66 |
| 8.3.1.1 Detectores de diafragma | 66 |
| 8.3.1.2 Interruptores de nivel alto | 67 |
| 8.3.1.3 Medidor capacitivo | 67 |
| 8.3.1.4 Paletas rotativas | 67 |
| 8.3.1.5 Detector de vibración | 68 |
| 8.3.2 Los medidores de nivel continuo | 68 |
| 8.3.2.1 Medidor de nivel de sondeo electromecánico | 69 |
| 8.3.2.2 Medidor de nivel de báscula | 69 |
| 8.3.2.3 Medidor de nivel capacitivo | 70 |
| 8.3.2.4 Medidor de nivel de ultrasonidos | 70 |
| 8.3.2.5 Medidor de nivel de radiación | 71 |
| 8.3.2.6 Medidor de nivel de radar de microondas | 71 |
| 8.3.2.7 Medidor de nivel laser | 72 |
| 8.4 EVALUACION DE MEDIDORES DE NIVEL PARA SOLIDOS | 72 |
| 8.5 SENSORES DE MEDIDA DE NIVEL PARA SOLIDOS | 75 |
| 8.5.1 Interruptor capacitivo compacto | 75 |
| 8.5.2 Interruptor de nivel vibratorio para sólidos granulados | 76 |
| 8.5.3 Interruptor de nivel vibratorio para granulados finos | 76 |
| 8.5.4 Sensor radiométrico para la detección de nivel | 77 |
| 8.5.5 Para sólidos granulados a partir de una densidad de 100 g/l | 77 |
| 8.5.6 Interruptor de nivel vibratorio con cable de suspensión para sólidos granulados | 78 |
| 8.5.7 Interruptor de nivel vibratorio con cable de suspensión para polvos | 78 |
| 8.5.8 Sonda de cable capacitiva para la detección de nivel | 79 |
| 8.5.9 Receptor de microondas para detección de nivel en sólidos y líquidos | 79 |
| 8.5.10 Sensor Rotativo de paleta | 80 |

| | |
|---|-----|
| 8.6 INSTRUMENTOS DE VISUALIZACION | 80 |
| 8.7 EVALUACION DE SENSORES DE MEDIDA DE NIVEL PARA SOLIDOS | 81 |
| 9. DISEÑO DE HERRAMIENTA POKA YOKE PARA LA MEDICION DE NIVELES DE SILO | 83 |
| 9.1 IDENTIFICACION Y EVALUACION DE LOS SILOS TIPO TORRE DE ALMACENAMIENTOS DE SOLIDOS MÁS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA..... | 83 |
| 9.1.1 Silos más comunes | 83 |
| 9.1.2 Partes constitutivas de un silo de torre..... | 84 |
| 9.1.2.1 Casco..... | 84 |
| 9.1.2.2 Cuerpo | 84 |
| 9.1.2.3 Fondo..... | 84 |
| 9.1.2.4 Fondo Cónico o tolva..... | 85 |
| 9.1.2.5 Fondo Plano | 85 |
| 9.2 COMPONENTES DEL DISPOSITIVO POKA YOKE | 85 |
| 9.2.1 Sensor de contacto (innovación por nuevo uso) | 85 |
| 9.2.2 Masa..... | 86 |
| 9.2.2 Guaya 5/16 alma de acero galvanizada con recubierta en plástico | 86 |
| 9.2.3 Poleas..... | 86 |
| 9.2.4 Sensor rotativo (innovación por nuevo uso) | 86 |
| 9.2.5 Controlador Lógico Programable (PLC) | 87 |
| 9.2.6 Motor trifásico 1hp | 87 |
| 9.2.7 Estructuras de soporte | 87 |
| 9.2.8 Cableado | 87 |
| 9.3 TABLERO DASHBOARD..... | 88 |
| 9.3.1 Elaboración de la base de datos | 88 |
| 9.3.1.1 Identificación de variables dimensionales..... | 88 |
| 9.3.1.2 Aplicación de fórmulas para cálculo de magnitudes..... | 89 |
| 9.3.1.3 Programación de celdas | 92 |
| 9.3.2 Elaboración de tablas de equivalencias | 92 |
| 9.3.3 Elaboración y programación de tableros (DASHBOARD)..... | 94 |
| 9.3.4 Prueba piloto | 95 |
| 9.4 DISEÑO FINAL HERRAMIENTAS POKA YOKE | 96 |
| 9.4.1: Representación Grafica..... | 96 |
| 9.4.2 Funcionamiento..... | 97 |
| 9.4.3 Puesta en marcha | 98 |
| 9.4.4 Gestión del riesgo..... | 98 |
| 9.4.5 Presupuesto de las herramientas POKA YOKE | 99 |
| 9.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE MEDICION DEL NIVEL DE SILO CON LAS HERRAMIENTAS POKA YOKE | 100 |
| 10 CONCLUSIONES | 101 |

| | | |
|----|----------------------|-----|
| 11 | RECOMENDACIONES..... | 102 |
| 12 | BIBLIOGRAFIA..... | 103 |
| 13 | ANEXOS | 108 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 1: Materiales granulados manipulados con éxito en la industria química | 39 |
| Tabla 2: Materiales granulados manipulados con éxito en la industria minera..... | 39 |
| Tabla 3: Diferencias funcionales de silos másicos y de flujo interno | 48 |
| Tabla 4: Compendio de características para la selección del medidor de nivel | 73 |
| Tabla 5: Convenciones para matriz de evaluación cualitativa y cuantitativa | 74 |
| Tabla 6: Matriz de evaluación cualitativa y cuantitativa del medidor de nivel..... | 74 |
| Tabla 7: Matriz multicriterios AHP | 82 |
| Tabla 8: Resultados AHP..... | 82 |
| Tabla 9: Presupuesto final de las herramientas POKA YOKE para la medición de niveles de silos..... | 99 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1: Técnicas POKA YOKE | 30 |
| Figura 2: Fases de investigación | 36 |
| Figura 3: Silos aéreos verticales permanentes | 41 |
| Figura 4: Silos de torre en hormigón | 41 |
| Figura 5: Silos de torre metálicos | 42 |
| Figura 6: Silos de torre de tejidos | 42 |
| Figura 7: Silos de torre de bajo oxígeno | 43 |
| Figura 8: silos Cónicos..... | 43 |
| Figura 9: Silos telescópicos | 44 |
| Figura 10: Silos desmontables | 44 |
| Figura 11: Silos aéreos horizontales | 45 |
| Figura 12: Silos tipo Bunker..... | 45 |
| Figura 13: Silos tipo bolsa..... | 46 |
| Figura 14: Silos subterráneos permanentes | 46 |
| Figura 15: Esquema de los tipos de flujo de un silo..... | 47 |
| Figura 16: Métodos de llenado de un silo | 49 |
| Figura 17: Obstrucción de flujo Arqueo / Puente | 50 |
| Figura 18: Obstrucción de flujo Ratholing | 50 |
| Figura 19: Transportadora mecánica | 51 |
| Figura 20: Transportadora Aero mecánica..... | 51 |
| Figura 21: Transportadora en cóclea | 52 |
| Figura 22: Sistemas de presión | 53 |
| Figura 23: Sistema de Vacío | 53 |
| Figura 24: Sistema de presión - vacío..... | 54 |
| Figura 25: Mangas telescópicas | 55 |
| Figura 26: Vector fondo con Banda..... | 55 |
| Figura 27: Vector fondo de tornillo | 56 |
| Figura 28: Fondo con cóclea | 56 |
| Figura 29: Vector fondo vibrante | 57 |
| Figura 30: Vector fondo ventilado..... | 58 |
| Figura 31: Proceso de vaciado con cañón de Aire | 58 |
| Figura 32: Vector de Martillo Percutor Neumático)..... | 59 |
| Figura 33: válvula mariposa..... | 59 |
| Figura 34: Válvula Rotativa..... | 60 |
| Figura 35: Válvula Guillotina | 60 |
| Figura 36: Válvula Tipo Bola..... | 61 |
| Figura 37: Válvula de control de presión | 61 |
| Figura 38: Ejemplo de control de lazo abierto..... | 63 |
| Figura 39: Ejemplo sistema de control de lazo cerrado..... | 63 |
| Figura 40: Medidores de nivel de sólidos | 65 |
| Figura 41: Detector de nivel de punto fijo..... | 66 |
| Figura 42: Interruptores de nivel alto | 67 |
| Figura 43: Paletas Rotativas | 68 |

| | |
|--|-----|
| Figura 44: Detector de Vibración | 68 |
| Figura 45: Medidor de nivel de sondeo electromecánico | 69 |
| Figura 46: Medidor de nivel de báscula..... | 69 |
| Figura 47: Medidor de nivel capacitivo | 70 |
| Figura 48: Medidor de nivel de ultrasonidos | 70 |
| Figura 49: Medidor de nivel de radiación | 71 |
| Figura 50: Medidor de radar | 71 |
| Figura 51: Medidor de laser | 72 |
| Figura 52: Interruptor capacitivo compacto | 75 |
| Figura 53: Interruptor de nivel vibratorio para sólidos granulados..... | 76 |
| Figura 54: Interruptor de nivel vibratorio para granulados finos | 77 |
| Figura 55: Sensor radiométrico para la detección de nivel..... | 77 |
| Figura 56: sensor para sólidos granulados a partir de una densidad de 100 g/l | 78 |
| Figura 57: Interruptor de nivel vibratorio con cable de suspensión para sólidos granulado | 78 |
| Figura 58: Interruptor de nivel vibratorio con cable de suspensión para polvos | 79 |
| Figura 59: Sonda de cable capacitiva para la detección de nivel..... | 79 |
| Figura 60: Receptor de microondas para detección de nivel en sólidos y líquidos | 80 |
| Figura 61: Sensor Rotativo de paleta | 80 |
| Figura 62: conexión inalámbrica de sensores con indicadores incorporados..... | 81 |
| Figura 63: Sensor de contacto..... | 85 |
| Figura 64: Sensor rotativo..... | 86 |
| Figura 65: Diseño final tablero Dashboard..... | 95 |
| Figura 66: Diseño final herramientas POKA YOKE para la medición de niveles de silo ... | 96 |
| Figura 67: diagrama de flujo de proceso de medición del nivel de silo con las herramientas POKA YOKE | 100 |

LISTA DE ANEXOS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Anexo 1: Matriz de evaluación cualitativa y cuantitativa del medidor de nivel | 108 |
| Anexo 2: Iteraciones del AHP | 109 |
| Anexo 3: Áreas y productos de riesgo clase II del código eléctrico colombiano – (NTC 2050) | 112 |
| Anexo 4: Ficha técnica sensor de contacto VEGAPOINT 31 | 113 |
| Anexo 5: Ficha Técnica sensor rotativo Soliswithc fte 20 | 114 |
| Anexo 6: planos de identificación de variables | 115 |
| Anexo 7: Base de datos inicial del tablero Dashboard | 116 |
| Anexo 8: Tabla de pesos específicos y ángulos de rozamiento interno de algunos materiales..... | 117 |
| Anexo 9: Base de datos con formulación de volumen y capacidad | 118 |
| Anexo 10: Tablas de equivalencias..... | 119 |
| Anexo 11: procedimiento de cálculo de equivalencias del nivel de silo | 120 |
| Anexo 12: cálculo de equivalencia del nivel del silo en función de las toneladas de material almacenado..... | 121 |
| Anexo 13: procedimiento de elaboración de Dashboard | 121 |
| Anexo 14: Planos y tablas de dimensiones reales de silos | 122 |
| Anexo 15: Tablero Dashboard para 5 tipos de silos | 126 |
| Anexo 16: Interfaz simulación en SCADA..... | 129 |
| Anexo 17: Programación SCADA..... | 130 |

RESUMEN

El aseguramiento de la calidad y la mejora continua en cualquier unidad productiva o empresa, ha sido fundamental en toda la historia para lograr el éxito y el aumento de la productividad en cualquier organización.

En la mayoría de las organizaciones existe un problema fundamental en función de la calidad, el cual es no contar con herramientas que prevengan o corrijan errores a tiempo de forma sencilla, económica y rentable debido a que las inspecciones no garantizan cero defectos en los procesos y productos, además del alto costo cuando se acercan a dicho objetivo.

Los silos de almacenamiento en las diferentes empresas que los implementan dentro de su proceso productivo, como lo son las cementeras, cerveceras y las procesadoras de roca fosfórica, entre otras; requieren de dispositivos o herramientas, para el control de la variable del nivel y consecuentemente para el cálculo de pérdidas, para la programación de procesos y trabajadores y para la detección de errores a tiempo y posteriormente la toma de decisiones en cada uno de los procesos por los que pasan los materiales, para así obtener los productos con el mínimo de errores posibles, evitando desperdicios y asegurando la calidad total en dichas empresas.

La adopción de varias técnicas que fueron desarrolladas en Japón hacia la década de 1960, como lo son las herramientas POKA YOKE le permiten a las empresas de manufactura y en especial a las empresas que tienen silos en sus procesos productivos, reducir este tipo de problemas.

Se dará inicio a la presente investigación, por medio de la caracterización de los procesos de almacenamiento y carga en silos.

Posteriormente se evaluarán los métodos de control y seguimiento de procesos de almacenamiento y carga en silos, para así reconocer cuales son las debilidades que se presentan, para darles un posible tratamiento adecuado, y mejorarlos.

Finalmente se diseñarán las herramientas POKA YOKE adecuadas para la medición de niveles de silo, que permitirán la detección de errores y la toma de decisiones acertadas para prevenir defectos en el proceso y producto final.

Palabras claves: Control, silos, medición, nivel, herramientas, POKA YOKE

SUMMARY

The improvement continues and quality assurance in any production unit or company, has been instrumental in history to achieve success and increased productivity in any Organization.

The fundamental problem of most organizations seeking quality control and assurance is not having tools that prevent or correct errors in time in a simple, economic and profitable way because inspections do not guarantee zero defects in processes and products, in addition to the high cost when they approach this objective.

The storage silos in the different companies that implement them within their production process, such as cement, beer and phosphoric rock processors, among others; they require devices or tools to control the level variable and consequently for the calculation of losses, for the programming of processes and workers and for the detection of errors in time and later decision-making in each of the processes through which the materials pass , in order to obtain the products with the least possible errors, avoiding waste and ensuring total quality in these companies.

The adoption of various techniques that were developed in Japan around the 1960s, such as the POKA YOKE tools, allow manufacture companies, and especially companies that have silos in their production processes, to reduce this type of problem. .

The present investigation will begin, through the characterization of the storage and loading processes in silos.

Subsequently, the control and monitoring methods of storage and loading processes in silos will be evaluated, in order to identify possible deficiencies that arise, in order to give them the appropriate treatment, and improve them.

Finally, the appropriate POKA YOKE tools will be designed for the measurement of levels of silo, which will allow the detection of errors and the making of sound decisions to prevent defects in the process and final product.

Keywords: Control, silos, measurement, level, tools, POKA YOKE

1. INTRODUCCION

El almacenaje de material granulado representa una operación importante en una gran variedad y número de industrias, preservar materiales o dosificarlos para su ingreso a procesos de transformación son una labor que los silos permiten realizar de una forma muy eficiente, estos permiten manejar una gran cantidad de stock gracias al uso del espacio cúbico (De la Fuente y Fernández, 2005). Además según Zuriguel (2005) son la manera más conveniente de preservar todo tipo de material granulado dadas sus propiedades aislantes frente a contaminantes atmosféricos, lo que permite que en su almacenaje se reduzcan drásticamente los porcentajes de pérdida de material

El nivel de silo es un indicador que nos enseña cuál es el porcentaje de capacidad de silo utilizado, esta información es valiosa a la hora de programar la producción o de saber cuál es la cantidad de material almacenado según (Williams y Gracey, 1996), quienes también dicen que los sistemas de control permiten hacer una gestión adecuada de estos niveles de silo con el fin de evitar sobrecargas o déficits de material según los requerimientos del proceso en el que se encuentre el silo.

La ausencia de defectos en las operaciones es un objetivo que debe perseguir toda empresa que se encuentre en la búsqueda de la competitividad, la eficiencia y el éxito, para ello nace en Japón bajo la filosofía de trabajo lean Manufacturing las herramientas POKA YOKE denominadas “a prueba de errores”, las cuales impiden la producción de defectos antes de que sucedan (Shigeo, 1987).

Para llegar a la estandarización en las actividades de carga y descarga de silos, existen herramientas de mejora continua, que al ser implementadas permiten tener un mayor control sobre el nivel del silo (Zhong, Ooi y Rotter, 2001), por lo que en el presente trabajo, se evaluarán los métodos de control de silo que existen en las empresas, para así poder establecer bajo un modelo lógico una herramienta de tipo POKA YOKE que le permita a este tipo de almacenaje y a sus operarios un trabajo seguro, automatizado y bajo un esquema de calidad total.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACION

Las empresas que tienen implementados silos de torre dentro de sus procesos productivos, normalmente no cuentan con herramientas que sean económicas, flexibles, y accesibles que permitan una medición exacta del nivel, para tener un control y estandarización en sus procesos de carga, almacenamiento, y descarga. Al no controlar de manera precisa los niveles de materia prima, material en proceso y producto terminado, se incurren en la generación de desperdicios y altos costos debido a la producción bajo parámetros de no calidad, es decir, repercute, económica, productiva y rentablemente la empresa, debido a que las inspecciones de silo manuales o convencionales no garantizan una producción de cero defectos en los procesos y productos. Lo cual transgrede las necesidades y expectativas tanto de clientes internos como externos en materia de control de inventario, tiempos, cantidad y calidad. (Ernst y Young LLP, 2019)

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industrialización en países latinoamericanos ha llevado un proceso más lento en relación a grandes capitales del mundo, la transmisión de filosofías, herramientas y técnicas de trabajo han migrado con paciencia desde las grandes industrias, así entonces la adopción de estas metodologías también se encuentran condicionadas a contextos diferentes los cuales inciden en su adaptación en Colombia.

Son pocas las empresas que se acogen a un modelo de excelencia en el cual se prevengan errores al 100% y de igual manera en Boyacá el trabajo desde sus orígenes se ha tornado informal, arcaico y empírico por lo que las técnicas empleadas se han tardado en obtener eficiencia puesto que responden frente a la demanda diaria y sus procesos de planeación son escasos o nulos. En el ámbito de la implementación de silos en procesos manufactureros encontramos diferentes empresas tanto cementeras, cerveceras y de explotación y procesamiento de roca fosfórica, que aportan al desarrollo de la región pero desafortunadamente algunas de estas empresas no ha enfocado sus operaciones y procesos a principios y factores fundamentales en la mejora continua para con sus procesos, lo cual reduce la calidad de sus productos y no le permite lograr ventajas competitivas en su mercado.

La estandarización de procesos es un factor fundamental en este tipo de empresas ya que “tiene como objeto hacer productos de calidad de modo rápido, seguro, barato y fiable. Esto se consigue mediante la descripción escrita o gráfica, de técnicas prácticas que proporcionan información útil para lograr tal objetivo.” (Hernández y Vizán, 2013, p. 45)

El principal problema que enfrentan las empresas que utilizan silos en su procesos, frente a este tema es que al trabajar con materias primas con dimensiones tan aleatorias existen holguras referentes a los diámetros y cantidades de material en proceso, es decir después de algunos procesos de trituración la variación de peso es significativa por conceptos de permeabilidad y volatilidad, factores que inciden en las unidades totales producidas.

Comúnmente se requiere el control de magnitudes como el nivel de material en proceso, presión, temperatura y flujo entre otras, sin importar el tipo o naturaleza de los procesos industriales. “Este control se logra al comparar variables según un valor deseado, y al presentarse alteraciones que cambien el curso de trabajo efectúan sistemas de prevención y/o corrección de manera automática, es decir sin uso de la mano de obra.” (Enríquez, 2013, p. 11)

De igual forma es fundamental que la empresa que busque la calidad total, trace una planeación estratégica a largo plazo, que permita fijar objetivos financieros a corto plazo como en su momento la empresa Toyota lo hizo guiando sus decisiones y enfocándose en la calidad de sus productos para vender más, para ello se debe considerar el contexto económico del país o región en la que subsista dependiendo de su magnitud, creando equilibrio y confort a todas las partes interesadas de la organización, aprendiendo de los errores y capacitando para alcanzar “la alineación organizacional, capaz de ser responsable de sus decisiones y acciones en el largo plazo, mediante la filosofía de trabajo haz lo mejor para tu empresa y sus interacciones tratándose todo como una unidad.” (Liker, 2004, p.118).

Además de lo anterior, la filosofía Toyota es una clave fundamental para evitar que los errores que se presentan en un proceso productivo se materialicen en defectos.

Este principio de la filosofía Toyota se basa en puntos claves como “Frecuentemente, lo mejor que se puede hacer es detener una máquina y parar de producir partes defectuosas” (Pérez, 2009, p. 154), lo cual es materializado gracias a principios creados bajo la filosofía Lean Manufacturing en el sistema de producción Toyota, tales como el aporte del autor Shigeo Shingo “a quien se le atribuye el control de calidad a prueba de errores (POKA YOKE)” (Quiroga, 2015, p. 31). Se podría pensar que es difícil seguir esta filosofía; no obstante la ventaja competitiva que alcanzaría la empresa que logre adoptar exitosamente esta filosofía, se verá reflejada en el margen de sus utilidades.

Por todo lo anterior para lograr establecer un control total en cualquier proceso de manufactura, específicamente en la medición de los niveles de materias primas y material en proceso en los silos, se precisa hacer uso del principio de estandarización de procesos, en conjunto con herramientas de manufactura esbelta como lo son los dispositivos POKA YOYE basados en los principios JIDOKA, ANDON, sistemas de control, herramientas de calidad entre otras. Pero estas herramientas normalmente requieren compromiso tanto gerencial como operario, y a su vez estas medidas también necesitan ser adoptadas dentro de la cultura organizacional para que la organización consiga el éxito en búsqueda de la mejora de sus sistemas productivos, y en consecuencia la rentabilidad por unidad de producto sea traducida a beneficio para todas las personas que hacen parte de esta labor.

2.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Puede el diseño de herramientas POKA YOKE permitirle a las empresas que utilizan silos de torre en sus procesos productivos, la estandarización a prueba de errores en sus procedimientos de carga, almacenaje y descarga en silo de material sólido?

2.3 ALCANCE:

La presente investigación contemplará el diseño de herramientas POKA YOKE para la medición de silos de torre en empresas procesadoras de material sólido; este proyecto no contemplará ningún diseño de herramientas para la toma de decisiones en ningún otro proceso diferente a los contemplados anteriormente (Medición de niveles de silo).

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Crear un diseño de herramientas POKA YOKE para la medición de niveles de silo

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar procesos de carga, almacenamiento y descarga en silos.
- Evaluar los métodos de control y seguimiento de procesos de almacenamiento en silos
- Consolidar el diseño final de las herramientas POKA YOKE más convenientes para la medición de niveles de silo.

4. JUSTIFICACION

Los silos son un sistema de almacenamiento de material a granel utilizado en diversos sectores de manufactura, debido a que estos permiten manejar un gran volumen de stock en poco espacio y además conseguir un almacenamiento impermeable a contaminantes, los silos hacen uso del principio del uso cubico del espacio estudiado en el diseño y distribución de planta el cual dicta que “ el aprovechamiento del espacio cubico, se manifiesta en optimización de espacios y en consecuencia en la economía, además de aportar orden a la hora del almacenaje.” (De La Fuente y Fernández, 2005, p.8) y un silo es un claro ejemplo de este principio.

Su función ha sido implementada en diferentes organizaciones a lo largo de la historia, permitiendo la evolución y progreso del comercio y la industria. Iniciaron siendo utilizados para el almacenaje de granos en actividades de agricultura, luego se fueron adaptando o todo tipo de materias primas y materiales articuladas y a granel.

Puesto que es un sistema ideal para el almacenaje y abastecimiento de sistemas productivos que reduce costos en mano de obra, manipulación y tiempo, sus aplicaciones impactan un gran número de industrias, como lo son las aplicaciones en la agroindustria en materia primas como arroz, trigo, maíz, frijoles, soya, en general todo tipo de legumbres para su almacenaje, procesamiento o embalaje; en la producción de fertilizantes en empresas procesadoras de roca fosfórica como dosificadores de materia prima y almacenamiento de material particulado para embalaje; en la construcción para el almacenaje y distribución de cemento , gravilla o arena en general para todo tipo de roca trituradas o materiales con un grado granulométrico homogéneo; en la minería para el abastecimiento de trituradoras y almacenamiento de material extraído, en pozos petroleros para la dosificación de materiales químicos en procesos de workover; en centrales termoeléctricas como dosificador de materiales de combustión y agua; en acerías cumpliendo funciones de almacenaje de minerales de hierro, coque y fundentes en el alto horno para la producción de arrabio, entre otras industrias que hacen uso de estos dispositivos de almacenaje y suministro. Como podemos ver la aplicación de los diferentes tipos de silo existentes en la industria, se extiende a una gran cantidad de servicios y productos por lo que su monitoreo y control debe ser una actividad de gran importancia a la hora de gestionar el rendimiento de un proceso productivo o de almacenaje.

Los sistemas productivos, empresas o procesos que deciden adoptar como principio de trabajo la filosofía de mejora continua y más específicamente las técnicas y herramientas a prueba de error POKA YOKE, resultan ser en la práctica significativamente más eficientes gracias al elevado grado de estandarización que estas medidas representan. según Soto (2011), “aunque los sistemas POKA YOKE sean simples, sus efectos son enormes, debido a que proporcionan una reducción en los tiempos de inspección, control y trabajo operativo a un bajo costo” , ahora bien la implementación de herramientas POKA YOKE en los procesos involucrados en la carga en silo aportan una mejora significativa al rendimiento general del proceso desde otras perspectivas; puesto que poder evaluar en tiempo real y con grado de detalles el estado del silo y sus operaciones nos puede aportar información como la cantidad de material en proceso , unidades producidas por tonelada de material e incluso obtener una aproximación al tiempo más probable para la disposición final del producto; para así gestionar oportunamente la satisfacción de necesidades de partes interesadas de la empresa.

Según Naveh y Halevy (1996), los costos de la no calidad siempre serán mayores a los de la calidad, es decir que el dinero invertido en calidad siempre va a ser menor al generado en pérdidas por la no calidad. En ese orden de ideas la calidad total optimiza recursos y desde el enfoque lean que enseña Juran y Gryna (1993), mitiga desperdicios y mejora tiempos de producción; además se debe tener en cuenta que existen una gran variedad de empresas manufactureras que se verían beneficiadas con sistemas de control de silo aprueba de errores que reduzca sus desperdicios y aumente sus márgenes de rentabilidad.

Según Groveer, (1997) “Promover un ambiente competitivo y alcanzar la producción de artículos de alta calidad debe tener la mayor prioridad en cualquier empresa”, es utópico pensar que esta filosofía es compartida en todas las empresas Colombianas, pero las que estén dispuestas a trabajar por este ideal; deberían saber que “la implementación de herramientas POKA YOKE maximiza la eficiencia de la organización por medio de la función objetivo de cero defectos y bajo el marco de referencia del control total.” (Hernández, Gómez, Ibarra, 2018, p. 63)

Lo anterior se respalda por cientos de testimonios de éxito a través del mundo. Éxitos basados en la lógica y la razón ya que cuando se elimina cualquier posibilidad de errores por causas mecánicas o humanas implica ahorro de energía, tiempo y disminución de scrap (chatarra) según (Soto, 2011)

5. MARCO TEORICO

Se siguió una fundamentación teórica como base de la presente investigación, centrada en el desarrollo de la filosofía de calidad Lean Manufacturing, sus principales herramientas, y especialmente el concepto POKA YOKE como referente fundamental para el desarrollo del presente trabajo de grado.

A continuación se complementara con ciertos conceptos, que son relevantes para entender los diferentes enfoques y principios a implementarse en la presente investigación.

5.1 LEAN MANUFACTURING O MANUFACTURA ESBELTA:

En pocas palabras el Lean Manufacturing busca la reducción de desperdicios y a su vez el aumento de la calidad. Siguiendo a Gonzales la define como:

Herramientas que tienen como meta principal el tratamiento de los desperdicios o conocidos también como mudas, estas herramientas son polifacéticas e incluyen diferentes técnicas que pueden permitir este objetivo, como el Kaizen, las 5s, el just in time, los 5 porqués y evidentemente el POKA YOKE (los sistemas a prueba de errores). Por otra parte permiten manejar un enfoque alternativo a esta filosofía, relacionada con el flujo de producción enfocándose en el sistema y la prevención de sus errores (mura). (2007, P. 86).

El primer paso del proceso de implementación de la filosofía lean manufacturing es realizar un diagnóstico del proceso de manufactura desde la perspectiva de los clientes tanto internos como externos, contemplando qué expectativas tienen, lo cual genera valor al proceso, al permitir identificar los procedimientos que aportan y los que no al verdadero valor de los productos. El campo de aplicación de dicha filosofía es bastante amplio y no restringe ningún proceso, ya sea administrativo u operativo. (Villaseñor, 2007).

Womack, Jones y Roos (1990) consideran los siguientes conceptos como pilares de aplicación de Lean Manufacturing:

1. Especificar el valor desde la perspectiva del cliente
2. Mitigar desperdicios y hacer seguimiento a la cadena de valor
3. Interactuar constantemente con el cliente
4. Crear una cultura organizacional más fuerte
5. Trabajar en la búsqueda constante de la mejora

5.1.1 Análisis de Desperdicios (Mudas):

A lo largo de la historia y con numerosas investigaciones y experiencias se ha logrado identificar “8 tipos de desperdicios, los cuales son espera, transporte innecesario, sobreproducción, inventarios, movimientos innecesarios, procesamiento incorrecto, talento no utilizado, reparaciones y defectos”. (Pérez, 2009, p.143)

De igual forma Perez (2009) describe una técnica para la identificación y eliminación de desperdicios denominada las 3 Ms:

- **Muda:** Operación que gasta recursos sin generar valor para el cliente
- **Mura:** Desigualdad en la operación, todo lo que es irregular o inconsistente (tiempos muertos).
- **Muri:** Es todo aquello contraproducente como lo es sobreexceder la capacidad de carga o trabajo de la mano de obra y/o maquinaria.

5.1.2 Herramientas Lean Manufacturing:

En el sistema de producción Toyota se originaron las herramientas más significativas en la búsqueda de la calidad total (calidad de inicio a fin). A continuación se describirán de manera breve las más relevantes.

5.1.2.1 Las 5's:

Son una herramienta que permiten utilizar estratégicamente el orden y la organización del trabajo, con la intención de aminorar los diferentes tipos de residuos o desperdicios (Hirano, 1991) anteriormente mencionados. Las 5 (S) son:

- **SEIRI – Separar: Eliminar lo innecesario:** “Busca que todo elemento que no sea de utilidad sea removido del puesto de trabajo” (Hernández y Vizán, 2013, p. 38)
- **SEITON – Identificar y ordenar; determinar el lugar correcto de almacenaje de cada elemento del trabajo:** “su objetivo es definir la ubicación, de los elementos necesarios para el desempeño de una tarea, con el fin de tener un mejor control de los mismos”. (Hernández y Vizán, 2013, p. 39)

- **SEISO – Limpieza:** “significa, evaluar un entorno de trabajo tratando los defectos, y eliminándolos de una manera prospectiva”. (Hernández y Vizán, 2013, p. 39)
- **SEIKETSU – Estandarización:** “como preámbulo para alcanzar la estandarización se debe dar por hecho las primeras “3s” a partir de allí se consigue un esquema de trabajo homogéneo que aumenta la efectividad de los trabajadores y la productividad de la organización.”(Hernández y Vizán, 2013, p. 40)
- **SHITSUKE – Disciplina:** “con la finalidad de generar hábitos con base en la estandarización busca que estos sean perdurables en el tiempo.” (Hernández y Vizán, 2013, p. 41)

5.1.2.2 SMED (Cambios rápidos en el proceso):

Según García, “poder responder a la demanda según sean sus requisitos de manera ágil y rápida, es una facultad que se adquiere gracias a los cambios rápidos en el proceso, puesto que estos permiten atender satisfactoriamente diferentes tipos de productos o semiproductos en una misma línea de producción.” (García, 2016, p. 101). La metodología SMED permite cumplir con las expectativas, al disminuir tiempos asociados a la fabricación, gracias a la flexibilidad adquirida en sus procesos.

5.1.2.3 TPM (Mantenimiento Productivo Total):

La parada de los procesos representa pérdidas en tiempo y costos, muchas veces estas paradas se dan gracias a la falta de mantenimiento de equipos y herramientas utilizadas en el trabajo, por lo que es necesario incrementar el grado de confiabilidad y disponibilidad para evitar este tipo de problemas. El TPM por medio del mantenimiento autónomo, permite gestionar adecuadamente los problemas asociados a la ausencia del mantenimiento (Hirano, 1991).

5.1.2.4 Mapeo de valor:

Permite realizar una selección adecuada de todas las actividades que generan valor requeridas para un proceso de fabricación, desde la recepción de materia prima, hasta la entrega al cliente del producto terminado (Flores, 2012)

5.1.2.5 Trabajo Estandarizado:

Permite la implementación de la forma adecuada y efectiva, de realizar tareas definidas en los puestos de trabajo de una organización. Persigue el objetivo de realizar los procedimientos, con un mínimo de recursos, disminuyendo desperdicios y realizando las funciones de manera, segura, y oportuna. (Engum, 2009).

5.1.2.6 Células de manufactura:

Según Ortiz et al. (2007) Esta herramienta es un factor central de la filosofía Lean Manufacturing, utiliza flujos eficientes de los sistemas de producción convencionales y talleres de trabajo flexibles, para fomentar la implementación de líneas de producción alternativas para las empresas que tienen una demanda media de sus productos

5.1.2.7 Justo a tiempo:

Filosofía de producción cuyo objetivo es tener la cantidad deseada, en el momento preciso y para el cliente indicado. Esta herramienta no permite tener recursos innecesarios en los procesos de fabricación, ya sean recursos de mano de obra, equipos y maquinaria. (Rivera, 2008)

5.1.2.8 Heijunka:

Se basa en la producción por lotes pequeños, configura la oferta en función de la demanda de los clientes. (Hirano, 1991)

5.1.2.9 Kaizen:

Significa mejoramiento aplicado al lugar de trabajo, su implementación busca la mejora continua por medio de la participación activa de toda la organización desde los directivos a los empleados por igual, buscando que el trabajador identifique por sí mismo las mejoras necesarias en su propio puesto de trabajo.

5.1.2.10 Kanban:

Permite controlar los inventarios mediante la identificación de problemas, al brindar información por medio de tarjetas como órdenes o asignaciones de producción, recolección y transporte de productos, a los trabajadores encargados de estas áreas. (Ohno, 1998).

Como se ha mencionado anteriormente, la presente tesis se basara en la herramienta de Lean Manufacturing, aplicando los principios del sistema POKA YOKE, el cual es una de las principales herramientas de la filosofía anteriormente descrita, y es por esta razón que haremos énfasis y nos detendremos a analizarla un poco más, debido a su importancia en la aplicación del presente trabajo.

5.1.2.11 Jidoka (Automatización con un toque humano):

Permite alcanzar cierto grado de automatización asistida por el factor humano, estableciendo autocontroles, que buscan prevenir la generación de errores con el objetivo de alcanzar producto y procesos con una calidad garantizada (Rivera, 2008).

5.2 POKA YOKE:

Más que una herramienta de la filosofía Lean Manufacturing, se ha dado a conocer a través de los tiempos como una técnica importante de calidad, gracias al ingeniero Japonés Shigeo Shingo. Su aporte se basa en la creación o mejoramiento de procesos donde no se permitan errores de ningún tipo, y a su vez evita que estos se materialicen en defectos, corrigiéndolos o previniéndolos antes de que se lleguen a presentar.

La clave para iniciar la implementación y divulgación de este sistema o filosófica, fue descubrir que el muestreo estadístico tenía deficiencias, y nunca iba a ser preciso en las inspecciones de los productos, lo cual confirmaba que siempre iba a existir un porcentaje de error.

Los dispositivos POKA YOKE, son instrumentos, mecanismos o herramientas, cuya función es evitar errores antes de que se materialicen, o permitir la visualización de los mismos mediante el principio ANDON (alarmas en el proceso), al hacerlos muy visibles o muy obvios para que el operario los corrija a tiempo, de esta forma se previenen errores humanos que pueden llegar a materializarse en defectos del producto final.

De lo anterior se concluye que la filosofía de los sistemas POYA YOKE se basa en no permitir que los errores se materialicen en defectos y en la medida de lo posible que no estén presentes en ninguna línea de producción, ni en ningún procedimiento, lo cual evitara el retrabajo y en consecuencia alcanzara una calidad alta, para disminuir los costos y garantizar la satisfacción del cliente.

5.2.1 Funciones del sistema POKA-YOKE:

Las funciones de dichos sistemas están enfocadas a la reducción de defectos por medio de tres actividades claves como lo son la inspección, la retroalimentación y por consiguiente la acción correctiva. Los resultados y efectos que se obtengan con la implementación de estos sistemas serán afines al tipo de inspección que se realice, ya sea al inicio, por medio de auto revisión o mediante chequeos continuos. (Hirano, 2000)

5.2.2 Técnicas POKA YOKE:

Según Arrieta (2011), por medio de mecanismos o dispositivos se pretende llegar a la mejora continua de la calidad en los procesos, productos y servicios de una empresa, y es gracias a este principio que se identifican dos técnicas fundamentales para las herramientas POKA YOKE, la prevención y la detección. En la **figura 2** se identifican los factores fundamentales que componen dichas técnicas.

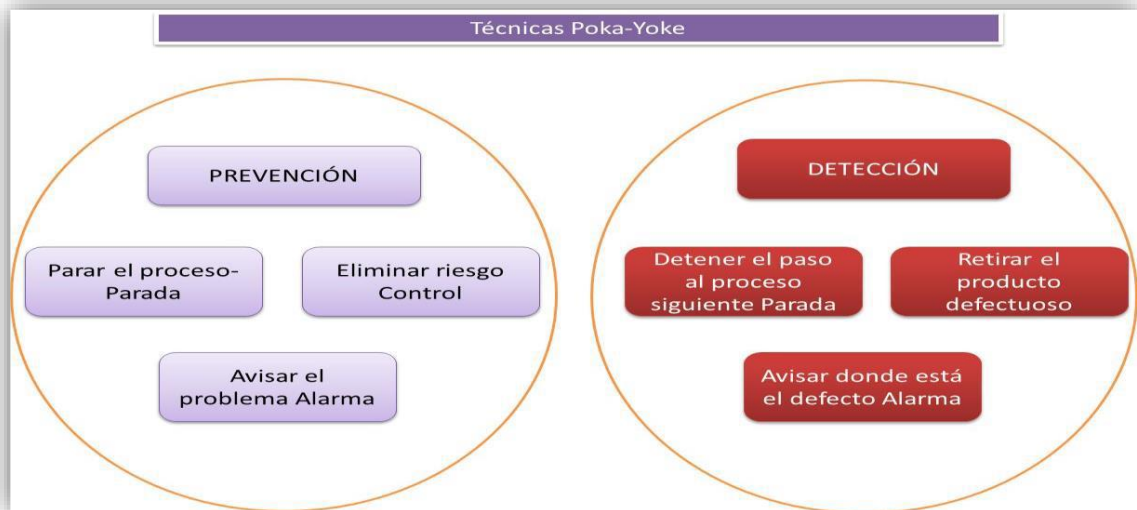


Figura 1: Técnicas POKA YOKE **Fuente:** (Cardona, 2013)

5.2.3 Características de sistemas POKA YOKE:

Según Pérez (2009) un dispositivo o sistema POKA YOKE se identifica por las siguientes características:

- Sencillos y de bajo costo.
- Implementación fácil donde se requieren.

- Adaptación y flexibilidad en los procesos.
- Fácil interpretación.

5.2.4 Sistemas de medición que utilizan los sistemas POKA-YOKE:

Los tipos de medidores que se utilizan en cualquier sistema POKA YOKE sin importar a que tipo o proceso pertenezcan, se ubican en 3 grupos. Tomando como referencia a (Pérez, 2009), son:

- De contacto (botones)
- Sin-contacto (sensores)
- De transmisión de información, de conteo, de numero de ciclos, corriente eléctrica presión, temperatura y, vibración.

5.2.5 Métodos POKA-YOKE:

Según Maldonado (2008) los POKA YOKE tiene como función regular, y para cumplirla es necesario identificar ciertos métodos, actualmente se identifican 5:

5.2.5.1 Métodos de contacto:

Por medio de un dispositivo sensitivo permite transmitir información o hallar anomalías al existir el contacto entre el dispositivo y el producto. Busca identificar tipos específicos de defectos para ser tratados adecuadamente. (Shigeo, 1987)

5.2.5.2 Método de pasos:

A través de la revisión, observación y control de movimientos repetitivos de ciertas operaciones, descubre anomalías. (Shigeo, 1987)

5.2.5.3 Método de configuración:

Se centra en las actividades en las que se realizan movimientos predeterminados. En este método se inspeccionan las acciones estandarizadas para identificar las irregularidades que se pueden llegar a presentar. (Shigeo, 1987)

5.2.5.4 Método de Control:

(Relativo a Jidoka) Su principal característica es la de apagar o bloquear los sistemas de operación cuando se presenten anomalías previniendo que el efecto se prolongue en el tiempo, este tipo de mecanismo resulta ser más fuertes y agresivos con el curso natural del proceso que las medidas preventivas (...) también resulta en este método que se puede expulsar la pieza defectuosa o marcarla para su fácil detección, por lo mismo y tanto resultan ser estos métodos los más efectivos en la búsqueda de los cerros defectos. (Juran y Gryna, 1993)

5.2.5.5 Método de Advertencia:

(Relativo a Andón) su objetivo es alertar al operario por medio de diferentes señales, con la finalidad de no permitir el paso de errores en una línea de producción. Debido a que el operario es susceptible a no atender las alarmas en el debido momento, el riesgo es alto, y es por esta razón que se debe considerar su implementación para operaciones en las que los errores no tengan un impacto considerable (Juran y Gryna, 1993).

5.2.6 Ejemplos de dispositivos POKA YOKE:

Algunos de los dispositivos más representativos del principio POKA YOKE son:

- Plantilla.
- Micro switch / switch limite.
- Método de sobrantes/excedente.
- Restricción de secuencia.
- Estandarización y solución,
- indicador de condición crítica.
- Tope / compuerta.
- Sensor.
- Código de colores".

(Socconini, 2019, p. 244)

5.3 MARCO CONCEPTUAL

5.3.1 Andón:

(Lámpara) Denominados así los sistemas de aviso. Es un sistema preventivo que se basa en cuadros de luces indicativas o alertas auditivas que indican que ha ocurrido algún problema en la línea de producción. (Galgano, 2004)

5.3.2 Calidad:

Características inherentes a algo, a partir de las cuales se realizan juicios de valor. (Real Academia Española, 2018)

5.3.3 Control:

Comprobación, inspección, fiscalización, intervención que se hace al interior de un proceso a fin de diagnosticar, corregir o gestionar su desempeño. (Real Academia Española, 2018)

5.3.4 Control de calidad:

“Combinación de procedimientos y técnicas para controlar, supervisar y orientar los procesos relacionados con la obtención de un producto o servicio según la calidad deseada”. (Hansen y Ghare, 1990, p. 2).

5.3.5 Silo:

Edificación construida con la finalidad de servir de acopio o almacenaje de cualquier tipo de materiales a granel. Su forma común es cilíndrica, y se construyen de diferentes materiales ya sean de metal madera, o hormigón armado. (Real Academia Española, 2018)

5.3.6 Nivel de silo:

Cantidad de material que fluctúa con la operación normal del silo, es un valor que indica el contenido en tiempo real del material presente en el silo, en % o en metros (Filigrana, 2016).

5.3.7 Material Granular:

Materiales con agregados de elementos macroscópicos independientes que interactúan entre sí, vía fuerzas de contacto disipativas y restitutivas. Arena, arroz, café, trigo, azúcar, maíz, son ejemplos de materiales granulares. (Darias, 2014)

5.4 MARCO DE REFERENCIA

Para el desarrollo del presente Trabajo, se tomó como referente la tesis titulada:

PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA POKA YOKE EN LA ELABORACIÓN DE LAS FICHAS TÉCNICAS EN EL ÁREA DE OFICINA TÉCNICA DE LA EMPRESA C. I. DUGOTEX S.A.

5.4.1 Metodología:

Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo propuesto en la tesis en mención plantearon el desarrollo del mismo mediante la metodología de investigación acción, la cual como lo describe Salgado “tiene como finalidad mejorar prácticas concretas, aportando información que guíe la toma de decisiones para la resolución de problemas cotidianos e inmediatos” (Jiménez, 2016). Bajo este mismo enfoque se desarrolló la presente tesis, teniendo como enfoque principal la mejora de prácticas concretas, (control del nivel de silos) con la finalidad de aportar información para la toma de decisiones adecuadas en un proceso industrial productivo.

5.4.2 Resultados:

La tesis en mención tomada como referencia, obtuvo como resultados, la estandarización de la información, métodos de trabajo y herramientas que permitieron una validación de la información de manera eficiente y eficaz, permitiéndoles además agilizar el trabajo aumentando la eficiencia y disminuyendo el margen de error, eliminando así desperdicios como los tiempos de espera, los defectos, transporte y movimientos innecesarios, representando el desempeño deseado y logrando una disminución de costos. De esta forma evitaron el error que se presentaba en la empresa, aportando en gran medida al cumplimiento de la mejora continua, el control de la calidad y la entrega justo a tiempo.

Teniendo en cuenta que los objetivos perseguidos en el presente trabajo, son similares en cuanto a evitar pérdidas de material, eliminar desperdicios como el re trabajo, los tiempos de espera, los defectos (evitando errores), inventarios innecesarios, entre otros, decidimos adoptarla como modelo a seguir en la búsqueda de la estandarización de los procesos de medición de niveles de silo, métodos de trabajo y herramientas que permitan una validación de la información del nivel exacto del silo en %, en toneladas del material almacenado y en metros del nivel de llenado del silo, de manera eficiente y eficaz, lo cual permitirá además agilizar el trabajo aumentando la eficiencia y disminuyendo el margen de error, tal y como se reflejó en los resultados de la tesis referencia.

6. METODOLOGIA

6.1 TIPO Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN:

El diseño del presente proyecto al contemplar variables tanto cualitativas como cuantitativas, determina que el tipo de investigación más apropiado para el estudio de caso es la investigación mixta, con un enfoque descriptivo ya que permite el diagnóstico y la caracterización, además de contemplar el enfoque exploratorio al formular problemas de la presente investigación.

6.2 MÉTODO DE ANÁLISIS:

En pro de conseguir información fidedigna se pondrán en práctica diferentes métodos de análisis de información, para así poder segmentar correctamente la información y ampliar el horizonte de acción y conocimiento en el desarrollo de la investigación. Los métodos a trabajar serán principalmente: método inductivo, método deductivo y método analítico.

- **Método inductivo:** su punto de partida es la observación directa de situaciones específicas, particulares o fenómenos naturales relacionadas con un problema de investigación, para posteriormente tomar como base fenómenos similares al objeto de estudio, para poder concluir soluciones a través de la lógica y por medio de diferentes premisas, las cuales serán tomadas como referencia para explicaciones futuras. (Sautu, 2001)

- **Método analítico:** parte del reconocimiento de los factores que describen o caracterizan una realidad y de la relación que estas tienen con el conocimiento teórico; para permitir establecer las relaciones causa-efecto en base a grandes referentes en el campo de estudio. El análisis descompone gradualmente el problema para ser atacado en forma de sub problemas, creando explicaciones parciales a partir del estudio enfocado a cada uno de estos, que al cabo del desarrollo de todos ellos, el resultado de todos, será la solución global del problema o situación... (Sautu, 2001)

Mediante el análisis sistemático de las variables influyentes en el proyecto de investigación, se pretende llegar a una solución apropiada e idónea para el desarrollo de la teoría propia del POKA YOKE “a prueba de errores”, con el único objetivo de aplicar efectivamente los conocimientos recibidos a lo largo de la formación académica, y poder así utilizarlos en pro de la productividad regional de un país, el aseguramiento de la calidad y la mejora continua, y repercutir solidariamente en la economía de las empresas en cuestión mejorando sus procesos.

6.3 DISEÑO METODOLÓGICO:

En la **Figura 3** se muestran las fases con las cuales se llevó a cabo el desarrollo de esta investigación y a continuación se explicara el desarrollo de cada una.

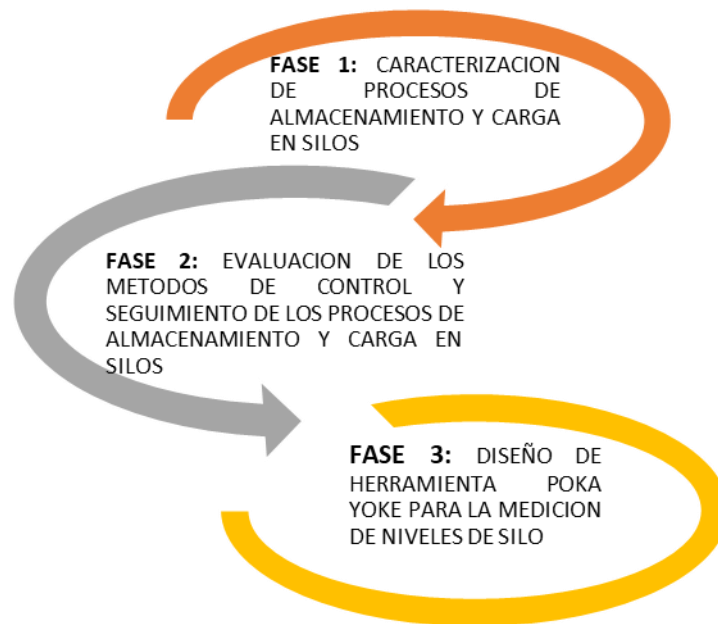


Figura 2: Fases de investigación **Fuente:** autores

FASE 1: Como primera fase se realizara la caracterización de los procesos de almacenamiento y carga en silos mediante la recolección de información, y la documentación respectiva, de la morfología y clases de silos, de los procesos y métodos de la carga del material en silos, y de la distribución del material en los silos de estudio.

FASE 2: Durante esta etapa se evaluarán los métodos de control y seguimiento de procesos de almacenamiento y carga en silos, analizando procesos de calidad actuales de seguimiento y control de silos, identificando métodos de control de procesos, métodos de medición de nivel de silos, tipos de medidores de nivel e instrumentos de medición adecuados.

FASE 3: Finalmente en esta etapa se diseñara las herramientas POKA YOKE adecuadas para la medición de niveles de silo, en primera instancia por medio del análisis y revisión bibliográfica del diseño de POKA YOKES y de los métodos, medidores e instrumentos de medición de nivel de silos, para elegir los componentes adecuados de la herramienta y posteriormente determinar parámetros y variables y por último consolidar el diseño de herramientas POKA YOKE.

6.4 FUENTES DE INFORMACIÓN:

Primarias: Revisión de información de empresas, mapas de procesos, caracterizaciones y diagramas de flujo de procesos, entrevistas, recopilación de datos.

Secundarias: Revisiones en bases de datos, libros, revistas y tesis similares realizadas en las instituciones de educación superior.

6.5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN:

Los instrumentos de recolección de información que se utilizaron son principalmente revisión de casos de estudio reales y documentación de las fuentes de datos secundarios.

6.6 POBLACIÓN:

La población impactada por el presente proyecto nace a partir de investigación de segundo orden con bases en datos bibliográficos a cerca de empresas con silos operativos al interior de un sistema productivo o con silos de almacenamiento importantes para el desarrollo de la actividad económica que desempeña la empresa, y va enfocado a un mercado objetivo limitado a empresas que manejen material solido granulado por medio de silos de torre.

7. CARACTERIZACION DE PROCESOS DE ALMACENAMIENTO Y CARGA EN SILO

Para una buena elección de silo es necesario identificar varios factores que influyen en las funciones o prestaciones requeridas para el trabajo que vaya a cumplir el silo, como lo son: las cargas o pesos que van a soportar sus paredes y fondos, las características físicas de los materiales ensilados, el diseño de su estructura y dimensionamiento, al igual que sus características geométricas, la forma en que se carga y descarga el silo, el flujo de material al interior del silo e incluso las condiciones medioambientales a las que estará expuesta la estructura.

7.1 USOS DE SILOS:

Se puede evidenciar que el uso de silos se extienden sobre diversos sectores entre los cuales podemos citar: “Productos químicos; minería y minerales; la biomasa, madera, papel; vidrio y cerámica; energía y electricidad; cemento; metales en polvo; alimentación y bebidas; farmacia y productos de consumo.” (Fonseca, García y Zabala, 2013, p. 11)

Lo anterior gracias a los beneficios de conservación, manejo, recepción y distribución de los materiales aquí mencionados, “se basa en el sistema FIFO (First in, First out), lo primero en entrar, es lo primero en salir” (Vistín, 2016, p. 23), principio que resulta útil en el manejo de productos perecederos.

Los usos de las industrias más comunes son:

7.1.1 Productos químicos:

El manejo de materiales a granel en la industria química resulta ser muy común, este tipo de empresas proporcionan insumos básicos para la fabricación de pinturas, pigmentos, revestimientos, adhesivos, resinas productos de consumo y alimentos. Para la eficiencia de sus procesos de transporte y almacenaje hacen uso de silos, los cuales permiten que la producción aumente su capacidad y al mismo tiempo aseguran un correcto funcionamiento, (Fonseca, García y Zabala, 2013) algunos de los materiales que más utilizan este tipo de empresas del sector químico se explican en la **Tabla 1**.

Tabla 1: Materiales granulados manipulados con éxito en la industria química

| Materiales comúnmente empleados | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| Negro carbón | Dióxido de titanio | Catalizadores | Fosfatos | Sulfatos | Silicatos |
| Carbonatos | Acetato de aluminio | Fluoruro de aluminio | Óxido de aluminio | Trióxido de antimonio | Trióxido de arsénico |
| Carbonato de bario | Cloruro de calcio | Nitrato de boro | Cal quemada | Carbón activado | Carbón en polvo |
| Óxido de cromo | Sal de Epsom | Carbonato de hierro | Acetato de sodio | Carburo de silicio | Cloruro estañoso |

Fuente: (Fonseca, García y Zabala, 2013)

7.1.2 Minería y minerales:

Gracias a las propiedades físicas de los minerales y su uso en la construcción el mundo es tal y como lo conocemos, de igual manera y gracias a la globalización la demanda de metales preciosos, metales básicos y materias primas minerales es cada vez mayor en todo tipo de mercados, gracias a las propiedades físicas y químicas inherentes a este tipo de materiales.

Este tipo de empresas empezaron a manejar una gran variedad de materiales a granel por medio de silos con el fin de suplir la creciente demanda, los materiales que han sido manejados con éxito en este sector comercial son descritos en la **Tabla 2**.

Tabla 2: Materiales granulados manipulados con éxito en la industria minera

| Materiales comúnmente empleados | | | | |
|---------------------------------|---------------|------------------|--------|------------------|
| Piedra caliza | Cal | Bauxita | Oro | Platino |
| Níquel | Plomo | Zinc | Carbón | Plata |
| Mineral de hierro | Trona mineral | Alumina refinada | Coque | Mineral de cobre |

Fuente: (Fonseca, García y Zabala, 2013)

7.1.3 Alimentación y biomasa:

Durante la alimentación de las materias primas (harina, azúcar, sal), Aditivos (bicarbonato de sodio, Ácido cítrico, fosfatos), o productos acabados (cereales, bebidas en polvo seco), según Fonseca, García y Zabala “la mala circulación es un problema que enfrentan frecuentemente los productores de alimentos, lo que genera alteraciones en el proceso.” (2013, p. 12) es decir que el deterioro de los productos y de la calidad gracias al crecimiento microbiano y el apelmazamiento de polvo, es el resultado almacenar alimento en contenedores que genera el estancamiento de material, por lo cual en estos casos los silos se convierten en dispositivos que dan solución a esta problemática debido al flujo de material y a las propiedades aislantes de algunos de ellos.

7.1.4 Construcción:

Las empresas cementeras manejan una gran variedad de materiales a granel como cal, cenizas volantes, micro sílice, bentonita y cemento, materiales que al ser almacenados por medio de silos se mantienen libres de impurezas al mismo tiempo que se facilita su manejo.

7.2 TIPOS DE SILO:

Los silos son estructuras de diferentes formas y tamaños, pueden ser abiertos o herméticos, son utilizados para la conservación y el almacenamiento de una gran cantidad de productos como ya lo vimos. Para poder identificar la forma idónea de medir los niveles de silo es fundamental conocer los distintos tipos de silos que existen en el mercado y su funcionamiento.

Se parte por determinar el tipo de estructuras a manejar en el almacenaje a granel los cuales se construyen en muchas formas, tamaños y materiales. Pueden clasificarse de acuerdo a la orientación de su eje mayor en: horizontales, almacenes planos, verticales, silos y recipientes de almacenamiento, y pueden considerarse como permanentes, semipermanentes o temporales de acuerdo con la durabilidad de materiales empleados en su fabricación. Se pueden categorizar también por la sofisticación de maquinaria utilizada en el manejo de material el cual según Williams y Gracey “varía ampliamente desde ninguna (mano de obras intensiva) a parcialmente mecanizado (con llenados y vaciados una o dos veces al año) o completamente mecanizado (con llenados y vaciados frecuentes)”. (1996, p. 19)

También los hay cortos o altos y esto es un criterio basado en su relación de altura y diámetro, cuando su altura es aproximadamente solo la mitad de su diámetro se consideran silos cortos y en el sentido contrario se consideran altos cuando su altura es mayor que el diámetro. (Williams y Gracey, 1996)

7.2.1 Silos aéreos verticales permanentes:

“Son los silos de torre o cilíndricos, que se pueden construir de cualquier material como, hormigón, acero, ladrillo, concreto, bloques de cemento, madera, o piedra.”(ICA, p. 47).



Figura 3: Silos aéreos verticales permanentes **Fuente:** (Montajes y soluciones ingeniería)

“Este tipo de silos también pueden integrar en su estructura piezas pre construidas las cuales se ensamblan colocando losas de concreto, cada una a 0.5m a 1 m aproximadamente, formando un círculo sobre la base de concreto y continuando su construcción hacia arriba con estructuras metálicas y aislantes (...) su construcción es más sencilla pero pueden alojar plagas de insectos o incluso impedir el flujo del grano”. (Williams y Gracey, 1996, p. 23)

7.2.1.1 Silos de torre en hormigón:

La construcción de silos en hormigón es adecuada para instalaciones portuarias, puesto que resiste bien la corrosión del ambiente marino, presenta una larga vida útil y excelentes cualidades para la conservación de productos. (Chirinos et.al., 2015) además de presentar una estructura de alta resistencia y larga duración. Son contruidos por medio de bloques pequeños de hormigón los cuales permiten ir aumentando su tamaño o en caso contrario desmontar secciones para ser utilizadas en otras zonas o silos.



Figura 4: Silos de torre en hormigón **Fuente:** (Stolza)

7.2.1.2 Silos de torre metálicos:

Se construyen normalmente con acero corrugado y galvanizado curvados y unidos con pernos hasta formar un cilindro vertical , anclado a un nivel en el piso fijo a una plancha de concreto , están especialmente diseñados para contener granos sin imponer cargas verticales excesivas a la estructura (Williams y Gracey, 1996), Silos que gracias a sus propiedades metálicas permiten condiciones higiénicas ideales para el material ensilado, en varias ocasiones permiten adaptar sistema de temperatura, humedad y ventilación.



Figura 5: Silos de torre metálicos **Fuente:** (Deposit)

7.2.1.3 Silos de torre de tejido:

Sus aplicaciones desde el inicio de los tiempos, es para aquellas industrias alimenticias que manejan y almacenan materiales en polvo como son los azúcares y las harinas, pero no restringe su uso para otras materias primas como el plástico que se manejan en otras industrias. Su característica principal es que su depósito es un contenedor de tejido técnico. (Agriflex, 2020)



Figura 6: Silos de torre de tejidos **Fuente:** (citalisa)

7.2.1.4 Silos de torre de bajo oxígeno o herméticos:

Ideales para el almacenaje de líquidos de fermentación, puesto que su interior presenta un ambiente bajo en oxígeno, el cual previene la presencia de moho, evitando que el material almacenado se descomponga. (Chirinos et.al., 2015)



Figura 7: Silos de torre de bajo oxígeno Fuente: (Nextews)

7.2.1.5 Silos cónicos:

Usados en gran mayoría para almacenar arenas o materiales similares secos y se caracterizan por ser más cortos que los otros silos de torre, tienen la ventaja de poder descargarse completamente por su forma. (Chirinos et.al., 2015)



Figura 8: silos Cónicos Fuente: (Scafco)

7.2.1.6 Silos Telescópicos:

Están diseñados para el transporte a larga distancia y la instalación rápida, son utilizados en mayor parte en industrias cementaras por la naturaleza de su descargue a larga distancia.



Figura 9: Silos telescópicos **Fuente:** (Meka)

7.2.1.7 Silos desmontables:

Se caracterizan porque permiten trasladarse con facilidad de un lado a otro, y su armado es sencillo, pues el ensamble de las piezas no requiere soldadura. Al ser flexibles con sus partes, permite intercambiarlas y a vez ajustar la capacidad del silo, su componente principal son paneles metálicos emperrados. (Vistín, 2016)



Figura 10: Silos desmontables **Fuente:** (Transformetal)

7.2.2 Silos aéreos horizontales:

Dentro de estos silos, encontramos numerosos tipos entre los cuales están los silos horizontales, silos tipo bunker, silos tipo bolsa, silos subterráneos permanentes. A continuación haremos una breve descripción de los mismos.

7.2.2.1 Silos horizontales:

“Son los silos más o menos largos, construidos sobre el suelo (bunker) Para su construcción se pueden usar diferentes materiales como ladrillo , piedra bloques de cemento concreto o madera” (ICA, Pág. 47)



Figura 11: Silos aéreos horizontales Fuente: (Sami)

7.2.2.2 Silos tipo bunker:

Son silos abiertos utilizados en operaciones de almacenamiento grandes dado que permiten una gran capacidad de almacenaje a un bajo costo (Chirinos et.al., 2015).



Figura 12: Silos tipo Bunker Fuente: (Kroftman)

7.2.2.3 Silos tipo bolsa:

Son tubos hechos en plástico, pesados con diámetro personalizado para su cargué pueden ser cargados por ambos lados pero requieren maquinaria especializada.



Figura 13: Silos tipo bolsa **Fuente:** (cordoba times)

7.2.2.4 Silos subterráneos permanentes:

“Son construidos bajo tierra a manera de trinchera, bien sea en la ladera de una colina o terreno plano (foso)” ideales para aislar el material de condiciones atmosféricas, como la polución y demás contaminantes presentes en el aire. (ICA, p. 47)



Figura 14: Silos subterráneos permanentes **Fuente:** (Agroads)

Como se mencionó anteriormente el alcance de la presente tesis, para efectos del proyecto, las herramientas POKA YOKE serán aplicables únicamente a silos tipo silo de torre que carguen material de tipo sólido.

7.3 DETERMINACION DEL PERFIL DE FLUJO:

En todo procedimiento de los silos, existe una variable determinante para el funcionamiento y medición de los mismos, como lo es el Flujo. Se identifican 2 tipos fundamentales los cuales se describen a continuación.

7.3.1 Flujo de masa:

“Los materiales ensilados se desplazan de manera uniforme hacia el fondo del silo, manteniendo un nivel constante en su superficie, este fenómeno se presenta gracias al descargue homogéneo de materiales, la forma de los conos de la tolva y los posibles arcos de masa sólida que se presentan en la descarga.” (Zuriguel, 2005, p 29)

7.3.2 Flujo interno:

“En este tipo de flujo el material que se encuentra en contacto con las paredes del silo presenta una mayor adherencia gracias a las fuerzas de compactación, lo que genera que el material fluya de manera interna en el silo es decir que sea evacuado en su centro o justo debajo de su orificio de salida.” (Zuriguel, 2005, p 29)

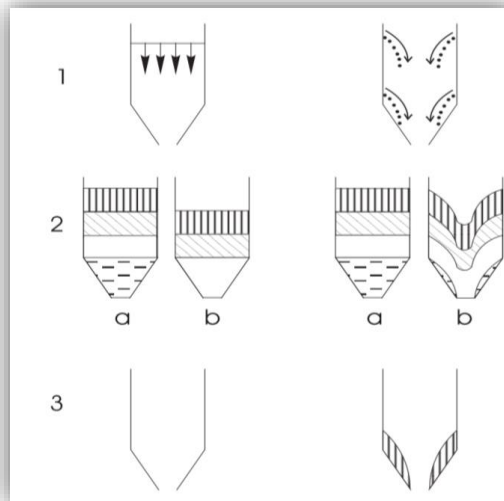


Figura 15: Esquema de los tipos de flujo de un silo **Fuente:** (Idealtec)

En la **figura 15** observamos los dos tipos de flujo, en la derecha se encuentra el flujo interno y en la izquierda el flujo másico o flujo de masa. Identificando las trayectorias de las partículas en las diferentes etapas de evacuación en el interior del silo (Zuriguel, 2005, p 30)

7.3.3 Marco comparativo de flujos:

Tabla 3: Diferencias funcionales de silos mäsicos y de flujo interno

| SILOS DE SILO MASICO | SILOS DE FLUJO INTERNO |
|---|---|
| Las partículas se segregan, pero se reúnen en la descarga. | Las partículas se segregan y permanecen segregadas |
| Los polvos se desairean y no fluyen cuando se descarga el sistema | La primer porción que entra en la última en salir |
| El flujo es uniforme | Puede permanecer productos en puntos muertos, hasta que se realiza limpieza completa del sistema |
| La densidad de flujo es constante | El flujo es errático |
| Los indicadores de nivel funcionan adecuadamente | La densidad puede variar |
| No quedan productos en zonas muertas Donde pudieran degradarse | Los indicadores de nivel se deben situar en puntos clave, para que puedan funcionar adecuadamente |
| Se puede diseñar el silo para tener un almacenamiento no segregado para funcionar como mezcladora | Los silos funcionan bien con sólidos de partículas grandes |

Fuente: (Zuriguel, 2005) modificada por autores

7.4 INFLUENCIA DEL METODO DE LLENADO:

Siguiendo a Zhong (2001) se analizan dos maneras distintas de cargar el silo, basándose en el estudio que realizo acerca de la dependencia del flujo al interior del silo, en función de los métodos que existen de carga o llenado del mismo.

7.4.1 Llenado distribuido:

El material granular es cargado en el silo uniformemente sobre toda su área.

7.4.2 Llenado concéntrico:

El silo es cargado por medio de un embudo ubicado en la parte superior el cual permite llenar el silo gracias a un flujo puntual de material ubicado generalmente en el centro del silo.

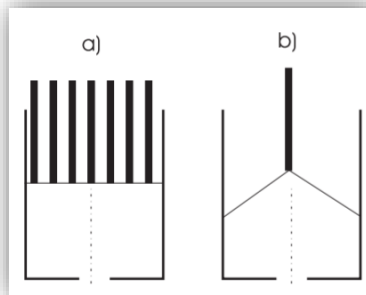


Figura 16: Métodos de llenado de un silo **Fuente:** (Zhong, 2001)

En la **Figura 16** se describen los diferentes métodos de llenado utilizados en el experimento de Zhong (2001) en el cual en el esquema (a) se describe el método distribuido y en el esquema b) el método concéntrico. (Zhong, 2001, p. 756).

“La forma en que es cargado el silo influye de manera directa en la distribución del material dentro del mismo, es decir que es un factor decisivo en el flujo del material, permitiendo obtener un llenado uniforme, concéntrico o de flujo híbrido entre másico e interno, esto gracias a las configuraciones geométricas tanto del silo como de colocación de material en el interior del mismo” (Zuriguel 2005, p.32)

7.5 FALLAS EN LOS SILOS:

7.5.1 problemas por fallas estructurales:

La falla estructural es causada por uno o más errores en el diseño, en la construcción o en el uso, según (Williams y Gracey, 1996)

7.5.1.1 Errores de diseño:

- Insuficiente resistencia de pernos para soportar presiones internas impuestas por el grano almacenado cuando se encuentra cargado, reventado las paredes del silo.
- Resistencia vertical por soportar fuerzas dinámicas durante el vaciado provocado por transportadoras o sistemas de fluidificación
- Información de diseño pobres en detalles dadas al equipo constructor
- Cimientos o terreno débil o inestable
- Posiciones equivocadas o refuerzos de acero insuficientes

7.5.1.2 Errores de usuario:

- Almacenaje de materiales para los cuales el silo no está diseñado
- Modificaciones no autorizadas

7.6 PROBLEMAS POR FALTA DE CAUDAL:

7.6.1 Arqueo/ puente:

La obstrucción es formada por partículas grandes que mecánicamente se entrelazan produciendo el atasco en forma de puente o arco, sobre la salida de la tolva, deteniendo su flujo por efectos de humedad, forma de partículas o temperatura entre otros factores. (Fonseca, García y Zabala, 2013)

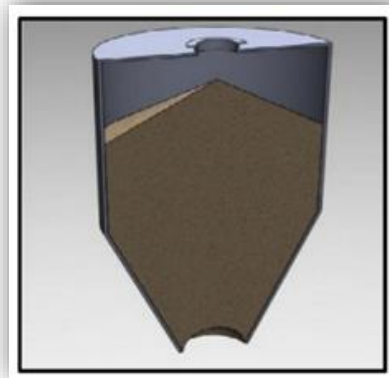


Figura 17: Obstrucción de flujo Arqueo / Puente **Fuente:** (Jenike y Johanson incorporated)

7.6.2 Ratholing:

Es un problema que se presenta gracias a la cohesión de partículas aglomeradas a las paredes del silo lo que impide el flujo uniforme del silo produciendo un canal de flujo ubicado sobre la salida del material.

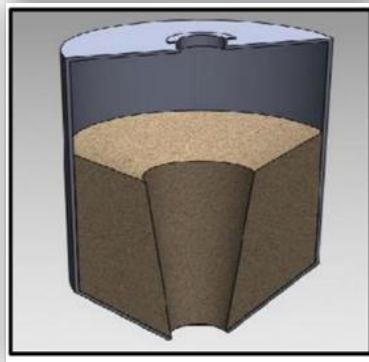


Figura 18: Obstrucción de flujo Ratholing **Fuente:** (Jenike y Johanson incorporated)

Los problemas causados por falta de caudal, dado el flujo que presenta el silo son solucionados con los métodos de fluidificación que más adelante se exponen.

7.7 SISTEMAS DE CARGA:

Las materias primas pueden ser provistas en diferentes formatos según su origen, su proveedor, país de emplazamiento de la planta, etc. (Mc ingeniería, 2015)

7.7.1 Transportadora mecánica:

Para silos destapados mediante un sistema de roce con 3 fases operativas las cuales son, fase de carga por gravedad donde el material particulado es recepcionado desde tolvas, cócleas o válvulas giratoria, para pasar a la fase de transporte mediante elementos flexibles (bandas conectadas a cables cuerdas o cadenas) para ser dispuesto finalmente en la sima del silo nuevamente mediante descarga por gravedad. (Idealtec, 2014).



Figura 19: Transportadora mecánica **Fuente:** (silos córdoba)

7.7.2 Transportadora Aero mecánica:

Sistema utilizado principalmente para material a granel fino, funciona mediante un sistema tubular asistido en su interior por cables tensionados, los cuales transportan a una gran velocidad una serie de discos de plástico insertados en este cable de manera equidistante, creando capsulas en las que es transportado el material granulado, el sistema tubular es presurizado con el fin de aumentar el flujo del material transportado. (Gimat, s.f)



Figura 20: Transportadora Aero mecánica **Fuente:** (Idealtec)

7.7.3 Transportadora con cóclea:

Son dispositivos ubicados en la cima del silo controlados por una válvula que capta material desde cierto punto de recepción hacia mediante el dispositivo denominado cóclea el cual es un brazo tubular con una hélice espiral (tornillo sin fin) en su interior y va empujando el material por medio de un motor atreves de una determinada longitud hasta desembocar en el silo. (Idealtec, 2014)



Figura 21: Transportadora en cóclea Fuente: (Idealtec)

7.7.4 Transportadora neumática:

Es uno de los sistemas más utilizados para la carga y descarga de silos, está conformado por un juego de tuberías y un ventilador, su funcionamiento consiste en alterar las presiones tanto del silo como de las tuberías, para que bajo el principio Bernoulli se facilite el transporte de materiales en un medio neumático, el sistema es más eficiente en el transporte de materiales particulado finos, hasta materiales granulados con un diámetro máximo de 6.35 mm (Perry ,1992). Estas transportadoras funcionan por medio de diferentes tipos de sistemas entre los cuales se destacan:

7.7.4.1 Sistema de presión

El material es evacuado por el fondo del silo mediante una válvula rotativa para ser recibido en una corriente de aire, la velocidad del aire mantiene el material en suspensión y en transporte hasta llegar a su destino en donde por medio de filtros o ciclones es separado del aire para ser apilado o almacenado. (Fonseca, García y Zabala, 2013)

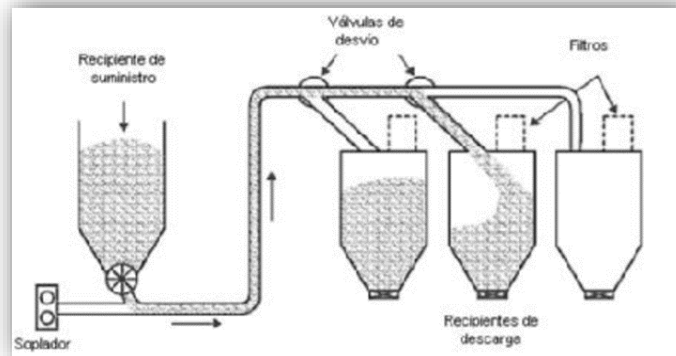


Figura 22: Sistemas de presión **Fuente:** (Fonseca, García y Zabala, 2013)

7.7.4.2 Sistemas de vacío:

Este sistema a diferencia del anterior trabaja con una presión de silo menor, por medio de un soplador se evacua el aire del interior del silo, naturalmente la presión al interior empezara a regularse creando una corriente de aire en sistema de tuberías, el cual empieza a aspirar el material suspendiéndolo en esta corriente de aire para ser transportarlo hacia el interior del silo. (Fonseca, García y Zabala, 2013).

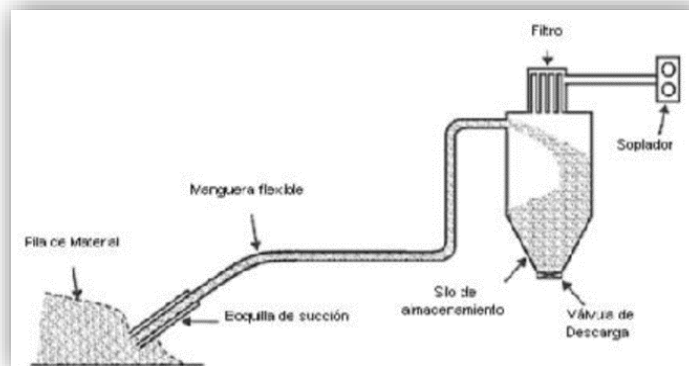


Figura 23: Sistema de Vacío **Fuente:** (Fonseca, García y Zabala 2013)

7.7.4.3 Sistemas de presión – vacío

“Emplea los sistemas de presión y vacío sinérgicamente. En el momento de la carga generan un vacío al interior del silo para que la diferencia de presiones permita succionar material, por otra parte en el momento de la descarga presurizan el silo aumentando su presión para poder facilitar su extracción. El material particulado queda suspendido en el aire en ambos casos para así facilitar su flujo” (Fonseca, García y Zabala, 2013, p. 15)

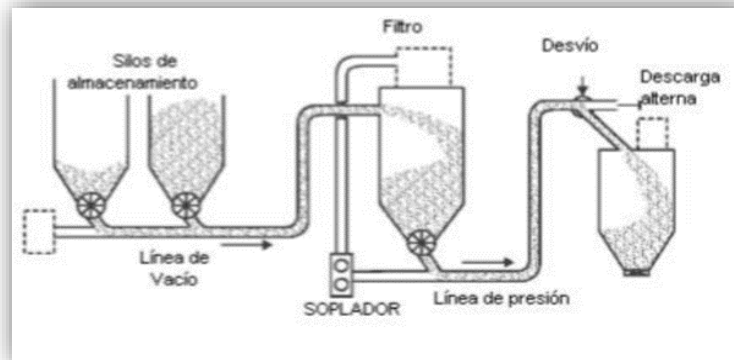


Figura 24: Sistema de presión - vacío **Fuente:** (Fonseca, García y Zabala, 2013)

7.7.4.4 Tanque ventilador

Este sistema funciona por medio de compresores, que aumentan la presión del silo para que el material sea evacuado a una corta distancia a través de su sistema de descarga, este tipo de sistema requiere que el material ensilado tenga una granulometría fina que facilite el flujo y no presente atascos, de lo contrario la presión aumentaría en rangos peligrosos para la estructura del silo. (Perry, 1992)

7.7.4.5 Toboganes Y ductos:

“Los toboganes y los ductos utilizan el flujo por gravedad en la transferencia de grano entre máquinas o contenedores. Deben permitir que el grano fluya libremente. Los ductos varían en pendiente, Tamaño, en el material estructural y en su configuración”, (Williams y Gracey, 1996, Pag.32) Para este sistema de carga es necesario tener un fácil acceso al silo por la parte superior permitiendo el descargue directo mediante bandas transportadoras o descarga directa de vehículos

7.8 SISTEMAS DE VACIADO:

Los silos son descargados por medio de una abertura ubicada en el fondo del silo el cual normalmente es cónico o piramidal conduciendo el material a una salida controlada por medio de una válvula o a un dispositivo de paso. A continuación se describen algunos sistemas de vaciado.

7.8.1 Mangas telescópicas:

Son un sistema de carga y descarga de producto a granel que permite el transporte de material granulado de manera segura y libre de impurezas desde cualquier tipo de dispositivo de almacenamiento, mediante una operación de acople sencilla que permite el direccionamiento responsable del material. (Stolzsa, s.f)



Figura 25: Mangas telescópicas **Fuente:** (Palamatic)

7.8.2 Fondo con bandas

El material evacuado del silo cae sobre una banda soportada por rodillos, los cuales rotan y permiten que el material sea transportado hacia el rodillo de retorno mediante el accionamiento de un motor. El material es expulsado fuera de la banda transportadora gracias a la fuerza de gravedad.



Figura 26: Vector fondo con Banda **Fuente:** (INGQPETER)

Este principio de trabajo también es aplicado en las transportadoras de cadena, transportadoras inclinadas y verticales las cuales funcionan bajo el mismo principio pero en lugar de bandas tienen guarda polvos plegables (o paletas de diferentes profundidades) y rieles sobre los cuales el material es transportado mediante una cadena engranada a un motor (Williams y Gracey, 1996, p. 39)

7.8.3 Fondo de tornillo

Este tipo de transportadoras y elevadoras versátiles pueden ser modificadas y extendidas fácilmente, sin que lleguen a sobrecargarse los motores. Está constituido por una espiral enrollada sobre un eje colocado dentro de un tubo delgado de acero, el grano que se alimenta en un extremo del tubo es empujado al otro extremo del tornillo.

Luego es activado por un motor eléctrico, los ejes helicoidales grandes pueden tener un pequeño motor de combustión interna en lugar de un motor eléctrico, el motor puede ubicarse en la mitad del tubo para balancear cargas, y por último la demanda de energía es proporcional a la longitud y diámetro del helicoidal. (Williams y Gracey, 1996).

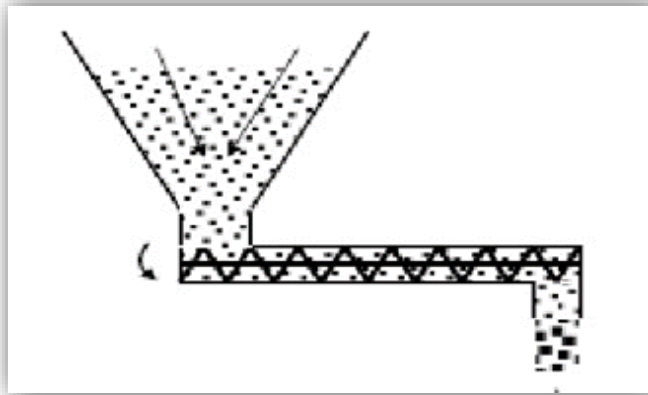


Figura 27: Vector fondo de tornillo **Fuente:** (INGQPETER)

7.8.4 Fondo con cóclea:

Son dispositivos ubicados en el fondo del silo controlados por una válvula que permite el paso hacia el dispositivo denominado cóclea el cual es un brazo tubular con una hélice espiral (tornillo sin fin) en su interior y va extrayendo el material por medio de un motor a través de una determinada longitud. (Idealtec, 2014).



Figura 28: Fondo con cóclea **Fuente:** (AESSE)

7.9 SISTEMAS DE FLUIDIFICACION:

La función de estos dispositivos es la de evitar atascos de material, para ello es necesario que los materiales se comporten como un líquido de manera fluida, por lo tanto en algunos casos es necesario tener sistemas de fluidificación. Como lo pueden ser vibradores sobre las paredes del depósito, chorros de aire desde su interior o martillos entre otros que vamos a conocer a continuación.

7.9.1 Fondo Vibrante:

Por medio de la percusión del silo se busca impedir la cohesión del material almacenado y así evitar atascos, estos sistemas son utilizados normalmente en sólidos granulados, las vibraciones generadas por el dispositivo son transmitidas al material, acelerándolas para que se encuentren en movimiento constante repeliéndose entre sí y permitiendo que fluyan a través del sistema de descarga. (Zhong, Ooi y Rotter, 2001)

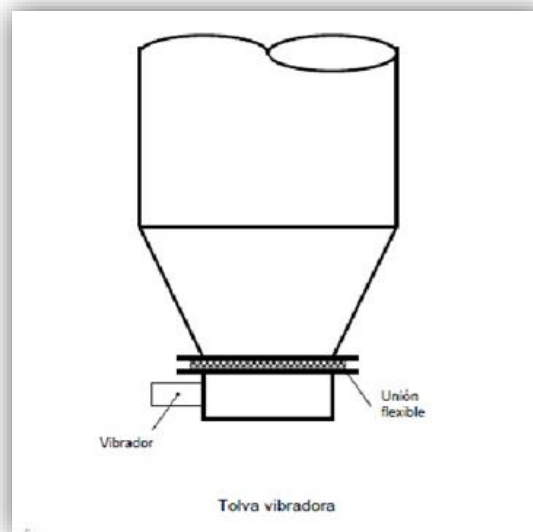


Figura 29: Vector fondo vibrante **Fuente:** (INGQPETER)

7.9.2 Fondo ventilado:

Este tipo de sistema es especialmente utilizado en silos con materiales perecederos, los cuales constantemente presentan problemas de Ratholing, funciona gracias a tubos de aireación los cuales disparan ráfagas de aire desprendiendo todo el material que pueda quedar pegado a las paredes del silo, previniendo la germinación de semillas y el moho, gracias a un descargue completo de material.

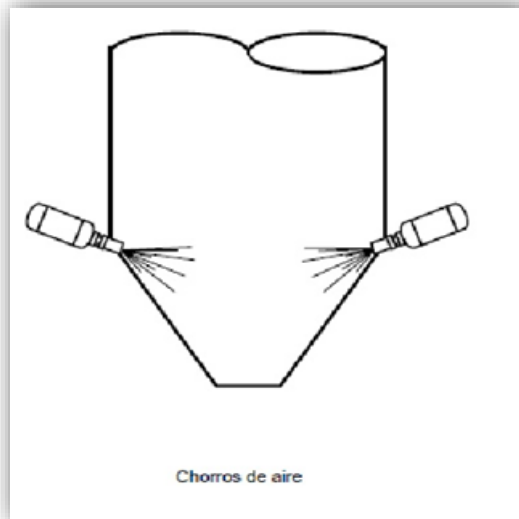


Figura 30: Vector fondo ventilado **Fuente:** (INGQPETER)

7.9.3 Cañones de aire

Tiene la ventaja de no permitir por medio de ráfagas de aire, la acumulación de material en las paredes del silo, así como evitar que haya obstrucciones en los puertos de descarga. (Martin Engineering, s.f)

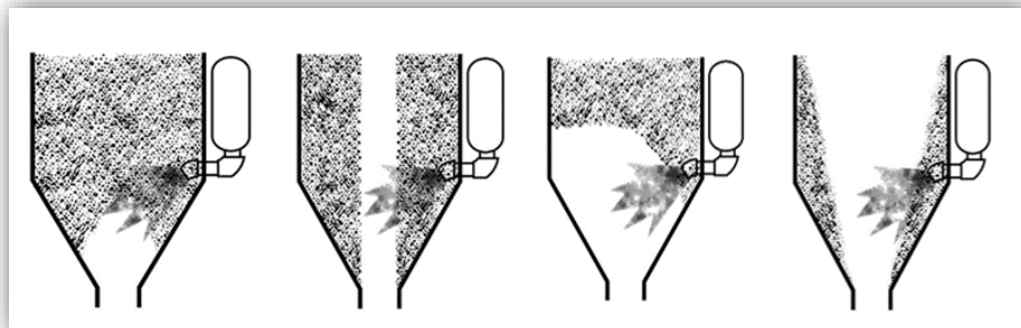


Figura 31: Proceso de vaciado con cañón de Aire **Fuente:** (ERSE)

7.9.4 Martillo percutor neumático:

Son útiles para polvos que tienden a compactarse bajo presión, así como con polvos muy finos y secos. Mediante ondas percutores permite la fluidificación del material. (Direct Industry, 2020)

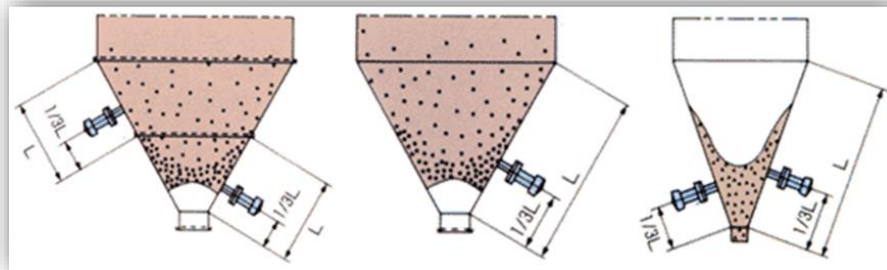


Figura 32: Vector de Martillo Percutor Neumático **Fuente:** (KLSX)

7.10 VALVULAS DE PASO DE MATERIAL:

Las válvulas son una pieza fundamental para cualquier silo funcional, mediante estas se controla el paso de material granulado a través de los diversos sistemas de carga, descarga o almacenaje.

7.10.1 Válvula de mariposa:

Son válvulas diseñadas para soportar una gran cantidad de peso por lo que resultan ideales para la descarga de silo, están hechas en acero al carbón y son accionadas manualmente, su uso más común es en el manejo de materiales granulares sólidos. (Scutti América, s.f)



Figura 33: válvula mariposa **Fuente:** (Scutti América)

7.10.2 Válvula rotativa:

Este tipo de válvulas usadas normalmente en productos de fina granulometría, permiten la extracción y dosificación del material que pasa, gracias a su diseño de cavidades que regulan el paso de material, cuenta con una hélice conectada a un motor, este último determina la velocidad del flujo. (Palamatic Process, 2020)

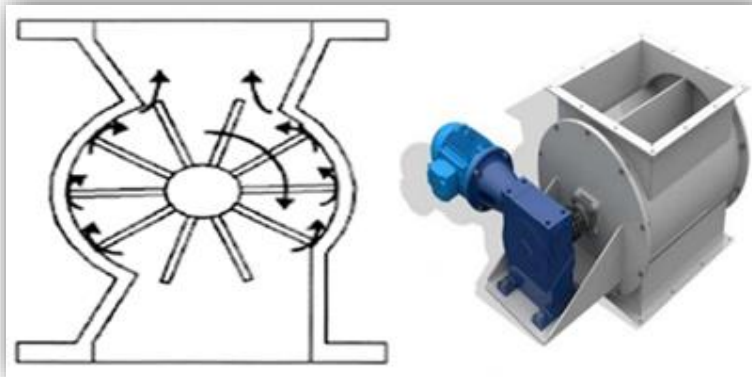


Figura 34: Válvula Rotativa **Fuente:** (Molinero Revista Miller)

7.10.3 Válvulas guillotinas:

Su acoplé puede ser rectangular o circular dependiendo el silo, permite el manejo de grandes cargas por lo que resultan apropiadas para su utilización en silos, el diseño de la válvula facilita el proceso de descarga y previene atascamientos de material. (VAYCOM, 2017)



Figura 35: Válvula Guillotina **Fuente:** (VAYCOM)

7.10.4 Válvulas tipo bola:

Son utilizadas normalmente para el llenado de silo en serie montados en una línea común de transporte neumático. Se monta directamente en la boquilla de llenado del silo correspondiente sin ninguna suplemento intermedio. Son diseñadas para trabajos de alta presión. (Direct Industry, 2020)



Figura 36: Válvula Tipo Bola **Fuente:** (FCA)

7.10.5 Válvulas de control de presión:

Son válvulas de alivio que buscan regular la presión interna del silo con la atmosférica para prevenir daños estructurales al silo a causa de la implosión, son indispensables en silos que cuenten con sistemas de carga y descarga de presión o vacío, estas válvulas pueden ser mecánicas o en algunos casos electrónicas dotadas de sensores que indican el estado (expulsión/introducción) de la válvula. (M & P, s.f)

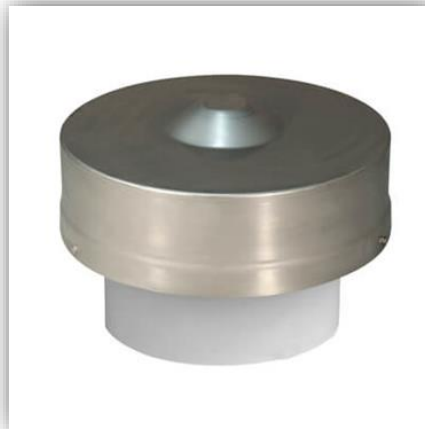


Figura 37: Válvula de control de presión **Fuente:** (M & P equipos y componentes industriales)

8. EVALUCION DE LOS METODOS DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE PROCESOS DE ALMACENAMIENTO Y CARGA EN SILOS

Es fundamental resaltar que en todo proceso de cualquier industria manufacturera, es de vital importancia hacer un adecuado control de ciertas variables y elementos fundamentales dentro del proceso. Uno de los procedimientos que sin duda necesita un mayor control es el de almacenamiento en silo, ya que de este depende tanto el correcto funcionamiento del proceso como un adecuado control de materias primas, producto en proceso o de productos finales.

Actualmente existen diferentes Métodos de medición de los niveles en silos, lo principal a tener en cuenta es que dichos métodos se componen de instrumentos que pueden dividirse según el estado del material que se almacene o que este en proceso, ya sean líquidos o sólidos. Las mermas o desperdicios en un proceso pueden llegar a generar pérdidas, y por ende errores en sus procesos y productos terminados, lo cual sin duda repercute en la satisfacción del cliente y a su vez en la reputación de la empresa. Por tal motivo es vital hacer un control a esta variable.

8.1 GENERALIDADES DEL CONTROL DE PROCESOS:

Un sistema de control de procesos según Arbildo “nos permite tomar medidas de variables que hacen posible el funcionamiento de un proceso, la ejecución de acciones y la toma de decisiones. Por medio de su análisis y parámetros de evaluación, nos arroja información que puede ser utilizada con fines de control de calidad, control de producción, manejo de materiales e incluso con fines de mantenimiento.” (2011, p. 35).

El soporte que estas medidas representan para los procesos que utilizan un control adecuado les permite a estas empresas disminuir la incertidumbre de las variables más importantes en un proceso. Es por ello que sin duda un control de procesos eficiente, junto con un dispositivo POKA YOKE permitirá a cualquier industria impedir los errores que se puedan llegar a presentar, evitando que estos se conviertan en defectos y afecten de manera contundente la calidad de los productos y/o procesos.

8.1.1 Tipos de sistemas de control de procesos:

Existen dos formas para alcanzar el control industrial. “las dos condiciones de control en un proceso, se basan en el principio manual y automático, los cuales también se conocen respectivamente como lazo abierto o lazo cerrado.” (Enríquez, 2012, p. 16). Se considera como control de lazo abierto cuando el control del sistema se hace manualmente, y de lazo cerrado cuando se hace automáticamente.

8.1.1.1 Lazo abierto:

El principio de este tipo de control es sencillo, simplemente el operador se encarga de medir, comparar y corregir, la variable en cuestión. Como ejemplo claro de este sistema y que se acopla a la medición de nivel (variable de estudio y a controlar en esta investigación) en la figura 38 se observa, “la acción que realiza una persona al cargar un tanque con agua. Al abrir la válvula, se inicia el proceso de llenado y cuando el agua ha completado a su nivel correcto, el operario cierra la válvula”. (Enríquez, 2012, p. 16)

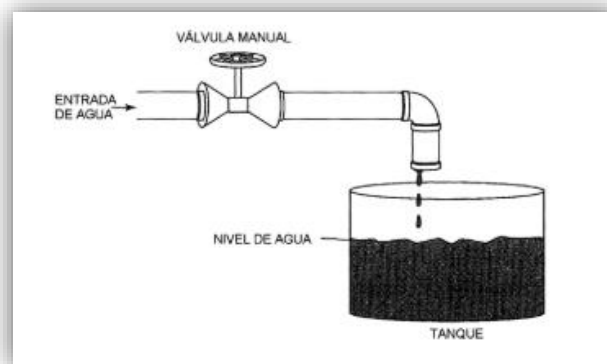


Figura 38: Ejemplo de control de lazo abierto Fuente: (Enríquez, 2012)

8.1.1.2 Lazo cerrado:

“Reemplaza las funciones del operario, en consecuencia se alcanza el mismo resultado que el caso anterior de manera automática, la diferencia radica en que estos sistemas requieren de circuitos electrónicos y tecnología adecuada para realizar el control.” (Lara et al, 2012, p. 16)

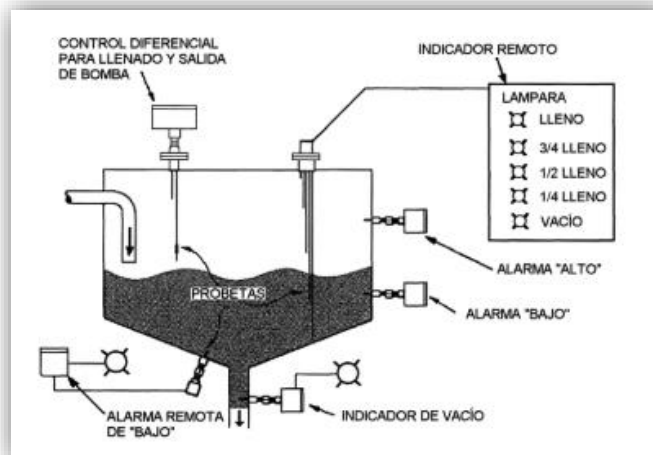


Figura 39: Ejemplo sistema de control de lazo cerrado Fuente: (Enríquez, 2012)

8.1.2 Partes de un sistema de control:

Los componentes de un control básico de un sistema son el proceso a controlar, un registrador, un indicador, la unidad de medida y una pieza final de control. Dichos componentes conforman el lazo de control ya sea abierto (Modo manual) o cerrado (Modo automático).

“El control automático de procesos o de lazo cerrado requiere la medición de una variable a controlar por medio de instrumentos, los cuales permitirán indicar un valor referencial que soporte la toma de decisiones por parte de los operarios.” (Lara et al, 2012, p. 16)

8.2 METODOS DE MEDICION DE NIVEL DE SILOS:

Para la medición de nuestra variable de estudio “El nivel de silos” se deben tener en cuenta un factor fundamental, como lo son el tipo de material a controlar en el silo ya sea líquido o sólido, de este dependerá cada uno de los instrumentos o medidores de nivel que nos permitan ser precisos, exactos y efectivos en esta medición.

Entre los principales métodos que se encuentran para la medición de niveles de silos y los cuales se adaptan a cada material (sólido o líquido) encontramos los interruptores de niveles capacitivos, conductivos, giratorios y con ultra sonido.

8.2.1 Interruptores de nivel capacitivo:

Su principio de medición se basa en la formación de dos electrodos de un condensador a partir de un sensor capacitivo y el depósito, al cambiar el nivel del silo se genera a su vez una variación en la capacidad del mismo, lo cual inmediatamente emite una señal de conmutación. Debido a su principio se utiliza principalmente como alerta para prevenir el sobrellenado o la marcha en seco del silo. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)

8.2.2 Interruptores de nivel conductivos:

Su uso comúnmente es para controlar el nivel de silos que almacenan líquidos, ya que se compone de electrodos que al hacer contacto con un líquido conductor, genera una corriente alterna para inmediatamente permitir la activación de una señal de conmutación, para cumplir con la función por la cual se implementó ya sea de prevención de sobrellenado, control de bombas o protección contra marcha en seco. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)

8.2.3 Interruptores de nivel giratorios:

Es un sensor ideal para cumplir funciones de control de llenado, vaciado y a su vez para servir de alerta en el control de sólidos granulados, esto se logra gracias a que su componente principal es un cabezal robusto hecho de polímero el cual junto con el diseño compacto, permiten la rotación de una paleta que se detiene cuando queda cubierta de sólidos, generando así la indicación del nivel. (Endress, s.f.)

8.2.4 Interruptores de nivel con ultra sonido:

La indicación del nivel se logra sin contacto con el material, a través de la generación de impulsos ultrasónicos en dirección hacia el producto almacenado, a los cuales se les mide el tiempo de recepción desde que se emite la señal. Son flexibles para utilizarse en el almacenamiento tanto de líquidos como sólidos. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)

8.3 MEDIDORES DE NIVEL DE SOLIDOS:

Teniendo en cuenta que la gran cantidad de productos y materias primas manejadas comúnmente son a granel, la presente tesis ha determinado estudiar a detalle el almacenamiento de materiales sólidos, y por ello toma como referente principal los medidores de nivel de sólidos en el diseño de las herramientas POKA YOKE.

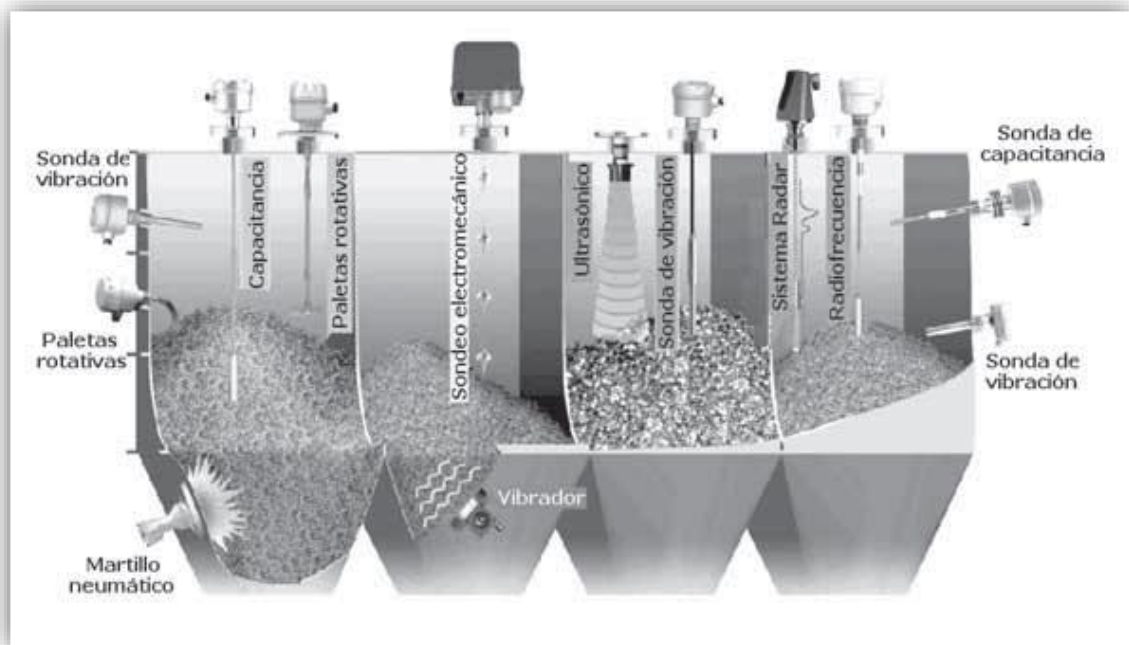


Figura 40: Medidores de nivel de sólidos **Fuente:** (Creus, 2010)

Los procesos industriales han ido exigiendo el avance de herramientas e instrumentos que permitan medir el nivel de sólidos en puntos fijos o de forma continua. En este orden de ideas se clasifican los medidores según el estado de la medición, en medidores de nivel de punto fijo y de nivel continuo.

Actualmente existen numerosos instrumentos de medición de nivel de sólidos, tomando como referencia el autor (Creus, 2010). Entre los más comunes encontramos.

8.3.1 Detectores de nivel de punto fijo:

Mide el nivel en uno o varios puntos, que ya han sido determinados y los cuales quedan fijos para realizar la medición.

8.3.1.1 Detectores de diafragma:

“Sus componentes principales, son un interruptor, y un diafragma o también conocido como una membrana flexible que se encuentra ubicado en el interior del silo, el cual puede ser de distintos materiales como goma, tela, fibra de vidrio o neopreno. El sistema funciona al entrar en contacto el material con el diafragma que a su vez se activa con el interruptor. Es más efectivo en silos que almacenen materiales de muy diversa densidad y tienen la ventaja de ser de bajo costo. La exactitud es el +/- 50 mm”. (Creus, 2010, p. 228)

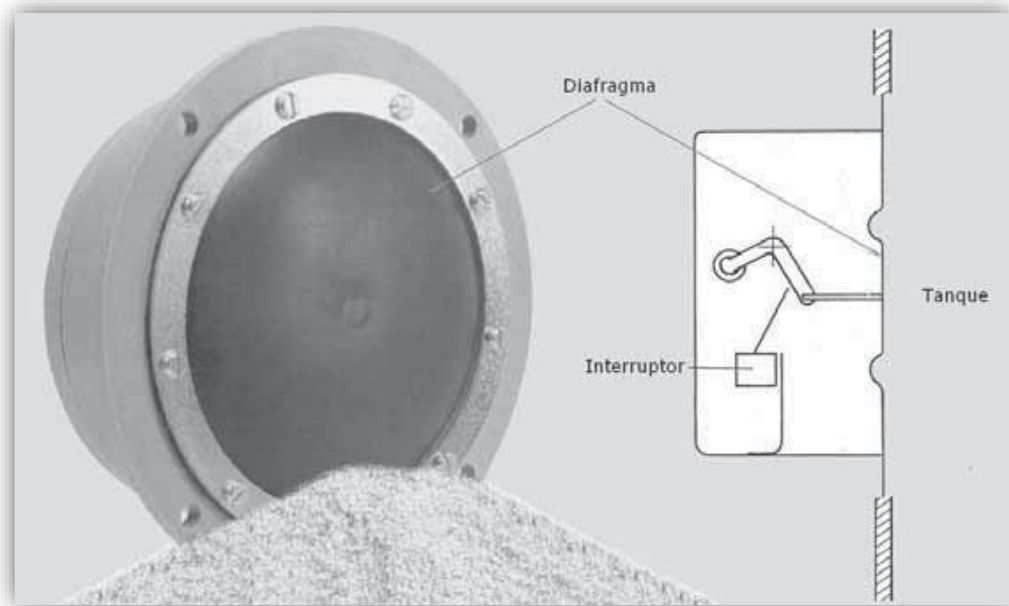


Figura 41: Detector de nivel de punto fijo

Fuente: (Kobold) – (Creus, 2010)

8.3.1.2 Interruptores de nivel alto

“Son instrumentos en forma de varilla flexible, paleta o tubo, al entrar en contacto con el sólido genera que un micro rruptor se active para realizar la medición. Su ubicación se encuentra en la parte lateral o superior del silo, pero tienen la desventaja de solo utilizarse en silos abiertos y necesitan de bastante protección La exactitud es el +/- 25 mm”. (Creus, 2010, p. 228)

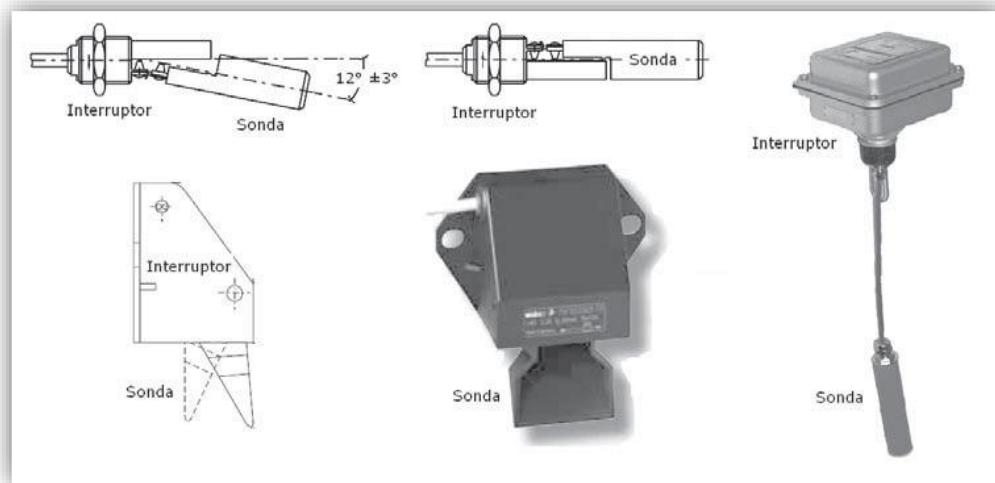


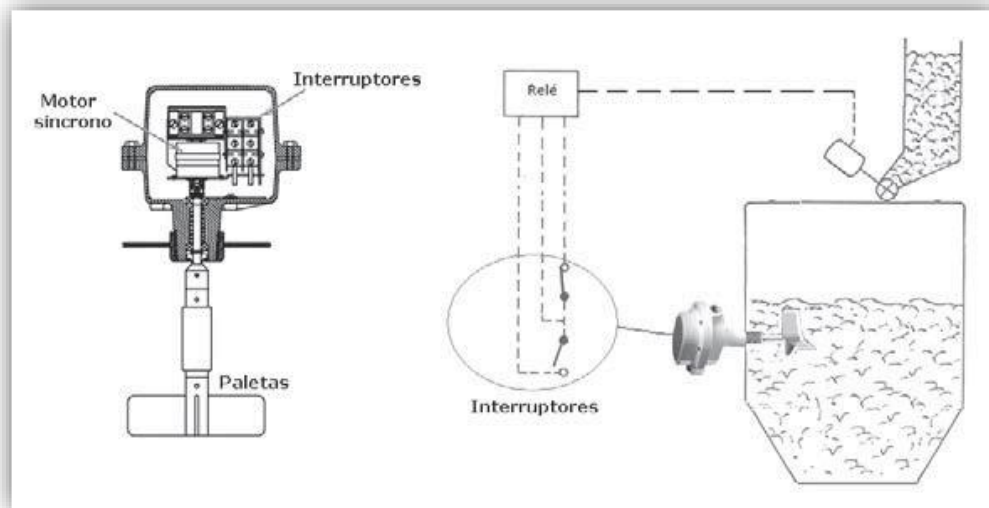
Figura 42: Interruptores de nivel alto **Fuente:** (Elobau), (Braime), (Creus, 2010)

8.3.1.3 Medidor capacitivo:

“Su ubicación es en forma vertical o inclinada y se debe ajustar un punto crítico. Para la medición es fundamental que su sensibilidad sea mínima para evitar posibles errores en la medición, el instrumento entra en oscilación cuando esta próximo al sólido e indica el nivel, gracias a un circuito oscilante que lo compone. La exactitud es el +/- 25 mm”. (Creus, 2010, p. 229)

8.3.1.4 Paletas rotativas:

“Debido a su principio de funcionamiento son efectivos para la detección de nivel de silos que contengan materiales granulares y carbón Su funcionamiento empieza cuando el motor del instrumento se acciona, haciendo rotar unas paletas ubicadas en un eje vertical. Al hacer contacto el material que se encuentra en el interior del silo con las paletas rotativas, se emite la alarma indicando que en el punto donde se ubicó el medidor se encuentra el nivel del silo, usualmente es una alarma visual. Posteriormente se detiene la rotación de las paletas lo que genera que se empiece una rotación invertida hasta que el nivel baje y ya no haga contacto con la paleta, e inmediatamente se apaga la alarma visual. Tiene una exactitud del +/- 25 mm”. (Creus, 2010, p. 229)



Figuran 43: Paletas Rotativas **Fuente:** (Creus, 2010)

8.3.1.5 Detector de vibración:

“Se adecua para una gran variedad de materiales principalmente carbón, polvos, azúcar cemento, grano y arena. Está compuesto por un sistema resonante mecánico y funciona gracias a una sonda de vibración que por lo general tiene forma de horquilla, al material hacer contacto con esta, se actúa sobre una alarma programada en un tiempo de retardo ajustable. La exactitud es el +/- 1%”. (Creus, 2010, p. 229)



Figura 44: Detector de Vibración **Fuente:** (OPTISWITCH) - (Creus, 2010)

8.3.2 Los medidores de nivel continuo:

En esta categoría se encuentran numerosos instrumentos, cuyo principio es la detección continua del nivel, en cualquier punto desde el más bajo hasta el más alto. A continuación de describen los principales medidores continuos.

8.3.2.1 Medidor de nivel de sondeo electromecánico

“El manejo de la medición se basa en un programador y un motor ubicados por fuera del silo, estos componentes establecen un ciclo de trabajo de una pesa, la cual se encuentra suspendida dentro del silo y al mismo tiempo sostenida por un conjunto de cables y poleas. El ciclo de trabajo se interrumpe cuando el peso choca con el material sólido, en este instante se invierte el sentido del ciclo y simultáneamente un indicador exterior señala el punto de se invirtió el movimiento, indicando el nivel del silo, hasta ascender a la parte superior del silo donde nuevamente se interrumpe y se invierte nuevamente el movimiento, para iniciar un nuevo ciclo de medición. La exactitud es el +/- 1%.” (Creus, 2010, p. 230)

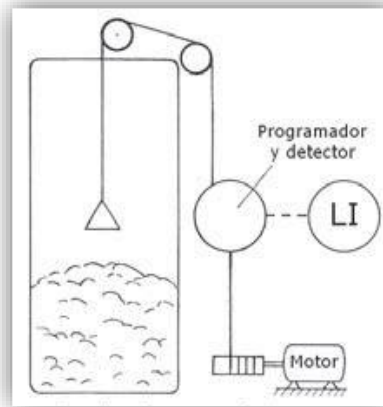


Figura 45: Medidor de nivel de sondeo electromecánico **Fuente:** (Creus, 2010)

8.3.2.2 Medidor de nivel de báscula:

“El nivel es detectado gracias a la relación del peso del silo con el peso del material que se está almacenando, y a su vez con el peso del conjunto (material – silo). La medición se logra gracias a una báscula que se encuentra en la plataforma de carga del silo, indicando las relaciones de peso y a su vez la medida del nivel. (Creus, 2010, p. 230)

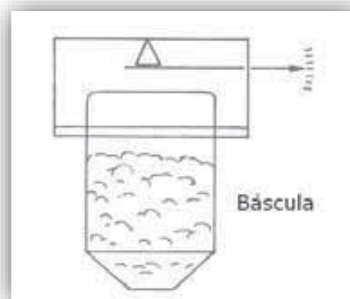


Figura 46: Medidor de nivel de báscula **Fuente:** (Creus, 2010)

8.3.2.3 Medidor de nivel capacitivo:

“Consiste en una varilla que se sitúa en la parte superior del silo en forma vertical, la cual lee el nivel del silo en relación a la variabilidad de la densidad del sólido. Su principal defecto es que tiene un intervalo de error alto porque es susceptible a la adherencia del material en la varilla, lo cual no indica una medición exacta. Tiene desventajas al limitar su uso únicamente a materiales en polvo o granulares pero que sean buenos aislantes para los cuales debe calibrarse la herramienta según sea el tipo de material, además de limitar la presión y la temperatura de los mismos. Su precisión es de unos ± 15 mm aproximadamente”. (Creus, 2010, p. 231)



Figura 47: Medidor de nivel capacitivo **Fuente:** (Creus, 2010)

8.3.2.4 Medidor de nivel de ultrasonidos:

“Por medio de un emisor y un receptor de ultrasonidos, ubicados en los extremos opuestos del silo. Se evalúa el nivel de acuerdo al haz que se emite y se recepta, cuando los sólidos se cruzan con el haz se emite una alarma para indicar dónde está el nivel y a su vez emite una señal a la maquinaria de descarga. Su exactitud es de, $\pm 0,15$ a, $\pm 1\%$ ”. (Creus, 2010, p. 232)

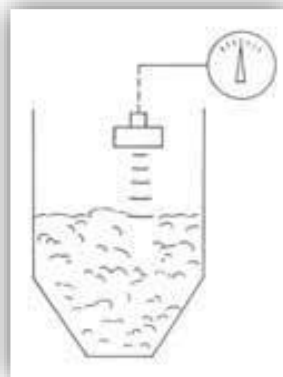


Figura 48: Medidor de nivel de ultrasonidos **Fuente:** (Endress+Hauser), (Creus, 2010)

8.3.2.5 Medidor de nivel de radiación:

“Consta de una fuente y un receptor de rayos gamma (por lo que solo aplica para materiales que no se vean afectados por la radioactividad), situadas en la parte interior del silo y en el exterior del mismo, la radiación que se emite traspasa los sólidos almacenados. El nivel se mide por el grado de radiación que se detecta, el cual depende el espesor del solido almacenado. Su exactitud es del $\pm 1\%$ ”. (Creus, 2010, p. 232)

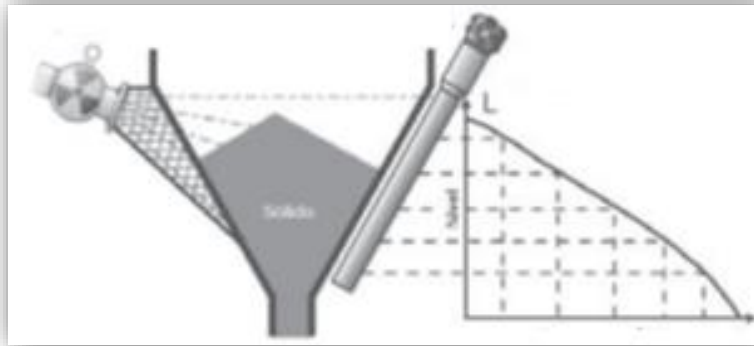


Figura 49: Medidor de nivel de radiación **Fuente:** (Endress+Hauser), (Creus, 2010)

8.3.2.6 Medidor de nivel de radar de microondas:

“Es un medidor ideal para productos como el asfalto debido a su alta viscosidad. El nivel es medido a través de un haz de microondas emitidos desde la parte superior del silo, por una fuente situada en este punto, este haz a su vez se capta por un detector, una vez este se ha reflejado en los sólidos que se encuentran al interior del silo Su exactitud es de $\pm 2\text{ mm}$ ”. (Creus, 2010, p. 233)



Figura 50: Medidor de radar **Fuente:** VEGA, (Creus, 2010)

8.3.2.7 Medidor de nivel laser:

“Este medidor trabaja basándose en impulsos que son enviados por un sensor, los cuales se captan al reflejarse en los sólidos del interior del silo, para posteriormente ser medidos de acuerdo variables como la velocidad de la luz y el tiempo que tarda el impulso laser entre el emisor y el receptor. Su exactitud es del $\pm 1\%$ ”. (Creus, 2010, p. 233)



Figura 51: Medidor de laser **Fuente:** (K-TEK), (Creus, 2010)

De igual forma es necesario que los medidores anteriormente descritos, se integren y complementen con otros factores para lograr una medición exacta y precisa del nivel de silos, tales como son los sensores de medida y los indicadores o instrumentos de visualización que junto con otros accesorios permitirán diseñar el dispositivo POKA YOKE preciso para la medición de niveles de silo.

Actualmente existen numerosos proveedores que ofrecen dichos sensores, así como una correcta asesoría para la elección del que más se acople a las necesidades y a la industria en la que se desea implementar.

8.4 EVALUACION DE MEDIDORES DE NIVEL PARA SOLIDOS:

Tomando como referencia al autor (Creus, 2010), y la identificación de los diferentes medidores de nivel de silos que almacenan materiales sólidos, se procede a realizar un análisis de las desventajas y ventajas de cada medidor, para luego de esta forma ser evaluados y determinar el tipo de medidor más apropiado.

En la tabla 4 condensamos los factores más importantes del anterior numeral, para obtener una perspectiva general y así luego, establecer una tabla comparativa de criterios de las principales propiedades de los medidores de nivel de solidos anteriormente identificados, para su posterior evaluación.

Tabla 4: Compendio de características para la selección del medidor de nivel

| TIPO DE MEDIDOR | DETECTOR DE NIVEL DE PUNTO FIJO | DETECTOR DE NIVEL CONTINUO | EXACTITUD | TIPO DE SILO QUE MIDEN | | DESVENTAJAS | VENTAJAS |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------|------------------------|---------|---|---|
| | | | | ABIERTO | CERRADO | | |
| Diafragma | SI | NO | 0,5 +/- | SI | SI | No admite materiales granulares | Bajo costo, para materiales de baja densidad |
| Capacitivo (De proximidad) | SI | NO | 5,2 +/- | SI | NO | Permite la adherencia de los materiales | Bajo costo |
| Paletas rotativas | SI | NO | 5,2 +/- | SI | NO | Tanques abiertos | Admite materiales a prueba de explosión |
| Vibración | SI | NO | 1 +/- | SI | SI | Tanques abiertos | Variedad de materiales pulverizados |
| Sondeo electromecánico | NO | SI | 1 +/- | SI | SI | Baja exactitud en la medición | Sencillo, bajo costo, admite gran variedad de materiales sólidos granulares |
| Bascula | NO | SI | 0,5 +/- a 1% | SI | SI | Costo elevado | Exacto y seguro, admite altas presiones y temperaturas |
| Capacitivo | NO | SI | 1,5 +/- | SI | SI | Adherencia de materiales, requiere calibración continua | Bajo costo |
| Ultrasónico | SI | SI | 0,15 a 1% +/- | SI | SI | Costo medio, da señales erróneas dependiendo la superficie del sólido | Para materiales opacos y transparentes |
| Radar | SI | SI | 2 +/- | SI | SI | Costo medio | Productos muy viscosos |
| Radiación | SI | SI | 1% | SI | SI | Costo elevado | Silos sin aberturas, para productos corrosivos y peligrosos |
| Laser | SI | SI | 1% | SI | SI | Costo elevado | Todo tipo de tanques, no hay dispersión del haz de luz |

Fuente: (Creus, 2010) Modificada por autores

8.4.1 Matriz de evaluación cualitativa y cuantitativa del medidor de nivel

Tabla 5: Convenciones para matriz de evaluación cualitativa y cuantitativa

| TABLAS DE CONVENCIONES | | | |
|---|---------|---|------------|
| CONVENCIONES DE CUMPLIMIENTO | VALORES | CONVENCIONES DE PRIORIDAD (IMPORTANCIA) | PUNTUACIÓN |
| El criterio evaluado cumple plenamente lo solicitado | 5 | Muy importante | 9%-10% |
| El criterio evaluado cumple con lo solicitado | 4 | Importante | 7%-8% |
| El criterio evaluado más o menos cumple con lo solicitado | 3 | Medianamente importante | 5%-6% |
| El criterio evaluado cumple escasamente solicitado | 2 | Poco importante | 3%-4% |
| El criterio evaluado no cumple con lo solicitado | 1 | No es importante | 1%-2% |

Fuente: Autores

Tabla 6: Matriz de evaluación cualitativa y cuantitativa del medidor de nivel

| Criterios | Tipos de sistemas de medición de nivel en silos de almacenaje de material sólido | | | | | | | | | |
|---|--|------------|------------|------------|------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | Importancia | Diafragma | Capacitivo | Rotativo | Vibrante | Sondeo electromecánico | Bascula | Radar | Radiación | Laser |
| Detector de nivel continuo | 10% | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| Grado de exactitud en la medición del nivel | 10% | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 |
| Aplicable a silos cerrados | 6% | 5 | 1 | 1 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Aplicable a silos abierto | 8% | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Económico | 10% | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sirve en presencia de material particulado | 8% | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 1 | 2 | 1 |
| Sirve para materiales explosivos | 5% | 1 | 2 | 5 | 2 | 5 | 5 | 4 | 1 | 3 |
| No requiere mantenimiento periódico | 8% | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 |
| Soporta altas temperaturas | 7% | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| Soporta altas presiones | 6% | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| No requiere personal calificado para su utilización | 7% | 5 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 |
| Tiene en cuenta el flujo del material | 5% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 4 | 5 |
| Tiene en cuenta el problema de arqueo | 4% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| No se ve afectado con sistemas de fluidificación | 6% | 4 | 5 | 5 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| CALIFICACION | 100% | 2,9 | 2,6 | 3,1 | 2,8 | 4,0 | 3,9 | 3,0 | 2,9 | 3,1 |

Fuente: Autores

Para la realización de la matriz de evaluación cualitativa y cuantitativa del medidor de nivel **tabla 6** (si desea ver esta tabla a mayor detalle diríjase al **anexo 1**), se realizó una puntuación a cada uno de los criterios influyentes para el funcionamiento de los diferentes medidores, ingresando valores porcentuales en la casilla de importancia. Posteriormente a partir de las convenciones establecidas para la evaluación, se asignaron valores a cada medidor bajo la perspectiva establecida por la **tabla 4** (Compendio de características para la selección del medidor de nivel). Obteniendo como resultado que el medidor más indicado para el diseño de la herramienta POKA YOKE es el medidor de sondeo electromecánico, ya que es el que más se ajusta a la medición de materiales granulares, además destacamos su sencillez y bajo costo. Cabe aclarar que este medidor por si solo (sin modificaciones) no tiene una exactitud confiable en la medición, por tal razón pensamos que es necesario añadirle un factor de innovación a través de sensores que permitan aplicar el principio JIDOKA (Automatización con un toque humano) para que ofrezca una medición precisa y exacta del nivel del silo.

8.5 SENSORES DE MEDIDA DE NIVEL PARA SOLIDOS:

Los artefactos tales como son los sensores, los interruptores y los indicadores detectan o miden variables tales como el movimiento, la velocidad, el nivel, la temperatura, la humedad, la vibración, el sonido, el humo y la presión (...) Los sensores de nivel se utilizan en silos, para indicar que tan llenos están (Williams y Gracey, 1996, p. 115)

Tomando como referencia la empresa Vega - Instrumentos S.A y haciendo el filtro para medidores de detección de nivel y para materiales solidos encontramos entre los principales:

8.5.1 Interruptor capacitivo compacto:

“Es un sensor de contacto inalámbrico que utiliza como principio de trabajo la detección mediante resistencia electromagnética, la deflexión (desvió en la dirección de una corriente) de un diafragma, de un péndulo, o de la rotación de una paleta.” (Williams y Gracey, 1996, p. 115)

Contiene un interruptor de nivel válido para su uso en sólidos ligeros a granel. Se adapta para las industrias de alimentación, bebidas y farmacéutica.

Su principal uso es en los silos de molinos trituradores en los se prepara la malta para la maceración. Durante el proceso de molienda, es importante tener un flujo continuo de malta. Si el molino funciona sin malta, el desgaste aumenta y puede derivar en una avería. Para evitar que el proceso se realice sin material, se monitoriza el nivel límite. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)

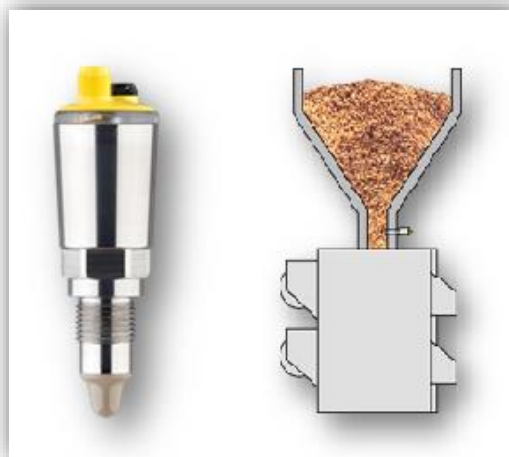


Figura 52: Interruptor capacitivo compacto **Fuente:** (VEGA INSTRUMENTOS S.A)

8.5.2 Interruptor de nivel vibratorio para sólidos granulados:

Un transmisor piezoeléctrico de pila excita un vibrante por medio de un voltaje alterno generando una frecuencia que al encontrarse con material sólido la oscilación se amortigua cambiando de oscilación, el cambio es analizado y convertido en una señal de conmutación lo que significa que se encuentra en contacto con el material. (Endress y Hauser, 2019)

Su aplicación principal es la detección del nivel máximo o mínimo, pero para la exactitud de la medición, se requiere que el vibrante que en la mayoría de los casos es una varilla no contenga orificios que permitan una adhesión de los materiales. Es principalmente usados en los silos de cebada y para la producción de malta en silos de hasta 20 metros de altura. La medición de nivel garantiza un funcionamiento sin incidentes e indica el nivel o el posible nivel límite del cereal. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)



Figura 53: Interruptor de nivel vibratorio para sólidos granulados

Fuente: (VEGA)

8.5.3 Interruptor de nivel vibratorio para granulados finos:

Un transmisor piezoeléctrico, compuesto por dos horquillas que al mismo voltaje las piezas se comprimen y a diferentes voltajes se expanden (corriente alterna) genera una frecuencia que al encontrarse en contacto con un material de baja densidad fluctúa su frecuencia activando una señal de conmutación. (Endress y Hauser, 2019)

Su principal aplicación es en materias primas para la fabricación de cerveza las cuales son el lúpulo, la malta y la fructosa, que se almacenan en grandes silos. Para garantizar una producción continua, el nivel debe monitorizarse de forma constante. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)

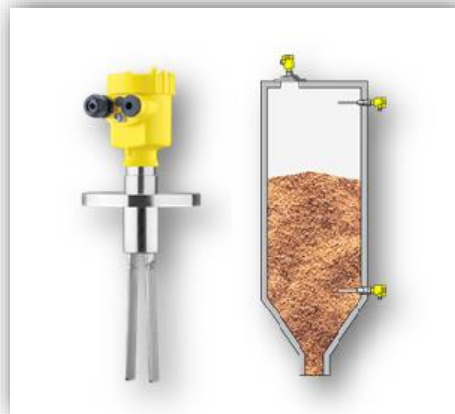


Figura 54: Interruptor de nivel vibratorio para granulados finos **Fuente:** (VEGA)

8.5.4 Sensor radiométrico para la detección de nivel:

Es un sensor que detecta el nivel límite del silo, independientemente del estado del material almacenado, ya sean sólidos o líquidos. Tiene la ventaja de tener una mínima radiación, una sensibilidad alta para la medición, y a su vez tener un costo no tan elevado. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)

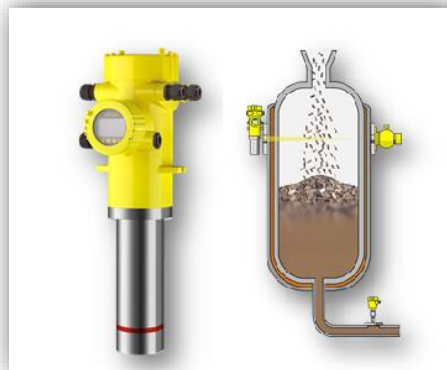


Figura 55: Sensor radiométrico para la detección de nivel **Fuente:** (VEGA)

8.5.5 Para sólidos granulados a partir de una densidad de 100 g/l:

Está compuesto por una barra, que no permite que los productos se compacten en el sensor, lo que genera una medición más efectiva del nivel máximo o mínimo. Se aplica para la medición en silos de almacenaje de sólidos granulados específicamente de grano grueso. Tiene la ventaja de no requerir mantenimiento (VEGA instrumentos S.A, s.f.)



Figura 56: sensor para sólidos granulados a partir de una densidad de 100 g/l **Fuente:** (VEGA)

8.5.6 Interruptor de nivel vibratorio con cable de suspensión para sólidos granulados:

Su uso principal se encuentra en empresas con plantas de etanol, que realicen un proceso de transformación de materias primas como, la caña de azúcar, cereales, la remolacha azucarera entre otras. La longitud del cable que compone este sensor, es la encargada de determinar cuál es el punto de conmutación para arrojar la medida del nivel. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)



Figura 57: Interruptor de nivel vibratorio con cable de suspensión para sólidos granulados **Fuente:** (VEGA)

8.5.7 Interruptor de nivel vibratorio con cable de suspensión para polvos:

Es ideal para implementarse principalmente en los silos de cemento, Porexpan, Polvo de alúmina, Silos de cal fina. Es un sensor universal para los depósitos de granulados finos y arenilla, y para solidos de muy baja densidad. La media del nivel se relaciona con el punto de conmutación del cable que se encuentra suspendido. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)



Figura 58: Interruptor de nivel vibratorio con cable de suspensión para polvos **Fuente:** (VEGA)

8.5.8 Sonda de cable capacitiva para la detección de nivel:

Este sensor se puede implementar en tolvas de compensación de carbón, silos de escoria y depósitos de almacenamiento para materias primas sólidas. Su principal medición es el nivel límite, para almacenaje de sólidos a granel y líquidos no conductores. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)



Figura 59: Sonda de cable capacitiva para la detección de nivel **Fuente:** (VEGA)

8.5.9 Receptor de microondas para detección de nivel en sólidos y líquidos:

Se caracteriza por que su principio de medición es sin contacto con el material, lo que permite realizar la detección del nivel en condiciones difíciles como lo es en el procesamiento de minerales como el carbón y la cal. Este sencillo y robusto sistema es prácticamente independiente del proceso y de las propiedades químicas y físicas del producto. También es apto para la detección de objetos, o la detección de materiales sólidos en cintas transportadoras. Su principal aplicación es detectar el nivel en silos de cal. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)

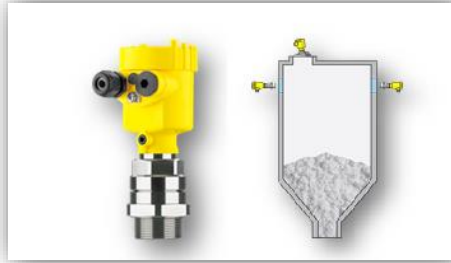


Figura 60: Receptor de microondas para detección de nivel en sólidos y líquidos **Fuente:** (VEGA)

8.5.10 Sensor Rotativo de paleta:

Está compuesto por unas paletas encargadas de la medición, que rotan constantemente, las cuales al alcanzar el nivel del material, inmediatamente quedan bloqueadas y por consiguiente la rotación también. El estado de bloqueo permanece hasta que el nivel queda por debajo de la paleta, y en este instante se activa los indicadores del nivel. Comúnmente se aplica para depósitos de materiales granulares o en polvo. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)



Figura 61: Sensor Rotativo de paleta **Fuente:** (Directindustry)

8.6 INSTRUMENTOS DE VISUALIZACION:

Para la medición exacta del nivel de un silo es necesario visualizar los valores en tiempo real. Para ello existen los instrumentos de visualización los cuales vienen incorporados dentro de los sensores anteriormente descritos. (VEGA instrumentos S.A, s.f.)

Estos instrumentos permitirán la visualización remota en puntos de medición de difícil acceso, ya que el conjunto de sensor-indicador cuenta con una conexión inalámbrica con dispositivos de control estándar con Bluetooth integrado o alternativamente con un adaptador Bluetooth-USB.

Estas versiones Bluetooth del equipo permite la conexión inalámbrica a teléfonos inteligentes /tabletas (ios/Android) o PC con Windows. (VEGA instrumentos S.A, s.f.). De igual forma permiten conectarse a otros dispositivos de automatización de procesos industriales, permitiendo la sincronización del sensor con procesos predecesores y posteriores, mediante la tecnología IO- Link, la cual permite controlar simultáneamente e inalámbricamente diferentes tipos de maquinaria y equipos, para el control de los procesos, potenciando un enfoque de ingeniería 4.0.



Figura 62: conexión inalámbrica de sensores con indicadores *incorporados* Fuente: (VEGA)

La **figura 77** describe el ajuste inalámbrico de los sensores mediante conexión Bluetooth. La mayoría de proveedores de sensores para la medición de nivel cuenta con aplicaciones gratuitas, o software para el manejo de la información de medición. Tomando como referencia la empresa VEGA el manejo se realiza a través de una aplicación gratuita llamada “Vega Tools” desde “Apple App Store”, “Google Play Store” o desde “Baidu Store”

8.7 EVALUACION DE SENSORES DE MEDIDA DE NIVEL PARA SOLIDOS:

Una vez identificados los sensores, surge la necesidad de seleccionar los dispositivos más útiles en la relación costo – beneficio, para que hagan parte del sistema de control de nivel de silo, de bajo costo y calidad. Para ello los clasificamos según su forma y función eligiendo un ejemplar, luego se establecieron una serie de criterios tanto cualitativos como cuantitativos para poder evaluarlos bajo un Proceso Analítico Jerárquico (AHP), ya que esta herramienta, permite la evaluación sistemática de este tipo de variables, y de este modo poder respaldar las decisiones que se deben tomar y analizar para solución de problemas que contemplen muchos criterios (Osorio y Orejuela, 2008).

Además “el AHP se ha identificado como una herramienta efectiva que permite la toma de decisiones en problemas de múltiples criterios.” (Osorio y Orejuela, 2008, p. 252). Una vez establecidos los parámetros iniciales para el análisis, se procedió a realizar iteraciones necesarias para encontrar un veredicto a cerca de cual sensor representaría mejor nuestros intereses de calidad y costo, a continuación se expone la matriz inicial del AHP.

Tabla 7: Matriz multicriterios AHP

| PROCESO ANALÍTICO JERÁRGICO AHP PARA SELECCIÓN DE SENSORES | | | | | |
|--|----------------|-----------|-----------------------------|---------------|--------------------------------------|
| | Precio (Euros) | Precision | Frecuencia de mantenimiento | Insertidumbre | Restricciones |
| | \$ | P | FM | I | R |
| Sensor de Contacto(SC) | \$ 109 | 99% | Mantenimiento remoto | 1% | No sirve en silos de liquido |
| Sensor sin contacto(SSC) | \$ 422 | 90% | Anual y asistido | 10% | En solidos solo trabaj a 3.5 m |
| Sensor Rotativo(SR) | \$ 149 | 99% | Trimestral | 1% | No es inalambrico |
| Sensor de Peso(SP) | \$ 4.307 | 99% | No necesita | 1% | No sirve en silos mayores a 40 ton |
| Sensor de Radar(SR) | \$ 366 | 90% | semestral y asistido | 10% | pierde precision en silos de solidos |

Fuente: Autores

Nota: El costo esta expresado en Euros por naturaleza de los proveedores y resulta del promedio de cotizaciones realizadas vía internet.

En el **Anexo 2** se encontrara con grado de detalle las iteraciones realizadas para hallar el siguiente resultado, el cual se encuentra respectivamente en el orden de la tabla inicial

Tabla 8: Resultados AHP

| |
|-----------------|
| ELECCION |
| 35% |
| 9% |
| 35% |
| 12% |
| 24% |

Fuente: Autores

El análisis nos arrojó un empate entre el Sensor de Contacto y el Sensor Rotativo, así que decidimos adoptarlos ambos en nuestra herramienta POKA YOKE, a continuación identificaremos las funciones específicas que desempeñaran estos dispositivos en la herramienta de medición de nivel de silo a partir de sus fichas técnicas.

9. DISEÑO DE HERRAMIENTA POKA YOKE PARA LA MEDICION DE NIVELES DE SILO

Una vez evaluados los elementos que integran un sistema de control y medición de nivel de silo y las respectivas variables que determinan la calidad de su funcionamiento, pasamos al diseño del dispositivo POKA YOKE el cual nos debe permitir reducir los errores de sobrecarga o insuficiencia de material en silo, orientando al operador a mantener un nivel apropiado. Este sistema será la base estructural del diseño al cual se le adaptaran sensores de contacto con indicadores incorporados, que cuenten con una conexión inalámbrica con dispositivos de control estándar con Bluetooth integrado, o alternativamente con un adaptador Bluetooth-USB de manera que garanticen un funcionamiento a prueba de errores “JIDOKA” (Automatización con un toque humano).

Se inicia por identificar y evaluar cuáles son los silo tipo torre de solidos más utilizados en la industria, con el fin de que la herramienta sea compatible con el mayor número de silos disponibles en el mercado. Seguidamente se identifican y describen todos los componentes anteriormente mencionados, y que serán necesarios para el ensamblaje y construcción del diseño final del dispositivo POKA YOKE

En cuanto a las lecturas del nivel de silo; se elige otra herramienta POKA YOKE que permita a través de una interfaz gráfica tomar como insumo la información brindada por los sensores del dispositivo, para ser procesada y de esta forma conseguir lecturas en tiempo real del estado del silo, en función de porcentaje, cantidad de material almacenado (en Toneladas), bajo parámetros ANDON en puntos críticos de vaciado y de llenado, mediante el desarrollo de un tablero o mando de control (DASHBOARD) que interactúe constantemente con el operario y con el dispositivo de campo.

Finalmente se presentaran los diseños finales de las herramientas POKA YOKE; su funcionamiento; la puesta en marcha en un programa de simulación que corrobora el funcionamiento de la herramienta mediante parámetros de programación; la gestión del riesgo; el presupuesto final de la herramienta y por último el diagrama de flujo del proceso de medición de silo mediante Herramientas POKA YOKE.

9.1 IDENTIFICACION Y EVALUACION DE LOS SILOS TIPO TORRE DE ALMACENAMIENTOS DE SOLIDOS MÁS UTILIZADOS EN LA INDUSTRIA:

9.1.1 Silos más comunes

Los silos de torre son las estructuras más comunes, dada la gran variedad de usos que se le dan en los diferentes tipos de industria (**Ver numeral 7.1**).

se mencionó una amplia lista de materiales de los cuales son solo una “muestra de la cantidad de materiales que se pueden almacenar con éxito en este tipo de silos” (Fonseca, García y Zabala, 2013); y teniendo en cuenta que más del 70% de los materiales ensilados en este tipo son de propiedades sólidas (Zuriguél, 2005), para efectos del presente se elegirán estos tipo de silos como casos de estudio por la importancia que este tipo de silos en particular representan en las industrias Alimenticias, Agricultoras, Manufactureras, Minero Energéticas y todas aquella que manejen material granulado en Colombia

El dispositivo podrá ser utilizado en las áreas mencionadas anteriormente y en las áreas clasificadas en el Código Eléctrico Colombiano (CEC) (NTC 2050) como Clase 2 (**ver anexo 3**), dados que los componentes eléctricos de la herramienta POKA YOKE expuestos a este tipo de materiales pueden llegar a generar algún tipo de riesgo o peligro, si se exponen o ubican en lugares no apropiados.

9.1.2 Partes constitutivas de un silo de torre:

Los silos tipo torre por lo general cuentan con unas características que los identifican, no obstante puede que sus instalaciones varíen dependiendo la función que realizan, los elementos integrantes de un silo pueden ser:

9.1.2.1 Casco:

“es la parte superior del silo, mediante la cual ingresan normalmente los materiales a almacenar y sirve como techo ante las tempestades de la atmosfera.” (Vistín, 2016, p. 9) también cumple la función de impedir el paso de impurezas y humedad, además pueden ser planos o cónicos.

9.1.2.2 Cuerpo:

“Sección del silo que más área ocupa ya sea cuadrada o circular, tiene la función de depósito, contiene el material por medio de sus paredes las cuales le brindan hermeticidad, propiedades de conservación de materiales, y propiedades estructurales que le permiten soportar las demandas de carga al interior del mismo, así como las presiones a las cuales se verá expuesto.”(Vistín, 2016, p. 9)

9.1.2.3 Fondo:

Según Vistin “es una de las partes más importantes del silo, puesto que tiene la función del soporte de toda la estructura y el material almacenado, además permite y facilita la descarga al asegurar la fluidez del material almacenado” (2016, p. 10)

9.1.2.4 Fondo Cónico o tolva:

“Los silos que tienen este tipo de fondo son utilizados comúnmente cuando se necesita almacenar medianas y pequeñas cargas, son muy útiles cuando se necesita un flujo completo del material como en el caso de granos perecederos.” (Vistin, 2016, p. 11)

9.1.2.5 Fondo Plano:

“Normalmente utilizados para grandes cantidades de material, brindan un almacenaje robusto, puesto que están constituidos normalmente entre 10 a 30 metros de diámetros, por lo que los materiales almacenados no deben tener propiedades delicadas, dado que la hermeticidad es menor.” (Vistin, 2016, p.11) estos silos también son utilizados en torres de secado, los cuales por lo general cuentan con un sistema de arado de discos en su base.

9.2 COMPONENTES DEL DISPOSITIVO POKA YOKE

La reducción de los costos asociados a la construcción e implantación real del diseño que ahora se expone, ha sido uno de los principales enfoques de este proyecto, no obstante cabe resaltar que las medidas de control y seguimiento de material en proceso a nivel industrial representan una medida rentable que respalda en gran proporción la adopción de este tipo de herramientas, por lo que su inversión no debería estar condicionada a costos antes que a prestaciones y funcionalidad, teniendo en cuenta que el diseño sigue un proceso lógico en el cual se ha realizado el análisis y evaluación de criterios que reducen el riesgo a la hora de su implementación.

El ensamblaje del diseño del dispositivo POKA YOKE se encuentra los elementos a continuación descritos, lo cual indica que si se va a construir la herramienta en tiempo real será necesario la compra de ellos, los componentes son:

9.2.1 Sensor de contacto (innovación por nuevo uso):



Figura 63: Sensor de contacto **Fuente:** (Vega instrumentos S.A)

La función del sensor de contacto es emitir información del nivel de vacío a un computador vía Bluetooth, cuando los sólidos granulados entran en contacto con la punta del sensor.

Es un dispositivo que normalmente es ubicado en partes de MIN o MAX del silo para identificar el nivel en un punto fijo (**Ver anexo 4**). El diseño propone que este pase de ser un sensor estático a uno dinámico, el cual viajara verticalmente por medio del sistema de sondeo electro mecánico en el interior del silo.

9.2.2 Masa:

Cumplirá la función de estabilizador del sensor de contacto con el fin de que no sea afectado por fuerzas externas cuando el silo se encuentre en procesos de llenado o vaciado, tendrá forma cilíndrica y en su centro de masas se encontrara acoplado el sensor de contacto, este debe ser de acero inoxidable por motivos de higiene.

9.2.2 Guaya 5/16 alma de acero galvanizada con recubierta en plástico:

Con un grosor de 8 mm es la transportadora en la cual viajará la masa y el sensor de contacto, desde el motor al interior de silo a través un juego de poleas, además será una variable de referencia para el sensor rotativo

9.2.3 Poleas:

Serán las que permitan la trayectoria del sensor de contacto, cambiando la dirección desde el exterior del silo hacia el interior.

9.2.4 Sensor rotativo (innovación por nuevo uso):



Figura 64: Sensor rotativo **Fuente:** (Endress)

Este sensor funciona gracias a un sistema de engranajes, un motor bidireccional y una paleta que gira sincrónicamente con el motor. (**Ver anexo 5**)

Si la paleta se detiene gracias a la interrupción del material que llegó al nivel del sensor, el motor que se encuentra en su cabezal entrará en conmutación. Inmediatamente se acciona dos contactos, uno sirve para la indicación externa del nivel y el otro es el encargado de desactivar el motor. (Endress, s.f.)

Para el uso en la herramienta POKA YOKE este sensor se encargará de invertir la rotación del motor para subir y bajar el sensor de contacto, para ello se cambiará la paleta rotativa por un juego de poleas en la cual estará ensamblada la guaya que transporta el sensor de contacto el cual partirá desde el punto A hacia el punto B (nivel de material), cuando el sensor de contacto llegue al material, la guaya se detendrá, lo cual activará la conmutación del sensor, el cual indicará a un PLC el cambio de sentido de rotación del motor, una vez que sube el sensor de contacto al punto de partida se detiene de nuevo por el choque de la masa con la polea superior del silo, la guaya vuelve a detenerse y vuelve a dispararse el conmutador para invertir nuevamente el sentido del motor, y así sucesivamente hasta que el operario considere que tiene la información necesaria del nivel de vacío del silo, para hallar el nivel de llenado exacto.

9.2.5 Controlador Lógico Programable (PLC):

“Es un dispositivo electromagnético que permite la recepción de información de diferentes piezas informáticas y el tratamiento de los datos arrojados por medio de una programación básica basada en sus entradas y salidas” (Hyde, Regue y Cuspinera, 1997, p. 112)

Este dispositivo cumplirá la tarea de recibir la señal del sensor rotativo y activar el cambio del sentido del motor. Bajo una programación de sus funciones conseguirá la automatización y control de los procesos de descarga del silo en cuanto a flujo másico se refiere.

9.2.6 Motor trifásico 1hp:

Encargado del transporte vertical del sensor de contacto y la masa al interior del silo, a través de las poleas luego de recibir instrucciones de rotación del PLC

9.2.7 Estructuras de soporte:

Para el ensamblaje de los sensores en el silo y el soporte de poleas, consta de material laminado y pernos en acero galvanizado.

9.2.8 Cableado

Para generar las conexiones eléctricas necesarias entre el PLC, el sensor rotativo y el motor.

9.3 TABLERO DASHBOARD

Para complemento del dispositivo POKA YOKE diseñado, se procede a la implementación de otra herramienta POKA YOKE conocida comúnmente, como lo es el programa Microsoft Excel. El cual se enmarca dentro de este enfoque al permitir condicionar celdas en diferentes planillas, al preestablecer formulas y condicionales que indiquen cuando un número supera determinado valor o cuando las celdas no contienen la información adecuada.

Enmarcado en este concepto se procedió a la elaboración de un Dashboard o tablero de control, el cual es una pantalla donde se expone información de valor sobre un proceso específico, para nuestro caso el proceso de medición de niveles de silo. Este se construye a través de la manipulación, transformación y análisis de datos, de tal forma que en la pantalla final se expondrá de forma muy visual, indicadores, niveles de criticidad de los silos, la medición exacta del nivel de silo en %, cantidad de material almacenado en toneladas y nivel de llenado en metros, en tiempo real a la medida arrojada por el dispositivo POKA YOKE, además de exponer e indicar parámetros bajo el enfoque ANDON (alarma visual de colores).

Lo anterior nos permite realizar un análisis más efectivo del nivel en el que se encuentra el silo, para posteriormente tomar decisiones acertadas acerca del control del proceso de la empresa en general y así evitar que posibles errores que se llegan a presentar se conviertan en defectos y esto repercuta negativamente en la calidad de los productos, del proceso y de la empresa en general.

El tablero Dashboard de la presente tesis, se compone de una base de datos, unas tablas de equivalencias y por consiguiente un tablero de control, para 5 tipos de silo de una prueba piloto que se realizara.

9.3.1 Elaboración de la base de datos:

9.3.1.1 Identificación de variables dimensionales:

Es de gran relevancia identificar las variables dimensionales que componen la estructura de un silo, pues de ellas dependerá la programación, formulación y cálculo de otras variables fundamentales para la medición de los niveles de silo y sus respectivas equivalencias en función del valor arrojado por el dispositivo POKA YOKE diseñado.

Tomando como referencia la empresa Hidromecánica encargada del montaje de Instalaciones Industriales, se hizo un análisis de los planos de diseño de silos (**ver anexo 6**), y de esta forma se identificaron las siguientes variables:

- **Diámetro o ancho del depósito:** Es la medida de la parte estructural del silo, donde se almacena el material en estudio por lo general suele ser de forma cilíndrica o rectangular.
- **Radio:** Es la magnitud del diámetro o ancho del depósito dividido en 2
- **Profundidad de depósito:** Es la medida de largo o profundo de la parte estructural del silo donde se deposita el material almacenado o cargado, esta dimensión se identifica solo para silos con depósito rectangular.
- **Altura libre de descarga:** Es la medida de altura que tiene el silo desde el suelo hasta donde se encuentra la Tajadera (parte del silo donde se encuentra la escotilla o válvula de descargue del material). Esta dimensión se encuentra únicamente en los silos con base estructural.
- **Altura de descarga:** Es la medida de altura de la sección del silo donde se inicia la descarga del material. Por lo general esta sección es de forma cónica y se ubica tanto en la parte superior (para iniciar la carga del silo) como en la inferior (como salida del material almacenado para continuar con el proceso, dependiendo del tipo de silo).
- **Altura de depósito:** Es la dimensión de alto de la sección del silo donde se almacena el material. Como se describió anteriormente esta sección suele ser de forma cilíndrica o rectangular dependiendo el tipo de silo.
- **Altura total:** Es la sumatoria de las dimensiones de alto de las partes del silo.

Luego de la identificación de dichas variables, se procede a armar una base de datos inicial, con las mismas, la cual permitirá el ingreso de datos a tratar para el cálculo del nivel del silo. (Ver anexo 7)

9.3.1.2 Aplicación de fórmulas para cálculo de magnitudes:

Posteriormente de hacer la identificación de variables fundamentales se procede a formular, para hallar el cálculo de magnitudes de volumen y capacidad de los silos, lo cual programando y enlazando celdas, permitirá posteriormente hallar equivalencias, y tener una medida más precisa del nivel.

- **Cálculos de volumen:**

Para hallar la capacidad total que tiene un silo es necesario tener los valores de volumen y características del material a almacenar. Para hallar el volumen es necesario formular las variables adecuadas dependiendo el tipo de silo a estudiar; para el estudio de la presente tesis, se procede a calcular el volumen de los silos tipo torre según su forma:

1. **Forma cilíndrica:** En esta clasificación se encuentran los silos aéreo verticales permanentes (**ver figura 4**), silos de torre en hormigón (**ver figura 5**) y los silos de torre de bajo oxígeno (**ver figura 8**) debido su forma cilíndrica, la fórmula para calcular el volumen es:

$$v = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V= volumen

r = radio = (diámetro/2)

h = altura = altura de deposito

2. **Forma cilíndrica para la sección de depósito y forma cónica para la sección de descarga (al inicio o a la salida del silo):** En esta clase encontramos los silos de torre metálico (**ver figura 6**) y silos telescópicos (**ver figura 10**), debido a 2 secciones con formas geométricas diferentes el volumen total de estos silos se componen de la sumatoria del volumen del cilindro y el volumen del cono, y se presenta a continuación

$$v = v_{ci} + v_{co}$$

$$v_{ci} = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V= volumen

r = radio = (diámetro/2)

h = altura = altura de deposito

$$v_{co} = \frac{(\pi * r^2 * h)}{3}$$

Donde:

V= volumen

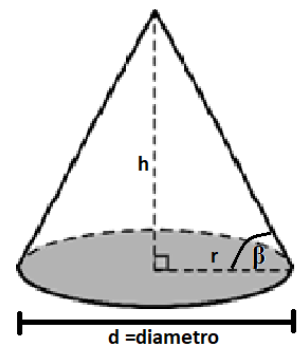
r = radio = (diámetro/2)

h = altura = altura de descarga (debido a su forma cónica es necesario hallar el valor de la altura de descarga en función del ángulo de rozamiento interno del material a almacenar, para tener una medida más precisa), utilizando el teorema de Pitágoras deducimos:

$$\frac{r}{h} = \frac{1}{\tan \beta}$$

$$h = r * \tan \beta$$

Dónde: r = radio y β = ángulo de rozamiento interno del material



β = ángulo de rozamiento interno del material: se conoce también como ángulo de fricción, lo podemos relacionar con la medida del máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de materiales granulares o con el Angulo de reposo de los mismos.

Existen diferentes métodos para hallarlo de manera precisa como lo son muestras de laboratorio del material específico a almacenar que contemplan su humedad y temperatura entre otras variables, pero para efectos de la presente tesis se hace uso de tablas estandarizadas de algunos materiales almacenados en silos (ver anexo 8).

- 3. Forma cilíndrica para la sección de depósito y forma cónica para la sección de descarga (al inicio y a la salida del silo):** Los silos que se identifican según esta forma son los silos cónicos (ver figura 9). Su volumen será la sumatoria del volumen del cilindro más el volumen del cono por dos.

$$v = v_{ci} + 2 * v_{co}$$

$$v_{ci} = \pi * r^2 * h$$

Donde:

V= volumen

r = radio = (diámetro/2)

h = altura = altura de depósito

$$v_{co} = \frac{(\pi * r^2 * h)}{3}$$

Donde:

V= volumen

r = radio = (diámetro/2)

h = altura = altura de descarga

$$h = r * \tan \beta$$

- 4. Forma rectangular o paralelepípeda para la sección de depósito y forma cónica para la sección de descarga:** Según esta característica identificamos los silos de torre de tejido (ver figura 7), su sección de depósito en forma de paralelepípedo y su forma cónica para la sección de descarga ubicada en la parte inferior, nos permite calcular su volumen mediante la siguiente fórmula:

$$v = v_{ci} + v_{co}$$

$$v_{ci} = a * b * h$$

Donde:

a= ancho del depósito

b = profundidad del depósito

h = altura = altura de depósito

$$v_{co} = \frac{(\pi * r^2 * h)}{3}$$

Donde:

V= volumen

r = radio = (diámetro/2)

h = altura = altura de descarga

$$h = r * \tan \beta$$

- **Cálculos de capacidad:** Para hallar la medida de capacidad de un silo más precisa y exacta, es necesario conocer las características del material a almacenar, exactamente su peso específico (**ver anexo 8**). Se tuvo en cuenta las equivalencias de las unidades y por ende las conversiones para tener una capacidad en Toneladas (Ton) Independientemente del tipo de silo o su forma, la fórmula para hallar la capacidad del silo en función del material a almacenar es:

$$C_a = V_{si} + \gamma$$

Donde:

C_a = Capacidad del silo

V_{si} = volumen del silo

γ = peso específico del material

9.3.1.3 Programación de celdas:

como se mencionó anteriormente, posterior a la identificación de variables y a la formulación para el cálculo de magnitudes (volumen y capacidad de silos) con dichas variables, se procede a la programación de celdas en una base de datos inicial, que será el punto de partida del funcionamiento del tablero Dashboard, permitiéndole al usuario del dispositivo POKA YOKE ingresar variables dimensionales estándares mencionadas anteriormente, las cuales mediante al ingreso de la formulación ya descrita calculara el volumen y la capacidad del silo en estudio, para luego ser enlazadas con otras celdas para generar las equivalencias necesarias para arrojar la medición exacta del silo y su respectiva información para ser analizada. (**Ver anexo 9**).

9.3.2 Elaboración de tablas de equivalencias:

Se procede a elaborar tablas de equivalencias mediante la formulación de reglas de tres simples, en celdas que estarán enlazadas con otras celdas de la hoja de base de datos inicial (valores de capacidad total y altura total del silo).

Las cuales permitirán hallar valores equivalentes a la medición arrojada por el dispositivo POKA YOKE, de la medida exacta del nivel del silo (**Ver anexo 10**). Los pasos para hallar las mediciones y equivalencias fueron:

- **Equivalencias del nivel del silo (m) en (%):** se hallaron las mencionadas equivalencias por cada tipo de silo de la prueba piloto que se realizara al finalizar el diseño del tablero (Dashboard). Para hallarlas se siguieron los siguientes pasos y se repitió 4 veces más para completar las equivalencias de los 5 tipos de silos (**Ver anexo 11**):

1. Se tuvo en cuenta una celda que registra el valor exacto de la medida en (m) indicada por el dispositivo POKA YOKE, y se programó con otra celda que nos arroja el valor exacto de la medida del nivel del silo en (m) relacionándolo con la altura total del silo (enlazada con la altura total hallada en la base de datos inicial) (**ver anexo 11**):

Celda 1: Indica la altura total del silo (m), esta celda se encuentra enlazada con la celda de la base de datos que nos calculó la altura total del silo en (m).

Celda 2: Registra el valor exacto de la medida en (m) indicada por el dispositivo POKA YOKE. Esta celda esta enlazada con el botón principal del tablero final para que el usuario de la herramienta lo active y elija la medida exacta indicada, y a su vez está programada con la celda 2 que nos permite hallar el valor exacto del nivel del silo.

Celda 3:

$$\begin{aligned} \text{Nivel del silo} &= \text{altura total del silo} - \text{medida indicada por el dispositivo} \\ \text{Nivel del silo} &= \text{celda 1} - \text{celda 2} \end{aligned}$$

2. Posteriormente se tuvo en cuenta otras dos celdas, para hallar la equivalencia en % del nivel del silo arrojado en la celda 2 (**ver anexo 11**):

Celda 4: Indica que la altura total del silo equivale al 100%

Celda 5: Se programó utilizando una regla de 3 simple enlazada con las celdas anteriormente mencionadas para que nos calculara la equivalencia en % del nivel del silo en (m):

$$\text{nivel del silo (\%)} = \frac{\text{nivel del silo (m)} * 100}{\text{altura total del silo (m)}}$$

$$\text{nivel del silo (\%)} = \frac{\text{celda 2} * \text{celda 3}}{\text{celda 1}}$$

- **Equivalencia del nivel del silo en función de las toneladas del material almacenado:**

De igual forma se halló las equivalencias del nivel del silo en función de las toneladas (Ton) del material almacenado, relacionado con la medida arrojada por el dispositivo POKA YOKE, por cada tipo de silo de la prueba piloto que se realizara al finalizar el diseño del tablero (Dashboard). Para hallarlas se programaron 3 celdas más y se repitió 4 veces más el procedimiento para completar las equivalencias de los 5 tipos de silos (**Ver anexo 12**):

Celda 6: Indica el material almacenado en el silo

Celda 7: Indica la capacidad total del silo (Ton), esta celda se encuentra enlazada con la celda de la base de datos que nos calculó la capacidad total del silo (Ton).

Celda 8: Indica la equivalencia en (Ton) del nivel del silo en función del material almacenado y en función de la equivalencia en (%) del nivel del silo relacionado con la medición tomada con el dispositivo POKA YOKE. Se programó utilizando una regla de 3 simple enlazada con las celdas anteriormente mencionadas para que nos calculara la equivalencia descrita:

$$\text{nivel del silo (Ton)} = \frac{\text{nivel del silo (\%)} * \text{capacidad total del silo (Ton)}}{100}$$

$$\text{nivel del silo (Ton)} = \frac{\text{celda 5} * \text{celda 6}}{100}$$

9.3.3 Elaboración y programación de tableros (DASHBOARD):

Se elaboraron y programaron 5 tableros Dashboard para 5 tipos de silo de una prueba piloto a realizarse, los cuales mostraran el procedimiento de la medición del nivel de silos de la las herramientas POKA YOKE diseñadas. Para la elaboración se siguieron los pasos que se presentan a continuación. (**Ver anexo 13**)

1. Se determinaron intervalos de alerta del nivel de silo, en función de las equivalencias (%) y (Ton) del nivel exacto del silo, calculado con la programación de las celdas anteriormente mencionadas y dependiendo de la medida arrojada por el dispositivo POKA YOKE. Estos intervalos hacen referencia al nivel de criticidad del silo, normalmente son determinadas por las empresas según las condiciones del proceso productivo.
2. **Celda 1:** Se programó una celda la cual nos va a indicar la alarma visual del nivel del silo, mediante la aplicación de un formato condicional (color de celda), aplicando como reglas los intervalos mencionados anteriormente (**ver anexo 12**).
3. Se insertó un botón el cual al ser accionado permitirá indicar la medida (m) arrojada por el dispositivo POKA YOKE, este botón a su vez esta enlazado con la (celda 2) de la hoja de la tabla de equivalencias, lo cual permitirá realizar las equivalencias adecuadas del nivel exacto del silo con la programación anteriormente mencionada.

Los resultados se visualizaran en la hoja del tablero Dashboard mediante el enlace de unos cuadros de texto con las celdas que nos calculan estas equivalencias del exacto nivel del silo. (**Ver anexo 13**)

4. Se procedió a elaborar fichas técnicas de los silos en estudio, programando cuadros de texto que estarán enlazados con las celdas que calculan la información relevante del silo y sus respectivas características (ver anexo 12)
5. Finalmente se hace diseño de forma para organizar el tablero Dashboard final y sus respectiva programación e información, lo que permitirá realizar la medición exacta del nivel del silo, para posteriormente la toma de decisiones respectivas por parte del operario, según el análisis de los resultados y de la información arrojada por las herramientas POKA YOKE, para el control adecuado del proceso y una efectiva programación de la producción.

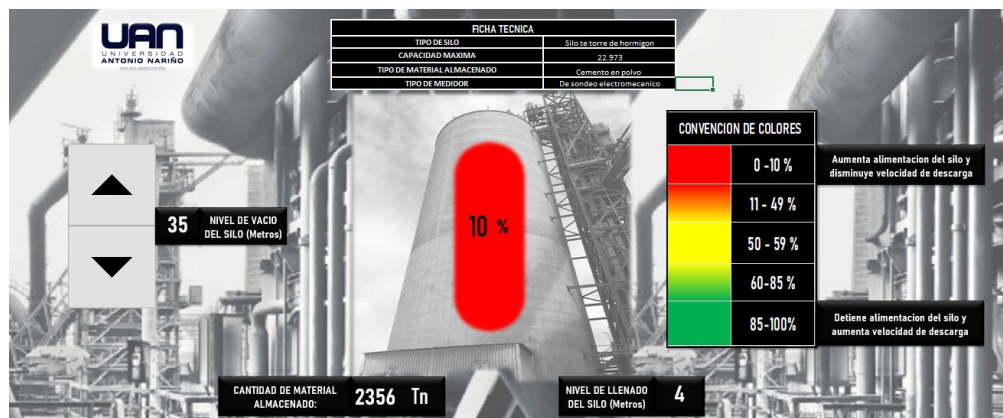


Figura 65: Diseño final tablero Dashboard **Fuente:** (autores)

9.3.4 Prueba piloto:

Como ya se mencionó en varias ocasiones, se realizó una prueba piloto del tablero Dashboard, con 5 tipos de silos diferentes, siguiendo los mismos pasos mencionados anteriormente, se programaron y se diseñaron.

La prueba se lleva a cabo de la siguiente forma, simulando como se lleva a cabo la medición del nivel de silo, por parte de un operario usuario de las herramientas POKA YOKE, diseñadas:

1. Se ingresan los valores dimensionales de 5 tipos de silos en la base de datos inicial. Estas dimensiones se identificaron a partir de algunos planos de silos reales de algunas empresas, y otros a partir de tablas dimensionales de modelos de silos de empresas proveedoras y constructoras de los mismos. (**ver anexo 14**)

2. Automáticamente con la programación antes descrita, se calculan las magnitudes necesarias para el cálculo del nivel de silo, que se enlazan automáticamente con la tabla de equivalencias.
3. Posteriormente en el tablero Dashboard de cada tipo de silo (**ver anexo 15**) se acciona el botón principal, para indicar una medida aleatoria (arrojada por el dispositivo POKA YOKE). Automáticamente con la programación, se muestra el valor exacto del nivel actual del silo en (%), en cantidad de material almacenado (Ton), y en metros de llenado (m), finalmente se analiza la información necesaria, y la alarma visual para la posterior toma de decisiones por parte del operario, para controlar el proceso y el control acertado de la producción.

9.4 DISEÑO FINAL HERRAMIENTAS POKA YOKE:

9.4.1: Representación Grafica

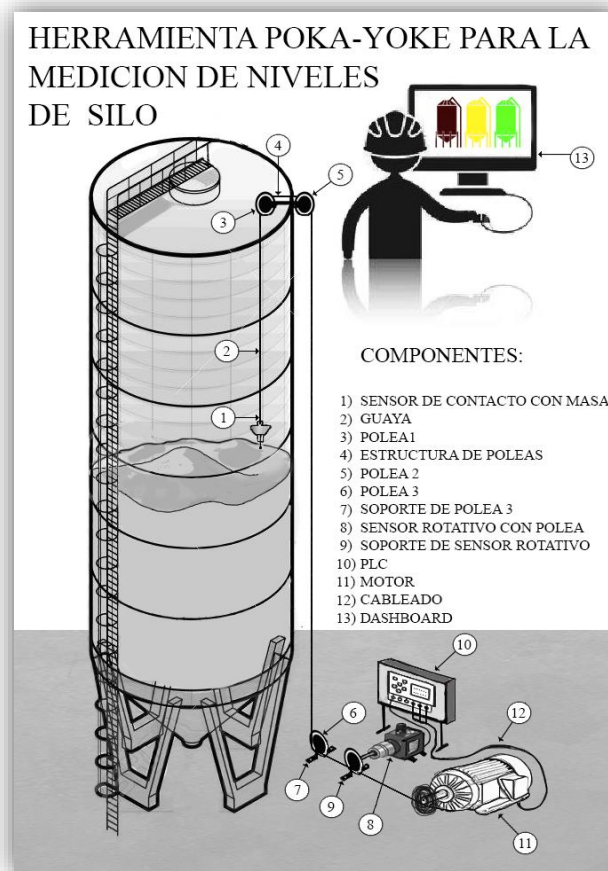


Figura 66: Diseño final herramientas POKA YOKE para la medición de niveles de silo **Fuente:** (autores)

9.4.2 Funcionamiento:

Una vez encendido el sistema, se da inicio al proceso de medición de silo mediante un interruptor remoto de arranque, el cual energiza el sistema y empiezan a realizarse ciclos de medición de silo repetitivamente. Inicialmente el motor rota a determinadas revoluciones para permitir al sensor de contacto desplazarse al interior del silo, descendiendo hasta alcanzar el nivel del material almacenado, una vez el sensor hace contacto con el material éste emite una frecuencia electromagnética que viaja hacia un ordenador ubicado remotamente indicándole la distancia recorrida desde el punto de partida (a) hasta el nivel del silo (b) o el nivel de vacío del silo, en este punto sucede análogamente una actividad importante; se detiene el sistema de poleas gracias a que el sensor de contacto no continuo su trayectoria, en este punto interviene el sensor rotativo el cual analiza el cambio del estado de su polea la cual pasa de un momento dinámico a uno estático (se detiene la guaya y por ende la polea), lo que induce al sensor a un estado de conmutación, enviando una señal de retorno vía alámbrica al PLC el cual al captar esta señal invierte el sentido de su rotación para regresar el sensor de contacto al punto de partida (a), (El PLC también podría controlar los sistemas de fluidificación del flujo másico del silo) este proceso se logra mediante una determinada programación del PLC y una instalación eléctrica entre el PLC, motor y sensor rotativo.

Cuando el sensor de contacto retorna al punto de partida (a) se detiene gracias a un tope en la polea, nuevamente el sensor rotativo va a ejecutar el mismo proceso que en el caso anterior, entra en conmutación y envía una señal de retorno para ser traducida en el PLC y que este invierta nuevamente el sentido de rotación del motor, generando así un bucle de este proceso de medición que retroalimentará continuamente el tablero Dashboard.

El tablero Dashboard mediante su sencilla interfaz permite al operario conocer con certeza el nivel de material del silo, sin importar si el silo se encuentra en fase de carga o descarga, cabe resaltar que cuando el tablero recibe información acerca de la proximidad del material a la capacidad máxima de carga del silo, emite una alarma (visual color verde) para alertar al operario, para que se prepare para detener el abastecimiento del silo o que aumente la velocidad de descarga (activar válvulas y/o fluidificadores); en el caso opuesto cuando el tablero recibe información de que el silo está próximo a quedar vacío, igualmente emite una alarma (visual color rojo) para alertar al operario para que encienda el sistema de almacenamiento del silo y disminuya la velocidad de descarga, con el fin de mantener un flujo constante del material, lógicamente la medición del silo se puede realizar si el silo simplemente está cumpliendo la función de almacenaje, en todos los escenarios actuara bajo la misma secuencia.

9.4.3 Puesta en marcha:

Para corroborar la hipótesis generada en la propuesta del dispositivo POKA YOKE, se realizó una simulación mediante el software Labview 2017 diseñando un sistema SCADA (Supervisión y control de adquisición de datos), el cual permite supervisar y controlar un proceso industrial a distancia pero en tiempo real, facilitando la retroalimentación con dispositivos y sensores de campo, como en este caso lo son (sensor de contacto, sensor rotativo, PLC, el motor , los sistemas de carga y descarga e incluso los sistemas de fluidificación) llamados también sensores y actuadores.

Lo anterior se consigue mediante una interfaz gráfica (**ver anexo 16**) y una programación en bloque (**ver anexo 17**). Una vez establecidas todas las variables, restricciones y condiciones del sistema, se corrió la simulación iterativamente el ciclo de proceso para así comprobar el correcto funcionamiento de la programación y su interacción con los componentes del sistema POKA YOKE para la medición de nivel del silo, este hallazgo nos permite corroborar la hipótesis y garantizar el funcionamiento en cuanto a programación de esta herramienta en silos reales.

9.4.4 Gestión del riesgo:

El sensor de contacto y el sensor rotativo son componentes indispensables para el funcionamiento de esta herramienta de control, las consecuencias que generarían a causa de la falla de estos sensores pueden representar un riesgo significativamente alto para el proceso productivo en el que se encuentra inmerso el silo.

Estas fallas podrían llegar a significar la pérdida de una gran cantidad de recursos (materia prima, productos en proceso, pérdida de tiempos, insatisfacción de clientes internos y externos e incluso accidentes laborales entre otros efectos negativos asociados a este riesgo) , por lo que vimos la necesidad de establecer medidas de seguridad en la programación de nuestra herramienta POKA YOKE mediante una extensión de la línea programada que activa un ANDON (Aviso) en el momento que el PLC estando energizado y no recibe una señal de retorno después de un tiempo determinado (el tiempo que demora el sensor de contacto en llegar al fondo del silo, el cual depende de la altura del mismo), desconectara el motor y emitirá una señal al operario por medio de la conexión Bluetooth en la que le notificara al operario que el sistema de medición de nivel de silo no está funcionando correctamente y que debe iniciar inmediatamente un protocolo de inspección y mantenimiento de sensores.

9.4.5 Presupuesto de las herramientas POKA YOKE:

Los valores expresados en la siguiente tabla se encuentran sujetos a IVA y cotizados en empresas registradas en plataformas de *e-commerce* bajo un promedio ponderado de varias ofertas del mismo componente, por ende el presupuesto final de la herramienta resultan ser una aproximación.

Tabla 9: Presupuesto final de las herramientas POKA YOKE para la medición de niveles de silos

| COMPONENTE | PRECIO | |
|---|--|---|
| | COP  (PESOS COLOMBIANOS) | USD  (DOLAR ESTADOUNIDENSE) |
| Sensor de contacto vegapoint31 | \$471.956 | \$123,9 |
| Masa de acero inoxidable 5kg | \$10.000 | \$2,6 |
| Guaya 5/16 alma de acero galvanizada con recubierta en plástico | 5 metros= \$12.000 | 5 metros= \$3,2 |
| | 30 metros= \$72.000 | 30 metros= \$18,9 |
| | 100 metros= \$240.000 | 100 metros= \$63,1 |
| Poleas (Multifuerza profesional) | \$30.000*4= \$120.000 | \$7,88 *4 = \$31,5 |
| Sensor rotativo soliswitch fte20 (innovación por nuevo uso) | \$644.461 | \$169,6 |
| PLC logo siemens v4! | \$200.000 | \$52,5 |
| Motor trifasico 1 hp voges | \$215.000 | \$56,5 |
| Estructuras de soporte | \$20.000 | \$5,3 |
| Cableado | \$25.000 | \$6,6 |
| Tablero Dashboard | \$275.000 | \$72,3 |
| Total | \$ 1.499.461 | \$ 606 |

Fuente: (Autores)

El bajo costo de elaboración vs la precisión en la medición de silo, el uso de la filosofía JIDOKA en el hardware y ANDON en el software, hace pensar que esta herramienta POKA YOKE contribuirá efectivamente a las empresas con silos de torre de material granulado, en la automatización de sus procesos de medición de nivel de silo, evitándoles que se presentes errores, que pueden llegar a repercutir negativamente en la calidad de productos y de proceso.

9.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE MEDICION DEL NIVEL DE SILO CON LAS HERRAMIENTAS POKA YOKE:

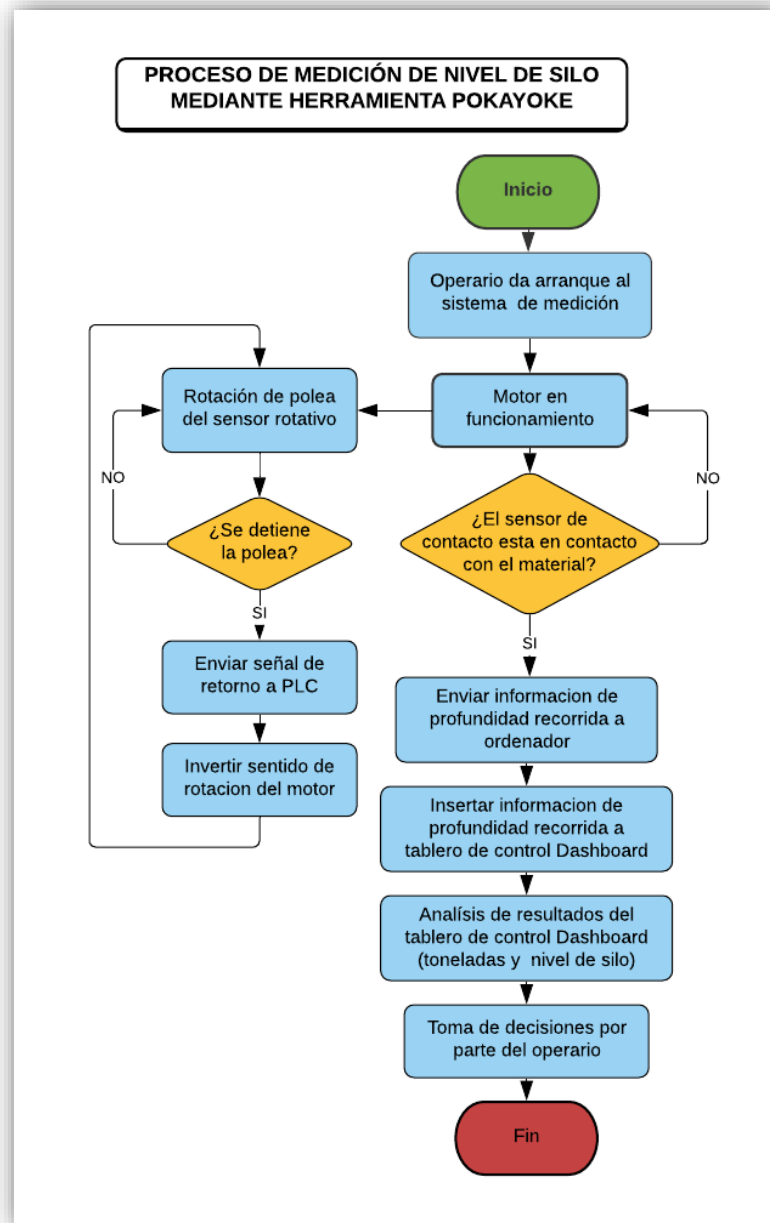


Figura 67: diagrama de flujo de proceso de medición del nivel de silo con las herramientas POKA YOKE
Fuente: (Autores)

10 CONCLUSIONES

El uso de Silos es una manera apropiada de almacenar grandes volúmenes de Stock, al mismo tiempo; los silos tipo torre además de ser los más utilizados en las industrias manufactureras, favorece la preservación de materia prima en estado granular debido a su propiedad impermeable que impide el contacto con aspectos atmosféricos que puedan llegar a contaminar el material almacenado.

La amplia variedad de sistemas de carga y descarga de material permiten el empalme del silo a cualquier proceso productivo que requiera manejar grandes volúmenes de material granulado.

En la medición de nivel de silo normalmente solo se evalúa el nivel en puntos predefinidos y no durante cualquier momento, es decir, no tienen en cuenta la fluctuación del nivel del silo en su interior; los sensores que lo hacen, son costosos y su rango de alcance es reducido, además de presentar interferencias por material particulado en el ambiente. El uso de sensores de contacto en plataformas móviles junto con la adaptación de una polea a un sensor rotativo de paletas es una función innovadora de los dispositivos POKA YOKE diseñados, que consigue a un bajo costo la medición del nivel del silo durante todos los niveles posibles de almacenaje, además reduce el error humano emitiendo alertas durante fases críticas en los procesos de carga y descarga de silo, evitando errores de sobre carga o desabastecimiento; en consecuencia aumenta el grado de estandarización de este proceso de control.

Los beneficios que traen a las empresas que decidan implementar los POKA YOKE diseñados son bastantes, ya que les permitirá lograr el desempeño deseado de la producción, logrando aumentar la calidad de los productos y procesos, además de aumentar la satisfacción, la ventaja competitiva y la reputación de la empresa, ya que con las herramientas conseguirán la estandarización de métodos de trabajo, e instrumentos que permitan una validación de la información del nivel exacto del silo de manera eficaz, lo cual permitirá además agilizar el trabajo aumentando la eficiencia y disminuyendo el margen de error; al no permitir las pérdidas de material, ni los desperdicios como el re trabajo, los tiempos de espera, los defectos, inventarios innecesarios, entre otros que se pueden llegar a presentar.

11 RECOMENDACIONES

Debido a que a que la adopción e implementación de filosofías de mejora continua, exige de un gran compromiso por parte de la organización completa, trabajadores, administrativos, personal de servicios, y en general toda la empresa; se recomienda que las organizaciones que desean implementar esta herramienta, adopten un gran compromiso con los cambios que presentara su organización, mostrándose receptivos y dispuestos a colaborar y a aportar a la mejora continua de su empresa.

De igual forma, sabiendo que los sistemas POKA YOKE, son originarios de uno de los más importantes sistemas productivos en el mundo (sistema de producción Toyota), y que además es una de las herramientas más importantes de la filosofía lean Manufacturing, se impulsa a que las organizaciones que tengan implementados, o que desean implementar cualquier tipo de sistema POKA YOKE, implementen de igual forma más herramientas de dicha filosofía, ya que esto permitirá tener un conjunto de estrategias que aportaran y fortalecerán la calidad, tanto de sus procesos, sus productos, como de la empresa en general.

Por último se recomienda a todas las empresas que cuentan con silos en sus procesos productivos, adoptar medidas y herramientas como la diseñada en el presente trabajo de grado, ya que cuenta con un paquete completo de económica, eficacia, precisión, flexibilidad, entre otras características, que permiten tener un control óptimo de su producción, y a la vez le aportara a la estandarización de sus procesos, para obtener la mejora continua.

12 BIBLIOGRAFIA

Agriflex, (2020). Silos de torre de tejido. <https://www.agriflex.it/solution/silos-de-tejido/?lang=es>

Arbildo, A. (2011). el control de procesos industriales y su influencia en el mantenimiento. *Ingeniería industrial*. (29).35-49

Arrieta P. Juan G. (2011). *Herramientas de producción: Ayudas para el mejoramiento de los procesos productivos*. Colombia: Fondo Editorial Universidad.

Chirinos y et.al (2015). Silos en torre de hormigón. <https://es.slideshare.net/OscarelisBermudez/los-silos-54197893>

Citalisa. Imagen de silos de torre de tejido. <https://citalisa.com/silos-en-tejido>

Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial*. Mexico D.F, Mexico. Editorial Alfaomega

Darias, J. (2014). Los materiales granulares: una mirada al interior del pigmento. *Física acta científica venezolana*. 65 (1). 62-72

De la Fuente, D. y Fernández, I. (2005). *Distribución en planta*. Oviedo, España, Editorial Servicio de publicaciones Universidad de Oviedo.

Depositphotos. Imagen silos de torre metálicos. <https://sp.depositphotos.com/stock-photos/silos.htm>

Directindustry. Válvulas tipo bola. <https://www.directindustry.es/prod/zeppelin-silos-systems/product-50087-1489127.html>

Endress, (s.f). Detectores de paleta rotativa para medición de nivel. <https://www.co.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-nivel-paleta-rotativa>

Endress, (s.f). Detectores de paleta rotativa para medición de nivel. <https://www.co.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-nivel-paleta-rotativa>

Enriquez, G. (2012). El ABC de la instrumentación en el control de procesos industriales. Mexico D.F, Mexico. Editorial Limusa

Ernest y Young LLP. (2019). *International GAAP 2019 Generally Accepted Accounting Practice Under International Financial Reporting Standards*, Londres, Inglaterra. Editorial John Wiley & Sons Ltd.

Flexcom Ltda. Sistemas de fluidificación.
<https://www.flexcomltda.com/images/descarga-de-materiales/ba.jpg>

Florez, M. (2010). Libro de texto sistemas de manufactura. Instituto tecnológico de Celaya. Mexico D.F, Mexico

Fonseca, L. García, M y Zabala, K (2013). *Transporte y almacenamiento de solidos a granel, Transporte neumático, tolvas y silos de almacenamiento*, [Tesis de Pregrado]. Universidad del atlántico. Barranquilla, Colombia

Galgano, A. (2004). *LAS TRES REVOLUCIONES Caza del desperdicio: Doblar la productividad con la "Lean Production"*. MADRID: Ediciones Díaz de Santos.

García, C. (2016). Guía de notas manufactura esbelta. ITTLA. Mexico D.F, Mexico

Gonzales, F. (2007). Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) principales herramientas. *Revista panorama administrativo*. 1(20). 85-112

Groover, M. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Mexico D.F, Mexico. Edit. Mc Graw Hill

Hansen, B. L., y Ghare, P. M. (1990). *CONTROL DE CALIDAD TEORIA Y APLICACIONES*. Madrid, España. Editorial Díaz de Santos S.A.

Hernandez, J. Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing conceptos, técnicas e implantación*. Madrid, España. Editoriales Industriales

Hirano, H. (1991). *Poka-Yoke*, Tokyo, Japon, Editorial The nikkan Kogyo Shimbun.

Hyde, J. Regue, J. Cuspinera, A. (1997), *control electropneumático y electrónico*. Barcelona, España. Marcombo Boixareu Editores.

Idealtecsrl. Fondo con cóclea. <http://www.idealtecsrl.com/transportadoras-con-coclea/>

Idealtecsrl. Transportadora en cóclea <http://www.idealtecsrl.com/transportadoras-con-coclea/>

Idealtecsrl. Transportadora mecánica. <http://www.idealtecsrl.com/transportadoras-mecanicas/>

INGQPETER. Fondo con bandas.
<https://es.slideshare.net/INGQPETER/almacenamiento-de-solidos>

Jiménez Toro, M. A. (2016). *Propuesta para la implementación de la herramienta poka yoke en la elaboración de las fichas técnicas en el área de oficina en la elaboración de las fichas técnicas en el área de oficina*. BOGOTA: Tesis de tecnólogo industrial, Universidad Francisco José de Caldas.

Juran, J. M., y Gryna, F. M. (1993). *Administración de la Calidad Total para ingenieros Zari*. EEUU. Editorial Mohamed Panorama Editorial.

Lara, et.al (2012). *Introducción a la instrumentación industrial*. Mexico D.F, Mexico. Editorial Lagares.

Liker, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest manufacturer*. Estados unidos. Mc Graw Hill

Metalurgicacolla. Sistemas de carga.
<https://www.metalurgicacolla.com.ar/equipos/sistemas-de-carga-a-silos/>

Ms Ingeniería. Silos aéreos verticales permanentes. <https://www.ms-ingenieria.com.mx/capacitacion-y-normativas/caracteristicas-y-aplicaciones-de-silos/>

MyP equipos. Fondo tornillo. <https://www.mypequipos.com/transportador-tornillo-sin-fin/>

MyP Equipos. Válvulas de control de presión
<https://www.mypequipos.com/valvula-de-control-de-presion-depresion/>

Naveh, E. y Halevy, A. (1996). El Costo de la No Calidad. 20(03)

Osorio, J. Orejuela, J. (2008) *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) y la Toma de Decisiones Multicriterio*. Ejemplo de Aplicación, Scientia et Technica Año XIV (6) 39.

Palamatic Process. Valvula rotativa. <https://www.palamaticprocess.es/equipos-industriales/dosificacion/valvula-rotativa>

Perez, O. (2009). *Elaboración de cuadernillo de apuntes "sistemas de manufactura"*. Tecnológico de estudios superiores del oriente de México. Mexico D.F

Quiroga, C. (2015). *Propuesta de mejoras en la producción en una empresa manufacturera usando herramientas de Lean Manufacturing*. [Tesis de maestría]. División de ciencias económicas administrativas. Guanajuato, Mexico.

Real Academia Española. (2018). Obtenido de Real Academia Española. <https://dle.rae.es/?id=XtsbOwr>

RIVERA, L. (2008). *Justificación Conceptual de un Modelo de Implementación de Lean Manufacturing*. Heurística.

Scuttiamerica. Válvula Mariposa. http://scuttiamerica.com/es/?page_id=97

Shigeo, S. (1987). *The POKA YOKE System II Practical Applications* Productivity Press. Tokyo, Japón, Editorial The Free Press.

Socconini, L. (2019) *Lean Manufacturing paso a paso*. Bogota, Colombia. Editorial Alfaomega colombiana

Soto, D. (2011). Perspectiva de la gestión de la innovación desde los mecanismos a prueba de falla Poka Yoke. *Escenarios*, 9(1), 52–59.

Stolzsa. Mangas telescópicas <http://www.stolzsa.com/productos/mangas-telescopicas-de-carga-de-cisternas-y-camiones-0>

Vaycom. Valvula guillotinas <http://www.vaycom.com/es/valvulas-de-guillotina/kq-valvula-de-guillotina-cuadrada-rectangular/>

Vega, (s.f). VEGAKON, EL: Detección de punto de nivel con interruptor de nivel conductivo. <https://www.vega.com/es-es/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/interruptores-de-nivel/conductivo>

Vega, (s.f). VEGAKON, EL: Detección de punto de nivel con interruptor de nivel conductivo. <https://www.vega.com/es-es/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/interruptores-de-nivel/conductivo>

VEGA. POINTRAC 31 Sensor radiométrico para la detección de nivel. https://www.vega.com/es-es/home_es/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/interruptores-de-nivel/radiometr%C3%ADa/pointrac-31

VEGA. VEGAPOINT 31 interruptor capacitivo compacto. https://www.vega.com/es-es/home_es/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/interruptores-de-nivel/capacitivo/vegapoint-31

VEGA. VEGAVIB 61 interruptor de nivel vibratorio para sólidos granulados.
https://www.vega.com/es-es/home_es/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/interruptores-de-nivel/vibraci%C3%B3n/vegavib-61

VEGA. VEGAWAVE 61 Interruptor de nivel vibratorio para granulados finos.
https://www.vega.com/es-es/home_es/productos/cat%C3%A1logo-de-productos/interruptores-de-nivel/vibraci%C3%B3n/vegawave-61

Villaseñor, A. y Galindo, E. (2007). *Conceptos y reglas de Lean Manufacturing*. (Primera Ed.) México: Limusa.

Vistin, H. (2016). "DISEÑO DE UN SILO PARA ALMACENAMIENTO DE CEMENTO" (Tesis de Pregrado). Escuela superior politécnica de Chimborazo.

Williams D y Gracey A. (1996) *Mantenimiento y funcionamiento de silos*. Roma. Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Womack, J., Jones, D. and Roos, D. (1990) *The machine that changed the world: the story of lean production, First Harperennial* Ed. New York, U.S.A.

Z. Zhong, & Ooi y J. Rotter (2001), *The sensitivity of silo flow and Wall stress to filling method*. *Engng. Struct.* Denver, United states

Zuriguel, I. (2005). "Flujo y atascos de un medio granular en la descarga de silos" (Doctor). UNIVERSIDAD DE NAVARRA.

13 ANEXOS

Anexo 1: Matriz de evaluación cualitativa y cuantitativa del medidor de nivel Fuente: Autores

| Criterios | Tipos de sistemas de medición de nivel en silos de almacenaje de material sólido | | | | | | | | | |
|---|--|-----------|------------|----------|----------|------------------------|---------|-------|-----------|-------|
| | Importancia | Diafragma | Capacitivo | Rotativo | Vibrante | Sondeo electromecánico | Bascula | Radar | Radiación | Laser |
| Detector de nivel continuo | 10% | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 3 | 3 | 3 |
| Grado de exactitud en la medición del nivel | 10% | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3 | 3 |
| Aplicable a silos cerrados | 6% | 5 | 1 | 1 | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Aplicable a silos abierto | 8% | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Económico | 10% | 5 | 5 | 4 | 3 | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Sirve en presencia de material particulado | 8% | 2 | 3 | 5 | 5 | 5 | 4 | 1 | 2 | 1 |
| Sirve para materiales explosivos | 5% | 1 | 2 | 5 | 2 | 5 | 5 | 4 | 1 | 3 |
| No requiere mantenimiento periódico | 8% | 2 | 1 | 3 | 2 | 3 | 5 | 2 | 3 | 3 |
| Soporta altas temperaturas | 7% | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| Soporta altas presiones | 6% | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 |
| No requiere personal calificado para su utilización | 7% | 5 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 |
| Tiene en cuenta el flujo del material | 5% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 5 | 4 | 5 |
| Tiene en cuenta el problema de arqueo | 4% | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| No se ve afectado con sistemas de fluidificación | 6% | 4 | 5 | 5 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| CALIFICACION | 100% | 2,9 | 2,6 | 3,1 | 2,8 | 4,0 | 3,9 | 3,0 | 2,9 | 3,1 |

Anexo 2: Iteraciones del AHP Fuente: (Autores)

PROCESO ANALÍTICO JERÁRGICO AHP PARA SELECCIÓN DE SENSORES

| | Precio (Euros) | Precision | Frecuencia de mantenimiento | Insertidumbre | Restricciones |
|--------------------------|----------------|-----------|-----------------------------|---------------|--------------------------------------|
| | \$ | P | FM | I | R |
| Sensor de Contacto(SC) | \$ 109 | 99% | Mantenimiento remoto | 1% | No sirve en silos de liquido |
| Sensor sin contacto(SSC) | \$ 422 | 90% | Anual y asistido | 10% | En solidos solo trabaj a 3.5 m |
| Sensor Rotativo(SR) | \$ 149 | 99% | Trimestral | 1% | No es inalambrico |
| Sensor de Peso(SP) | \$ 4.307 | 99% | No necesita | 1% | No sirve en silos mayores a 40 ton |
| Sensor de Radar(SR) | \$ 366 | 90% | semestral y asistido | 10% | pierde precision en silos de solidos |

PRECIO

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|-----|-----|----|-----|
| S1 | 1 | 7 | 3 | 9 | 5 |
| S2 | 1/7 | 1 | 1/7 | 9 | 1/3 |
| S3 | 1/3 | 7 | 1 | 9 | 7 |
| S4 | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 1/9 |
| S5 | 1/5 | 3 | 1/7 | 9 | 1 |

| | | | | | |
|-------------|------|-------|------|-------|-------|
| SUMA | 1,79 | 15,00 | 4,40 | 37,00 | 13,44 |
|-------------|------|-------|------|-------|-------|

MATRIZ NORMALIZADA DE PRECIO

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| S1 | 5/9 | 1/2 | 2/3 | 1/4 | 3/8 |
| S2 | 0 | 0 | 0 | 1/4 | 0 |
| S3 | 1/5 | 1/2 | 2/9 | 1/4 | 1/2 |
| S4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S5 | 1/9 | 1/5 | 0 | 1/4 | 0 |

VECTOR PRIORITARIO DE PRECIO

| | |
|----|-----|
| S1 | 1/2 |
| S2 | 0 |
| S3 | 1/3 |
| S4 | 0 |
| S5 | 1/8 |

PRECISIÓN

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|----|-----|-----|----|
| S1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| S2 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 |
| S3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| S4 | 1 | 3 | 1 | 1 | 3 |
| S5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 |

| | | | | | |
|-------------|------|-------|------|------|-------|
| SUMA | 3,67 | 11,00 | 3,67 | 3,67 | 11,00 |
|-------------|------|-------|------|------|-------|

MATRIZ NORMALIZADA DE PRECISIÓN

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| S1 | 2/7 | 1/4 | 2/7 | 2/7 | 1/4 |
| S2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S3 | 2/7 | 1/4 | 2/7 | 2/7 | 1/4 |
| S4 | 2/7 | 1/4 | 2/7 | 2/7 | 1/4 |
| S5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

VECTOR PRIORITARIO DE PRECISIÓN

| | |
|----|-----|
| S1 | 1/4 |
| S2 | 0 |
| S3 | 1/4 |
| S4 | 1/4 |
| S5 | 0 |

FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|------|------|-------|-------|------|-------|
| S1 | 1 | 9 | 9 | 1/5 | 9 |
| S2 | 1/9 | 1 | 1/3 | 1/5 | 3 |
| S3 | 1/9 | 3 | 1 | 1/5 | 3 |
| S4 | 5 | 5 | 5 | 1 | 5 |
| S5 | 1/9 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1 |
| SUMA | 6,33 | 18,33 | 15,67 | 1,80 | 21,00 |

MATRIZ NORMALIZADA DE MANTENIMIENTOS

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| S1 | 1/6 | 1/2 | 4/7 | 1/9 | 3/7 |
| S2 | 0 | 0 | 0 | 1/9 | 1/7 |
| S3 | 0 | 1/6 | 0 | 1/9 | 1/7 |
| S4 | 4/5 | 2/7 | 1/3 | 5/9 | 1/4 |
| S5 | 0 | 0 | 0 | 1/9 | 0 |

VECTOR PRIORITARIO DE MANTENIMIENTOS

| | |
|----|-----|
| S1 | 1/3 |
| S2 | 0 |
| S3 | 0 |
| S4 | 3/7 |
| S5 | 0 |

INSERTIDUMBRE

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|------|------|-------|------|------|-------|
| S1 | 1 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| S2 | 1/5 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 |
| S3 | 1 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| S4 | 1 | 5 | 1 | 1 | 5 |
| S5 | 1/5 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 |
| SUMA | 3,40 | 17,00 | 3,40 | 3,40 | 17,00 |

MATRIZ NORMALIZADA DE INSERTIDUMBRE

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| S1 | 2/7 | 2/7 | 2/7 | 2/7 | 2/7 |
| S2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S3 | 2/7 | 2/7 | 2/7 | 2/7 | 2/7 |
| S4 | 2/7 | 2/7 | 2/7 | 2/7 | 2/7 |
| S5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

VECTOR PRIORITARIO DE INSERTIDUMBRE

| | |
|----|-----|
| S1 | 2/7 |
| S2 | 0 |
| S3 | 2/7 |
| S4 | 2/7 |
| S5 | 0 |

RESTRICCIONES

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|-----|-----|----|-----|
| S1 | 1 | 5 | 1/3 | 5 | 9 |
| S2 | 1/5 | 1 | 1/5 | 3 | 3 |
| S3 | 3 | 5 | 1 | 7 | 5 |
| S4 | 1/5 | 1/3 | 1/7 | 1 | 1/5 |
| S5 | 1/9 | 1/3 | 1/5 | 5 | 1 |

| | | | | | |
|------|------|-------|------|-------|-------|
| SUMA | 4,51 | 11,67 | 1,88 | 21,00 | 18,20 |
|------|------|-------|------|-------|-------|

MATRIZ NORMALIZADA DE RESTRICCIONES

| | S1 | S2 | S3 | S4 | S5 |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| S1 | 2/9 | 3/7 | 1/6 | 1/4 | 1/2 |
| S2 | 0 | 0 | 1/9 | 1/7 | 1/6 |
| S3 | 2/3 | 3/7 | 1/2 | 1/3 | 2/7 |
| S4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| S5 | 0 | 0 | 1/9 | 1/4 | 0 |

VECTOR PRIORITARIO DE RESTRICCIONES

| | |
|----|-----|
| S1 | 1/3 |
| S2 | 1/9 |
| S3 | 4/9 |
| S4 | 0 |
| S5 | 0 |

RESUMEN VECTOR PRIORIDAD

| | S | P | FM | I | R |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| SC | 1/2 | 1/4 | 1/3 | 2/7 | 1/3 |
| SSC | 0 | 0 | 0 | 0 | 1/9 |
| SR | 1/3 | 1/4 | 0 | 2/7 | 4/9 |
| SP | 0 | 1/4 | 3/7 | 2/7 | 0 |
| SRAD | 1/8 | 0 | 0 | 0 | 0 |

ANALISIS DE CRITERIOS

| | S | P | FM | I | R |
|----|-----|-----|----|-----|-----|
| S | 1 | 1 | 9 | 5 | 1 |
| P | 1 | 1 | 9 | 1 | 1/3 |
| FM | 1/9 | 1/9 | 1 | 1/7 | 1/9 |
| I | 1/5 | 1 | 7 | 1 | 1/7 |
| R | 1 | 3 | 9 | 7 | 1 |

| | | | | | |
|------|------|------|-------|-------|------|
| SUMA | 3,31 | 6,11 | 35,00 | 14,14 | 2,59 |
|------|------|------|-------|-------|------|

MATRIZ NORMALIZADA DE CRITERIOS

| | S | P | FM | I | R |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| S | 1/3 | 1/6 | 1/4 | 1/3 | 2/5 |
| P | 1/3 | 1/6 | 1/4 | 0 | 1/8 |
| FM | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| I | 0 | 1/6 | 1/5 | 0 | 0 |
| R | 1/3 | 1/2 | 1/4 | 1/2 | 2/5 |

VECTOR PRIORITARIO DE CRITERIOS

| | |
|----|-----|
| S1 | 2/7 |
| S2 | 1/5 |
| S3 | 0 |
| S4 | 1/9 |
| S5 | 2/5 |

RESUMEN VECTOR PRIORIDAD

| | S | P | FM | I | R |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| SC | 1/2 | 1/4 | 1/3 | 2/7 | 1/3 |
| SSC | 0 | 0 | 0 | 0 | 1/9 |
| SR | 1/3 | 1/4 | 0 | 2/7 | 4/9 |
| SP | 0 | 1/4 | 3/7 | 2/7 | 0 |
| SRAD | 1/8 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| VECTOR PRIORITARIO | ELECCION |
|--------------------|----------|
| 2/7 | 35% |
| 1/5 | 9% |
| 0 | 35% |
| 1/9 | 12% |
| 2/5 | 24% |

Anexo 3: Áreas y productos de riesgo clase II del código eléctrico colombiano – (NTC 2050) Fuente: (Ochoa y Gamarra, 2008)

- **Áreas:** aquellas en las que están presentes productos como polvos orgánicos, carbón, metales flamantes y las sustancias identificadas a continuación.

| Sustancias típicas de Clase II | |
|--------------------------------|---|
| Grupo E: | Aluminio, Magnesio. |
| Grupo F: | Carbón, Negro de Humo, Coque. |
| Grupo G: | Harina, Cereales, Granos, Aserrín Madera, Aserrín de Plástico y Productos Químicos. |

Tabla 2. Clasificación de productos por grupo para la Clase II

Anexo 4: Ficha técnica sensor de contacto VEGAPOINT 31 Fuente: (Vega instrumentos S.A)

VEGA

Hoja de datos del producto

VEGAPOINT 31

Transistor (PNP/NPN)

Interruptor de nivel capacitivo



Campo de aplicación

El VEGAPOINT 31 es un sensor de nivel capacitivo para la detección de nivel en sólidos granulados finos y en polvo.

Aplicaciones típicas son la protección contra sobrellenado y contra marcha en seco. El pequeño sensor también se puede utilizar en tuberías delgadas.

Su ventaja

- Puesta en marcha sencilla mediante la función Bluetooth
- Gran disponibilidad de instalación gracias a la ausencia de desgaste y de mantenimiento
- Función de conmutación exacta independiente de las condiciones de proceso

Función

En la punta del electrodo de medición se genera un campo eléctrico alterno. Si el sensor se cubre de producto se modifica la capacidad del sensor. Este cambio es detectado por la electrónica y convertido en una orden de conmutación.

Las adherencias eventuales existentes se ignoran hasta cierto punto y por lo tanto no afectan la medición.

Datos técnicos

| | |
|-------------------------|--|
| Señal de salida | Transistor (PNP/NPN) |
| Conexión a proceso | Rosca G½, G¾, G1, M24 x 1,5 Rosca ½ NPT, ¾ NPT, 1 NPT Brida 1", 1½", 2" Otras conexiones higiénicas |
| Presión de proceso | -1 ... 25 bar (-100 ... 2500 kPa/- 14.5 ... 363 psig) |
| Temperatura de proceso | -40 ... +115 °C (-40 ... +239 °F) |
| Temperatura ambiente | -40 ... +70 °C (-40 ... +158 °F) |
| Tensión de alimentación | 12 ... 35 V DC |

Materiales

Las piezas del equipo en contacto con el medio están hechas de PEEK y acero inoxidable 316L. El sello de proceso de FKM.

Un resumen completo de todos los materiales y juntas disponibles se encuentran en el "Configurador" en www.vega.com y "Productos".

Versiones de carcasas

La carcasa está fabricada en acero inoxidable 316L o Valox y está disponible en las clases de protección IP66/IP67 y hasta IP69.

Versiones electrónicas

Los equipos están disponibles en dos versiones electrónicas diferentes. Junto a la electrónica con salida de transistores (PNP/NPN) hay disponible también una versión con transistor con salida IO-Link.


Homologaciones

El equipo está homologado higiénicamente para su uso en la industria alimentaria y farmacéutica.

Para equipos aprobados (p.E.) con homologación Ex se aplican los datos técnicos en las instrucciones de seguridad correspondientes. En casos aislados estas se pueden diferenciar de los datos descritos aquí.

Todos los documentos de homologación se pueden descargar de nuestra página web.


Anexo 5: Ficha Técnica sensor rotativo Soliswithc fte 20 Fuente: Endress



High Quality – Low Price!

Home Acerca de E-direct Contacto

España ▼ español ▼


Endress+Hauser 

People for Process Automation

Productos

Buscar Go

Iniciar sesión
Su cuenta ▼

 Cesta de
Compra ▼

[Home](#) > [Productos](#) > [Detectores y sensores de nivel](#) > [Soliswitch FTE20](#)

Datos y versiones

Aplicación +
Función

Datos
técnicos

Documentos +
Software

Salida

Señal de salida Binaria

Tiempo de respuesta Desde el punto de detección hasta la señal de conmutación de salida: 20°, que corresponde a 3,5 s.

Cambio de capacidad del relé EN 61058: 250 V AC 5E4, 6(2) A;
L 1054: 125 a 250 V AC, 5 A;
30 V DC, 8 A;
Carga mínima 300 mW (5 V/5 mA)

Función Detección de estado de llenado

Monitorización de rotación automática (opcional) Detección de bloqueo o fallo de la unidad de movimiento

Fuente de alimentación

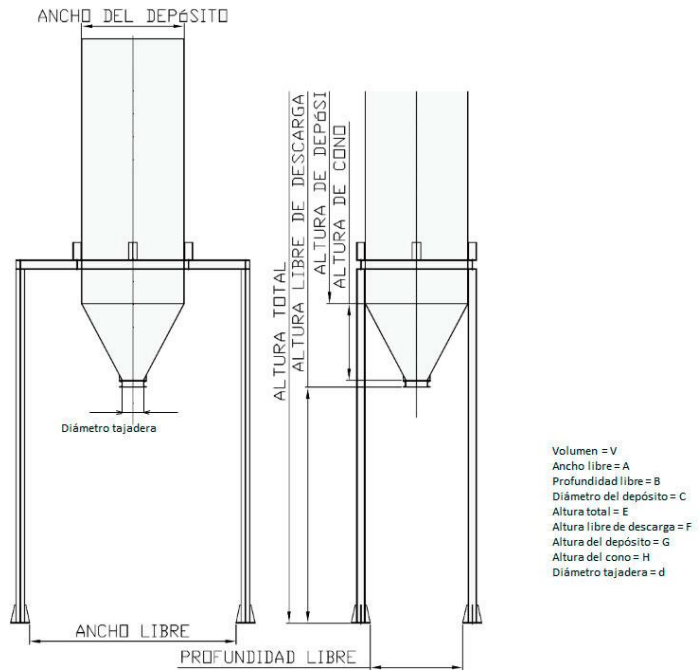
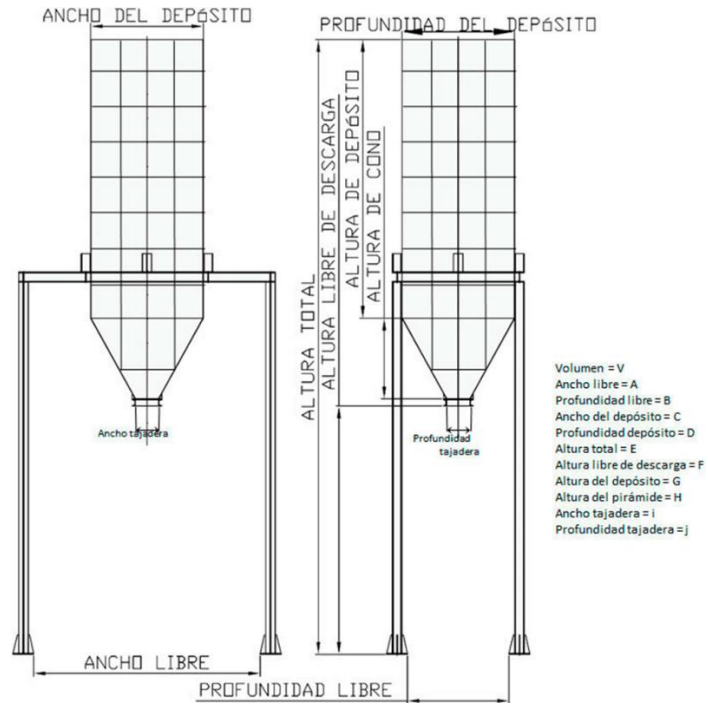
Tensión de alimentación 20 a 28 V DC 24 V AC; 115 V AC; 230 V AC

Consumo máx. 3,5 VA

Entrada de cable 2 × prensaestopas M20 × 1,5 (opcional: 1 × prensaestopas M20 × 1,5 e indicador luminoso de estado)

Ac
Ve z

Anexo 6: planos de identificación de variables Fuente: (Hidrometalica)



Anexo 7: Base de datos inicial del tablero Dashboard Fuente: (Autores)

Excel (Error de activación de productos) - TESIS DE GRADO - TABLERO DASHBOARD FINAL libro - Excel (Error de activación de productos)

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

Maria angelica salcedo hernandez

P12

| BASE DE DATOS | | | | | | | | FORMATO PARA CALCULO DE NIVEL DE SILO | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|----------------------|--|----------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------|---|
| CALCULO DE NIVEL DE SILOS | | | | | | | | CODIGO DEL DISPOSITIVO: 452563 | | | VERSION: 1 | | | | | |
| | | | | | | | | FECHA: 21-04-2020 | | | PAGINA 1 DE 7 | | | | | |
| TIPO DE SILO | DIMENSIONES DEL SILO | | | | | | MATERIAL A ALMACENAR | CARACTERISTICAS DEL MATERIAL A ALMACENAR | | VOLUMEN SILO CILINDRICO | | | VOLUMEN SILO CUADRADO | | | CAPACIDAD TOTAL DEL SILO AL 100% DEL MATERIAL (Ton) |
| | DIAMETRO O ANCHO DEL DEPOSITO (m) | RADIO (m) | PROFUNDIDAD DEL DEPOSITO (m) | ALTURA DE DESCARGA (m) | ALTURA DE DEPOSITO (m) | ALTURA TOTAL (m) | | PESO ESPECIFICO (kg/m ³) | ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°) | VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³) | VOLUMEN DEL CONO (m ³) | VOLUMEN TOTAL (m ³) | VOLUMEN DEL PARALELEPIPEDO (m ³) | VOLUMEN DEL CONO (m ³) | VOLUMEN TOTAL (m ³) | |
| SILO TIPO 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SILO TIPO 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SILO TIPO 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SILO TIPO 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SILO TIPO 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |

BASE DE DATOS EQUIVALENCIAS SILO TIPO 1 SILO TIPO 2 SILO TIPO 3 SILO TIPO 4 ...

LISTO Escribe aquí para buscar

2:59 a. m. 29/04/2020

Anexo 8: Tabla de pesos específicos y ángulos de rozamiento interno de algunos materiales **Fuente:** (Olessa)



| PESO ESPECÍFICO Y ANGULO DE ROZAMIENTO INTERNO DE DIVERSAS MATERIAS | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|
| Material | Peso específico | Angulo de rozamiento interno |
| | aparente kg/m ³ | |
| A. Materiales de construcción | | |
| Arena | 1.500 | 30º |
| Arena de pómez | 700 | 35º |
| Cal en polvo | 1.000 | 25º |
| Cal en terrón | 1.000 | 45º |
| Cascote o polvo de ladrillo | 1.300 | 35º |
| Cemento en sacos | 1.600 | --- |
| Cemento en polvo | 1.200 | 25º |
| Cenizas de coque | 700 | 25º |
| Clinker de cemento | 1.500 | 30º |
| Escoria de Altos Hornos (granulada) | 1.100 | 25º |
| Escoria de Altos Hornos (troceada) | 1.500 | 40º |
| Grava | 1.700 | 40º |
| Yeso y escayola | 1.250 | 25º |
| B. Combustibles | | |
| Briquetas de lignito, amontonadas | 800 | 30º |
| Briquetas de lignito, apiladas | 1.300 | --- |
| Carbón de leña en trozos | 400 | 45º |
| Coque de hulla | 500 | 45º |
| Hulla en bruto, con humedad de mina | 1.000 | 45º |
| Hulla pulverizada | 700 | 25º |
| Hulla en residuos de lavadero | 1.200 | 0º |
| Hulla en otras formas | 850 | 30º |
| Leña en astillas | 200 | 45º |
| Leña troceada | 400 | 45º |
| Lignito | 700 | 35º |
| Serrín de madera asentado | 250 | 45º |
| Serrín de madera suelto | 150 | 45º |
| C. Productos agrícolas | | |
| Avena | 450 | 30º |
| Azúcar | 750 | 35º |
| Cebada | 650 | 25º |
| Centeno | 800 | 35º |
| Guisantes | 800 | 25º |
| Harina y salvado | 500 | 45º |
| Heno prensado | 170 | -- |
| Judías | 750 | 30º |
| Maíz | 750 | 25º |
| Malta triturada | 400 | 45º |
| Patatas | 750 | 30º |
| Remolacha azucarera desecada y cortada | 300 | 40º |
| Remolacha, nabos o zanahorias | 750 | 30º |
| Sémola | 550 | 30º |
| Trigo | 750 | 25º |

Anexo 9: Base de datos con formulación de volumen y capacidad

Fuente: (Autores)

TESIS DE GRADO - TABLERO DASHBOARD FINAL libro - Excel (Error de activación de productos)

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

Suma: $=3,1416*(C11^2)*F11$

| TIPO DE SILO | DIMENSIONES DEL SILO | | | | | | MATERIAL A ALMACENAR | CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A ALMACENAR | | VOLUMEN DEL SILO | | | | | CAPACIDAD TOTAL DEL SILO AL 100% DEL MATERIAL (Ton) | |
|--------------|-----------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|----------------------|--|----------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|---|--------|
| | DIAMETRO O ANCHO DEL DEPOSITO (m) | RADIO (m) | PROFUNDIDAD DEL DEPOSITO (m) | ALTURA DE DESCARGA (m) | ALTURA DE DEPOSITO (m) | ALTURA TOTAL (m) | | PESO ESPECÍFICO (kg/m ³) | ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°) | VOLUMEN SILO CILINDRICO | | | VOLUMEN SILO CUADRADO | | | |
| | | | | | | | | | | VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³) | VOLUMEN DEL CONO (m ³) | VOLUMEN TOTAL (m ³) | VOLUMEN DEL PARALELEPÍPEDO (m ³) | VOLUMEN TOTAL (m ³) | | |
| SILO TIPO 1 | 25,0 | 12,5 | | | 39,0 | 39,0 | Cemento en polvo | 1.200 | 25,0 | =3,1416*(C | | | 19.144,1 | | | 22.973 |
| SILO TIPO 2 | 18,0 | 9,0 | | 9,0 | 22,0 | 31,0 | Malta triturada | 400 | 45 | 5.598,3 | 763,4 | 6.361,7 | | | 2.545 | |
| SILO TIPO 3 | 20,0 | 10,0 | 31 | 5 | 7,0 | 12 | Cebada | 650 | 27 | | | | 4.340 | 524 | 4.864 | 3.161 |
| SILO TIPO 4 | 7,0 | 3,5 | | 1 | 16,0 | 18,0 | Cenizas de coque | 700 | 16 | 615,8 | 12,8 | 1.244,3 | | | 871 | |
| SILO TIPO 5 | 10,0 | 5,0 | | 3 | 20,0 | 23,0 | Clinker de cemento | 1.500 | 31 | 1.570,8 | 78,6 | 1.649,4 | | | 2.474 | |

MODIFICAR Escribe aquí para buscar

TESIS DE GRADO - TABLERO DASHBOARD FINAL libro - Excel (Error de activación de productos)

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

Suma: $=M12*(I12/1000)$

| TIPO DE SILO | DIMENSIONES DEL SILO | | | | | | MATERIAL A ALMACENAR | CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A ALMACENAR | | VOLUMEN DEL SILO | | | | | CAPACIDAD TOTAL DEL SILO AL 100% DEL MATERIAL (Ton) | |
|--------------|-----------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------|----------------------|--|----------------------------------|--|------------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------------|---|-------|
| | DIAMETRO O ANCHO DEL DEPOSITO (m) | RADIO (m) | PROFUNDIDAD DEL DEPOSITO (m) | ALTURA DE DESCARGA (m) | ALTURA DE DEPOSITO (m) | ALTURA TOTAL (m) | | PESO ESPECÍFICO (kg/m ³) | ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°) | VOLUMEN SILO CILINDRICO | | | VOLUMEN SILO CUADRADO | | | |
| | | | | | | | | | | VOLUMEN DEL CILINDRO (m ³) | VOLUMEN DEL CONO (m ³) | VOLUMEN TOTAL (m ³) | VOLUMEN DEL PARALELEPÍPEDO (m ³) | VOLUMEN TOTAL (m ³) | | |
| SILO TIPO 1 | 25,0 | 12,5 | | | 39,0 | 39,0 | Cemento en polvo | 1.200 | 25,0 | 19.144,1 | | 19.144,1 | | | 22.973 | |
| SILO TIPO 2 | 18,0 | 9,0 | | 9,0 | 22,0 | 31,0 | Malta triturada | 400 | 45 | 5.598,3 | 763,4 | 6.361,7 | | | =M12*(I12/1000) | |
| SILO TIPO 3 | 20,0 | 10,0 | 31 | 5 | 7,0 | 12 | Cebada | 650 | 27 | | | | 4.340 | 524 | 4.864 | 3.161 |
| SILO TIPO 4 | 7,0 | 3,5 | | 1 | 16,0 | 18,0 | Cenizas de coque | 700 | 16 | 615,8 | 12,8 | 1.244,3 | | | 871 | |
| SILO TIPO 5 | 10,0 | 5,0 | | 3 | 20,0 | 23,0 | Clinker de cemento | 1.500 | 31 | 1.570,8 | 78,6 | 1.649,4 | | | 2.474 | |

MODIFICAR Escribe aquí para buscar

Anexo 10: Tablas de equivalencias Fuentes: Autores

TESIS DE GRADO - TABLERO DASHBOARD FINAL libro - Excel (Error de activación de productos)

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

Maria angelica salcedo hernandez

D20

EQUIVALENCIAS DE LA CAPACIDAD TOTAL DEL SILO EN FUNCION DE LA ALTURA TOTAL Y DE LA CAPACIDAD DEL MATERIAL ALMACENADO

EQUIVALENCIA DEL NIVEL DEL SILO EN % EN FUNCION DE LA ALTURA MEDIDA POR EL DISPOSITIVO

SILO TIPO 1

| | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % |
|-------------------------------------|------------|-------------------|
| METROS INDICADOS POR EL DISPOSITIVO | 35 | |
| ALTURA TOTAL DEL SILO (m) | 39 | 100 |
| NIVEL DEL SILO | 4 | 10 |

SILO TIPO 2

| | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % |
|-------------------------------------|------------|-------------------|
| METROS INDICADOS POR EL DISPOSITIVO | 0 | |
| ALTURA TOTAL DEL SILO (m) | 31 | 100 |
| NIVEL DEL SILO | 31 | 100 |

SILO TIPO 3

| | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % |
|-------------------------------------|------------|-------------------|
| METROS INDICADOS POR EL DISPOSITIVO | 0 | |
| ALTURA TOTAL DEL SILO (m) | 12 | 100 |
| NIVEL DEL SILO | 12 | 100 |

SILO TIPO 4

| | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % |
|-------------------------------------|------------|-------------------|
| METROS INDICADOS POR EL DISPOSITIVO | 0 | |
| ALTURA TOTAL DEL SILO (m) | 18 | 100 |
| NIVEL DEL SILO | 18 | 100 |

SILO TIPO 5

| | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % |
|-------------------------------------|------------|-------------------|
| METROS INDICADOS POR EL DISPOSITIVO | 0 | |
| ALTURA TOTAL DEL SILO (m) | 23 | 100 |
| NIVEL DEL SILO | 23 | 100 |

EQUIVALENCIA DE LA CAPACIDAD DEL SILO EN FUNCION DE LAS TONELADAS DEL MATERIAL ALMACENADO

SILO TIPO 1

| MATERIAL ALMACENADO | CAPACIDAD TOTAL DEL SILO EN TONELADAS | CAPACIDAD ACTUAL DEL SILO (Ton) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Cemento en polvo | 22973 | 2356 |

SILO TIPO 2

| MATERIAL ALMACENADO | CAPACIDAD TOTAL DEL SILO EN TONELADAS | CAPACIDAD ACTUAL DEL SILO (Ton) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Malta triturada | 2545 | 2545 |

SILO TIPO 3

| MATERIAL ALMACENADO | CAPACIDAD TOTAL DEL SILO EN TONELADAS | CAPACIDAD ACTUAL DEL SILO (Ton) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Cebada | 3161 | 3161 |

SILO TIPO 4

| MATERIAL ALMACENADO | CAPACIDAD TOTAL DEL SILO EN TONELADAS | CAPACIDAD ACTUAL DEL SILO (Ton) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Cenizas de coque | 871 | 871 |

SILO TIPO 5

| MATERIAL ALMACENADO | CAPACIDAD TOTAL DEL SILO EN TONELADAS | CAPACIDAD ACTUAL DEL SILO (Ton) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Clinker de cemento | 2474 | 2474 |

BASE DE DATOS EQUIVALENCIAS SILO TIPO 1 SILO TIPO 2 SILO TIPO 3 SILO TIPO 4 ...

PROMEDIO: 2544,696 RECUENTO: 6 SUMA: 5089,392

3:24 a. m. 29/04/2020

Anexo 11: procedimiento de cálculo de equivalencias del nivel de silo Fuente: (Autores)

1.

TESIS DE GRADO - TABLERO DASHBOARD FINAL libro - Excel (Error de activación de productos)

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

SUMA $=B11-B10$

EQUIVALENCIAS DE LA CAPACIDAD TOTAL DEL SILO EN FUNCION DE LA ALTURA TOTAL Y DE LA CAPACIDAD DEL MATERIAL ALMACENADO

EQUIVALENCIA DEL NIVEL DEL SILO EN % EN FUNCION DE LA ALTURA MEDIDA POR EL DISPOSITVO

| | SILO TIPO 1 | | SILO TIPO 2 | | SILO TIPO 3 | | SILO TIPO 4 | | SILO TIPO 5 | |
|-------------------------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % |
| METROS INDICADOS POR EL DISPOSITIVO | 35 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| ALTURA TOTAL DEL SILO (m) | 39 | 100 | 31 | 100 | 12 | 100 | 18 | 100 | 23 | 100 |
| NIVEL DEL SILO | =B11-B10 | 10 | 31 | 100 | 12 | 100 | 18 | 100 | 23 | 100 |

EQUIVALENCIA DE LA CAPACIDAD DEL SILO EN FUNCION DE LAS TONELADAS DEL MATERIAL ALMACENADO

1240, 47 pixeles 79 x 65 pixeles 1920 x 1200 pixeles 100%

Escribe aquí para buscar

3:32 a. m. 29/04/2020

2.

TESIS DE GRADO - TABLERO DASHBOARD FINAL libro - Excel (Error de activación de productos)

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

SUMA $= (B12*C11)/B11$

EQUIVALENCIAS DE LA CAPACIDAD TOTAL DEL SILO EN FUNCION DE LA ALTURA TOTAL Y DE LA CAPACIDAD DEL MATERIAL ALMACENADO

EQUIVALENCIA DEL NIVEL DEL SILO EN % EN FUNCION DE LA ALTURA MEDIDA POR EL DISPOSITVO

| | SILO TIPO 1 | | SILO TIPO 2 | | SILO TIPO 3 | | SILO TIPO 4 | | SILO TIPO 5 | |
|-------------------------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % | ALTURA (m) | EQUIVALENCIA EN % |
| METROS INDICADOS POR EL DISPOSITIVO | 35 | | 0 | | 0 | | 0 | | 0 | |
| ALTURA TOTAL DEL SILO (m) | 39 | 100 | 31 | 100 | 12 | 100 | 18 | 100 | 23 | 100 |
| NIVEL DEL SILO | 4 | $= (B12*C11)/B11$ | 31 | 100 | 12 | 100 | 18 | 100 | 23 | 100 |

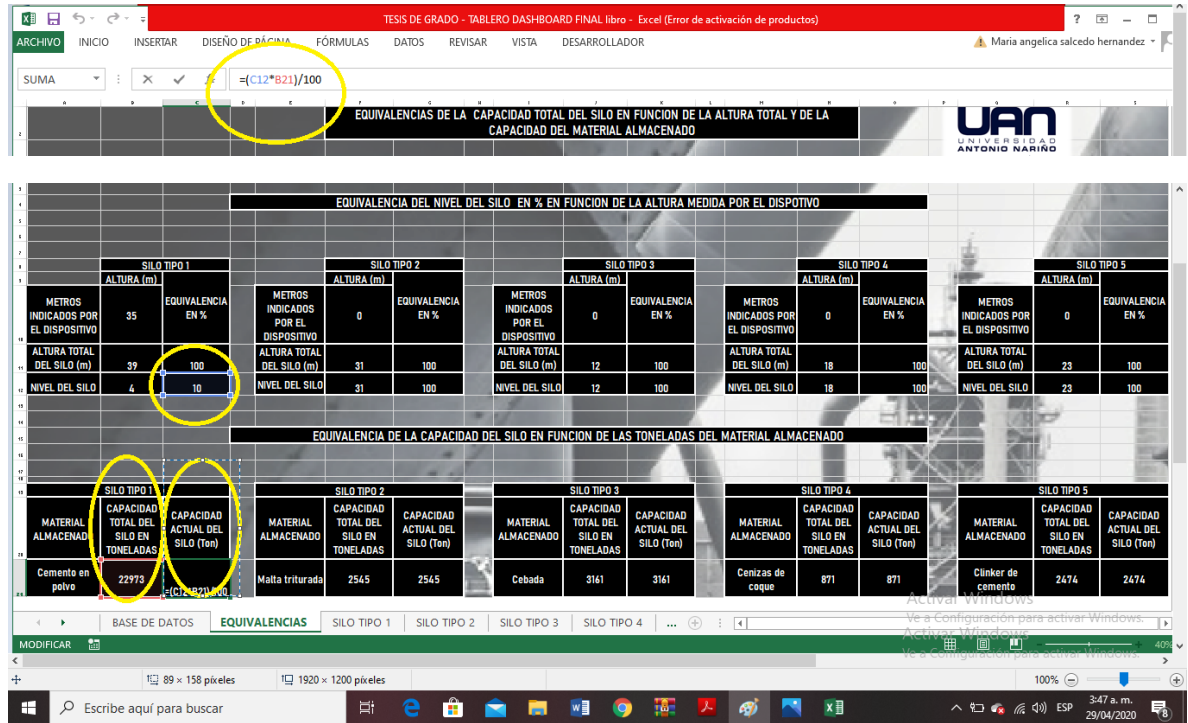
EQUIVALENCIA DE LA CAPACIDAD DEL SILO EN FUNCION DE LAS TONELADAS DEL MATERIAL ALMACENADO

435, 137 pixeles 1920 x 1200 pixeles 100%

Escribe aquí para buscar

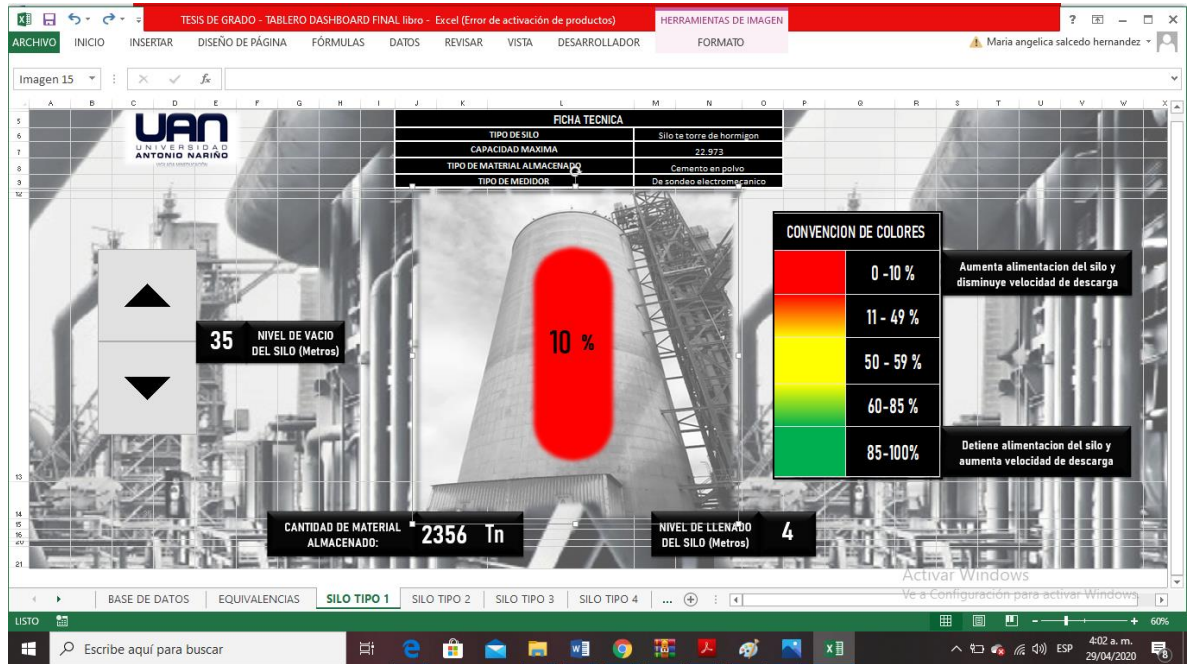
3:38 a. m. 29/04/2020

Anexo 12: cálculo de equivalencia del nivel del silo en función de las toneladas de material almacenado Fuente: (Autores)



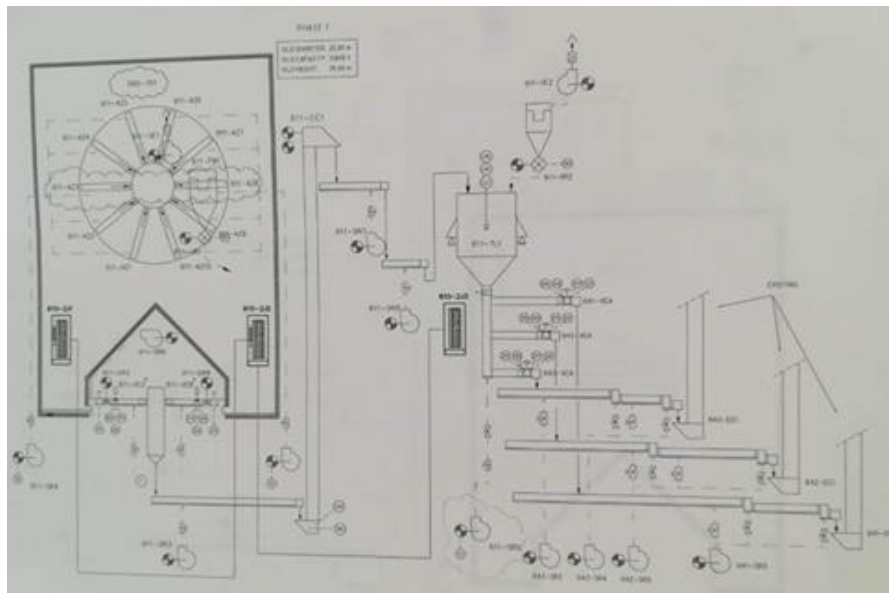
Anexo 13: procedimiento de elaboración de Dashboard Fuente: Autores

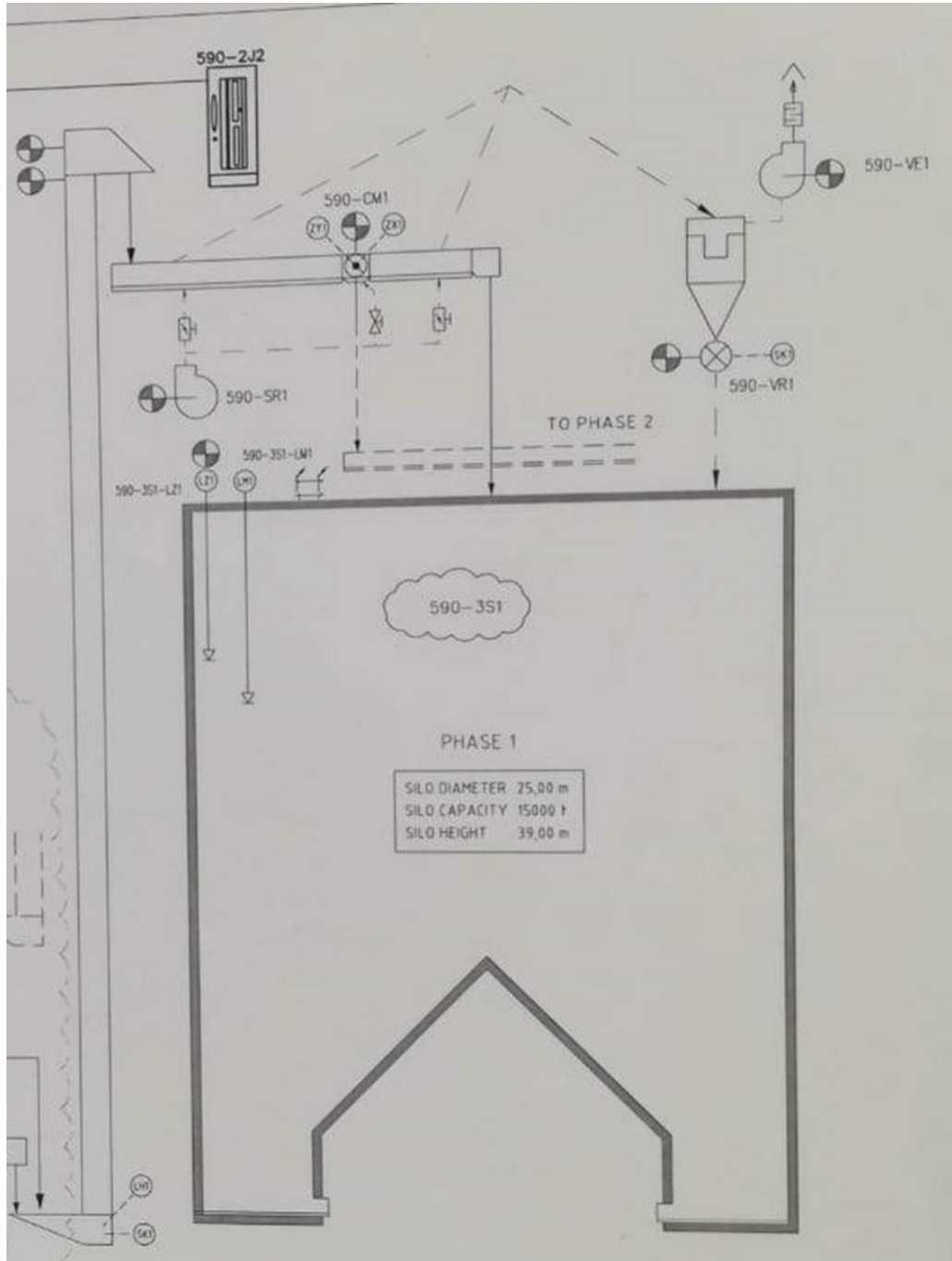




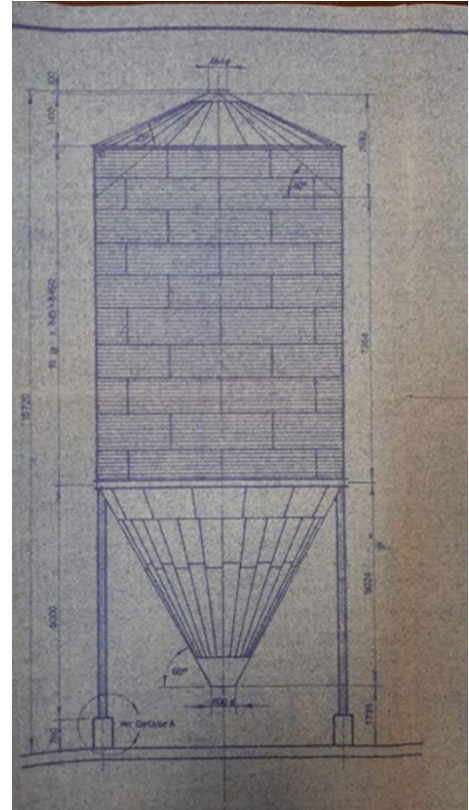
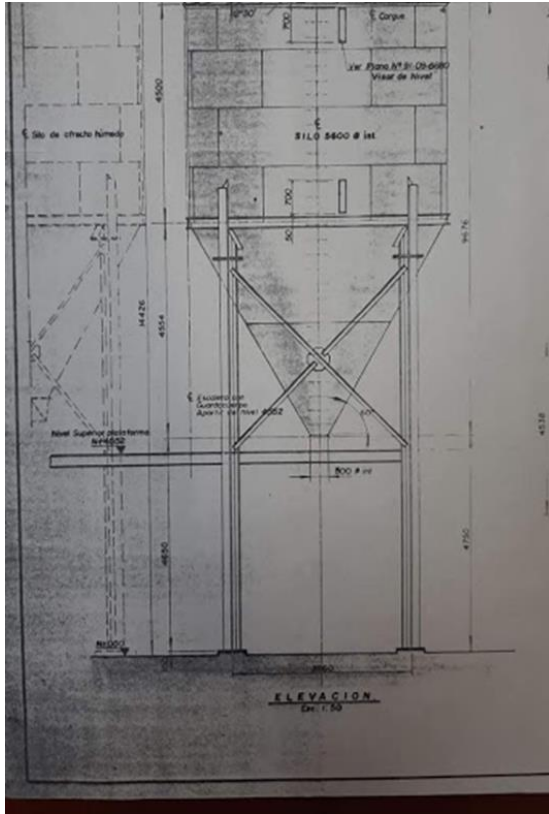
Anexo 14: Planos y tablas de dimensiones reales de silos **Fuente:** información de empresas, recursos web

1. Silo multicamara de empresa cementera



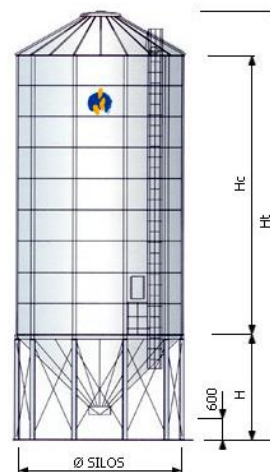


2. Silos cónicos, empresa cervecera:



3. Tablas de dimensiones de empresas que diseñan y construyen silos

| SILO FONDO CONICO A 45° 45° HOPPER BOTTOM SILOS | | | | |
|--|----------------------|------|------------------|-------|
| MODELO MODEL | DIAMETRO DIAMETER | | ALTURA HEIGHT | |
| | m | H | Hc | Ht |
| FC 5 - 9 | 4.55 | 3,00 | 7,97 | 12,34 |
| FC 5 - 12 | 4.55 | 3,02 | 10,61 | 15,00 |
| FC 5 - 15 | 4.55 | 3,04 | 13,25 | 17,66 |
| FC 6 - 9 | 5.46 | 3,48 | 7,97 | 13,10 |
| FC 6 - 12 | 5.46 | 3,48 | 10,61 | 15,74 |
| FC 6 - 15 | 5.46 | 3,50 | 13,25 | 18,40 |
| FC 6 - 18 | 5.46 | 3,52 | 15,89 | 21,06 |
| FC 7 - 9 | 6.37 | 3,95 | 7,97 | 13,85 |
| FC 7 - 12 | 6.37 | 3,97 | 10,61 | 16,51 |
| FC 7 - 15 | 6.37 | 3,97 | 13,25 | 19,15 |
| FC 7 - 18 | 6.37 | 4,00 | 15,89 | 21,82 |



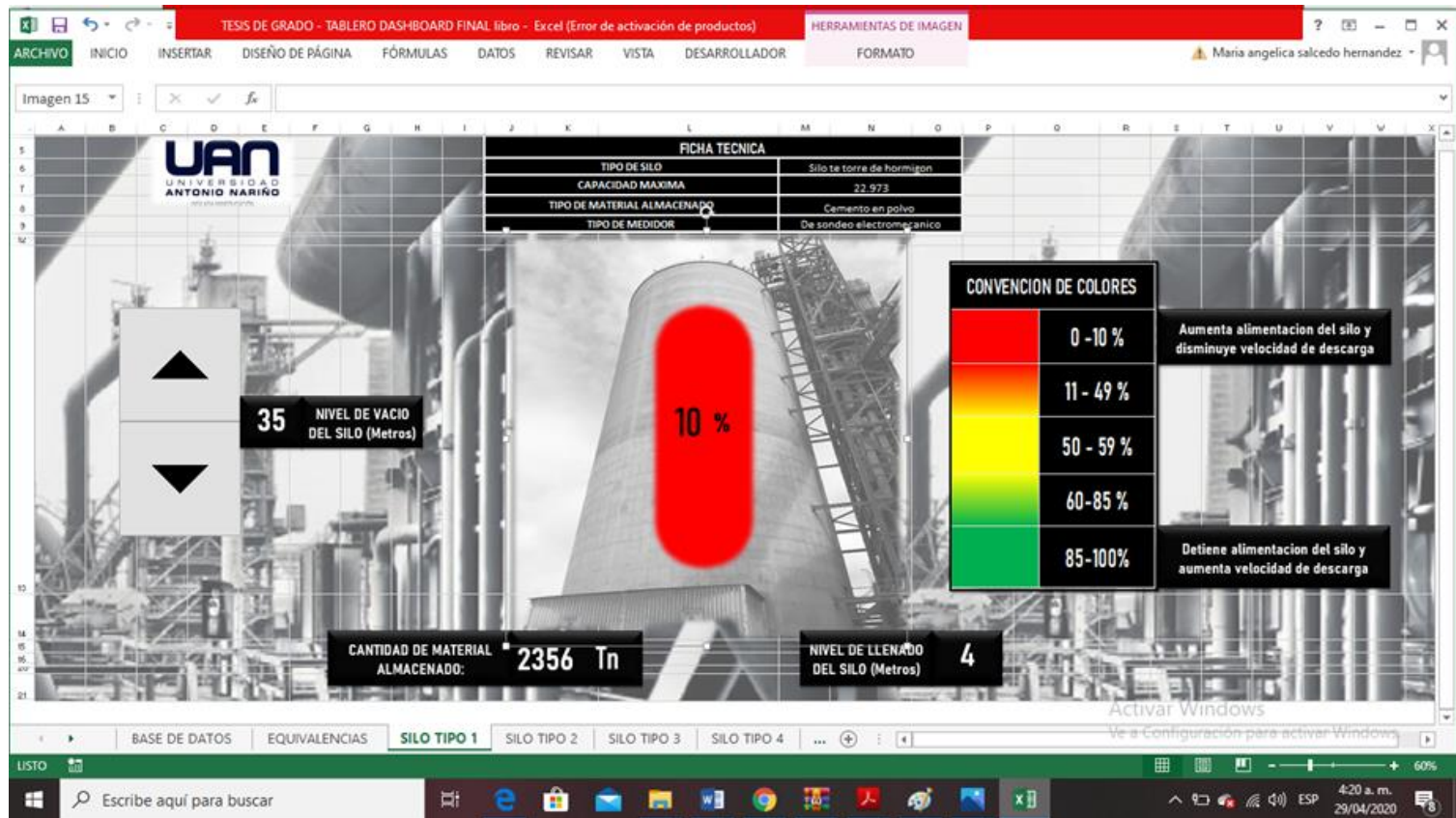
| n° di virgole altezza cilindro nr. of rings cylinder height He | SILO A FONDO PIANO FLAT BOTTOM SILOS | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | CAPACITA' - CAPACITY - m³ | | | | | | | | | | | | | | |
| | MODELLO/DIAMETRO - MODEL/DIAMETER | | | | | | | | | | | | | | |
| | IP4 | IP5 | IP6 | IP7 | IP8 | IP9 | IP10 | IP11 | IP12 | IP14 | IP16 | IP18 | IP20 | IP22 | |
| 3,64 m | 4,55 m | 5,46 m | 6,37 m | 7,28 m | 8,19 m | 9,10 m | 10 m | 10,91 m | 12,73 m | 14,55 m | 16,37 m | 18,19 m | 20,02 m | | |
| 5 | 4,45 m | 49,6 | 78,8 | 114,9 | 159,8 | | | | | | | | | | |
| 6 | 5,33 m | 58,8 | 93,1 | 135,5 | 187,8 | | | | | | | | | | |
| 7 | 6,21 m | 67,9 | 107,4 | 156,1 | 215,9 | | | | | | | | | | |
| 8 | 7,09 m | 77,1 | 121,7 | 176,7 | 243,9 | 321,1 | 411,9 | 513,4 | | | | | | | |
| 9 | 7,97 m | 86,3 | 136,0 | 197,3 | 272,0 | 358,4 | 457,9 | 570,6 | | | | | | | |
| 10 | 8,85 m | 95,4 | 150,3 | 217,9 | 300,0 | 395,0 | 504,3 | 627,9 | 764,4 | 917,4 | 1269,5 | 1685,3 | | | |
| 11 | 9,73 m | 104,6 | 164,6 | 238,5 | 328,1 | 431,6 | 550,6 | 685,1 | 833,5 | 999,6 | 1381,5 | 1831,6 | | | |
| 12 | 10,61 m | 113,6 | 178,9 | 259,1 | 356,1 | 468,3 | 597,0 | 742,3 | 902,6 | 1081,9 | 1493,5 | 1977,8 | 2527,7 | 3175,1 | 3897,3 |
| 13 | 11,49 m | 122,9 | 193,2 | 279,7 | 384,2 | 504,9 | 643,3 | 799,6 | 971,7 | 1164,2 | 1605,5 | 2124,3 | 2713,0 | 3403,9 | 4174,3 |
| 14 | 12,37 m | 132,1 | 207,5 | 300,3 | 412,2 | 541,5 | 689,7 | 856,8 | 1040,8 | 1246,4 | 1717,5 | 2270,3 | 2898,2 | 3632,6 | 4451,4 |
| 15 | 13,25 m | 141,2 | 221,8 | 320,9 | 440,3 | 578,2 | 736,1 | 914,1 | 1109,9 | 1328,7 | 1829,5 | 2416,6 | 3083,5 | 3861,4 | 4728,5 |
| 16 | 14,13 m | 150,4 | 236,1 | 341,5 | 468,3 | 614,8 | 782,4 | 971,3 | 1179,0 | 1411,0 | 1941,5 | 2562,9 | 3268,7 | 4090,1 | 5005,5 |
| 17 | 15,01 m | 159,6 | 250,4 | 362,1 | 496,4 | 651,4 | 828,8 | 1028,5 | 1248,2 | 1493,2 | 2053,5 | 2709,1 | 3453,9 | 4318,8 | 5282,6 |
| 18 | 15,89 m | 168,7 | 264,7 | 382,7 | 524,4 | 688,0 | 875,1 | 1085,8 | 1317,3 | 1575,5 | 2165,5 | 2855,4 | 3639,2 | 4547,6 | 5559,6 |
| 19 | 16,77 m | | | | 552,5 | 724,7 | 921,5 | 1143,0 | 1386,4 | 1657,8 | 2277,5 | 3001,6 | 3824,4 | 4776,3 | 5836,7 |
| 20 | 17,65 m | | | | 580,5 | 761,3 | 967,9 | 1200,3 | 1455,5 | 1740,1 | 2389,5 | 3147,9 | 4009,7 | 5005,1 | 6113,8 |
| 21 | 18,53 m | | | | 608,6 | 797,9 | 1014,2 | 1257,5 | 1524,6 | 1822,3 | 2501,5 | 3294,2 | 4194,9 | 5233,8 | 6390,8 |
| 22 | 19,41 m | | | | 636,6 | 834,5 | 1060,6 | 1314,7 | 1593,7 | 1904,6 | 2613,5 | 3440,4 | 4380,1 | 5462,5 | 6667,9 |
| 23 | 20,29 m | | | | | 871,2 | 1106,9 | 1372,0 | 1642,8 | 1986,9 | 2725,5 | 3586,7 | 4565,4 | 5691,3 | 6944,9 |
| 24 | 21,17 m | | | | | 907,8 | 1153,3 | 1429,2 | 1731,9 | 2069,1 | 2837,5 | 3733,0 | 4750,6 | 5920,0 | 7222,0 |
| 25 | 22,05 m | | | | | | | | | | 2949,5 | 3879,2 | 4935,9 | 6148,8 | 7499,1 |



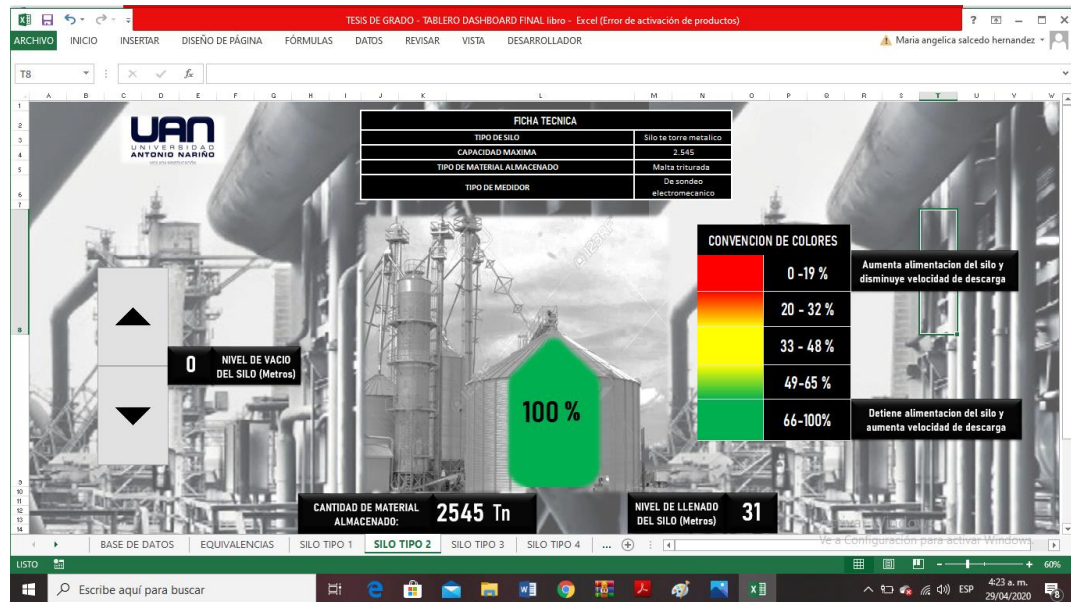
| V (m³) | A (mm) | B (mm) | C (mm) | D (mm) | E (mm) | F (mm) | G (mm) | H (mm) | i * j (mm) |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| 5 | 3500 | 1000 | 1000 | 1000 | 9209 | 4000 | 5209 | 520 | 400 |
| 10 | 3500 | 1000 | 1000 | 1500 | 8948 | 4000 | 4948 | 952 | 400 |
| 15 | 3500 | 1500 | 1500 | 1500 | 11170 | 4000 | 7170 | 952 | 400 |
| 20 | 3500 | 2000 | 2000 | 2000 | 9731 | 4000 | 5731 | 1299 | 500 |
| 25 | 3500 | 2000 | 2000 | 2000 | 10980 | 4000 | 6980 | 1299 | 500 |
| 30 | 3500 | 2000 | 2000 | 2000 | 12161 | 4000 | 8161 | 1212 | 600 |
| 35 | 3500 | 2500 | 2500 | 2500 | 10558 | 4000 | 6558 | 1645 | 600 |
| 40 | 3500 | 2500 | 2500 | 2500 | 11358 | 4000 | 5713 | 1645 | 600 |

Anexo 15: Tablero Dashboard para 5 tipos de silos Fuente: (Autores)

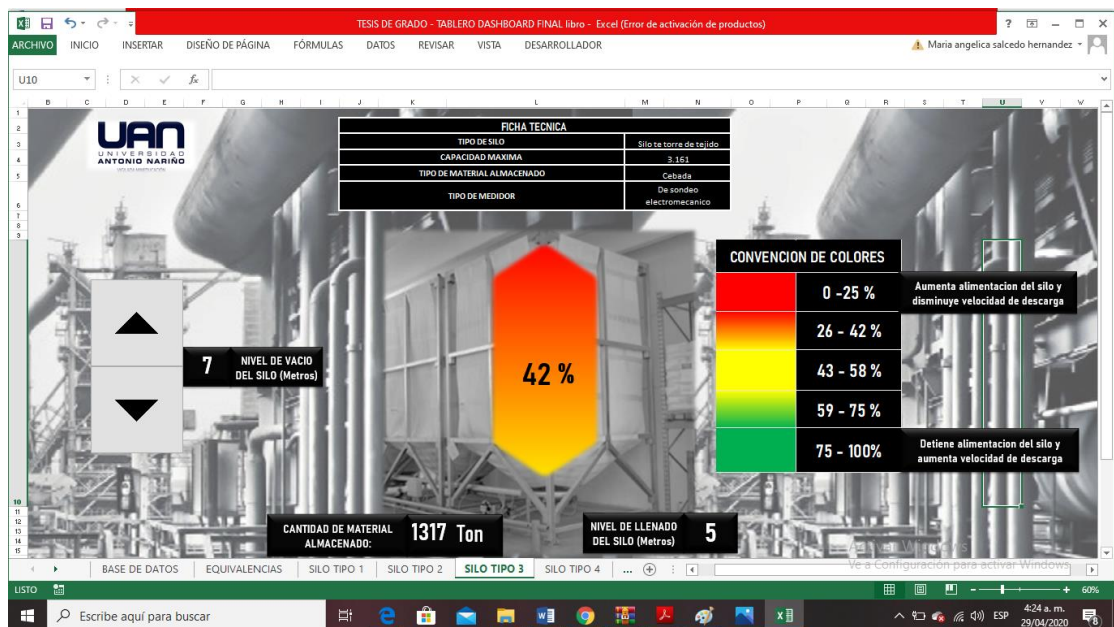
1. Silo tipo 1:



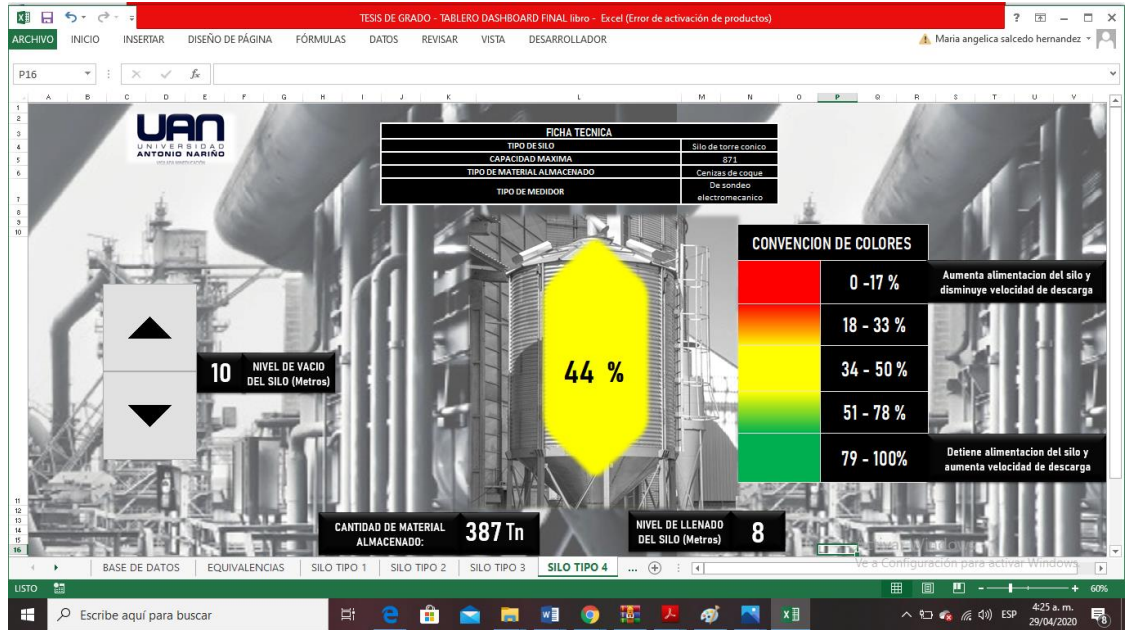
2. Silo tipo 2:



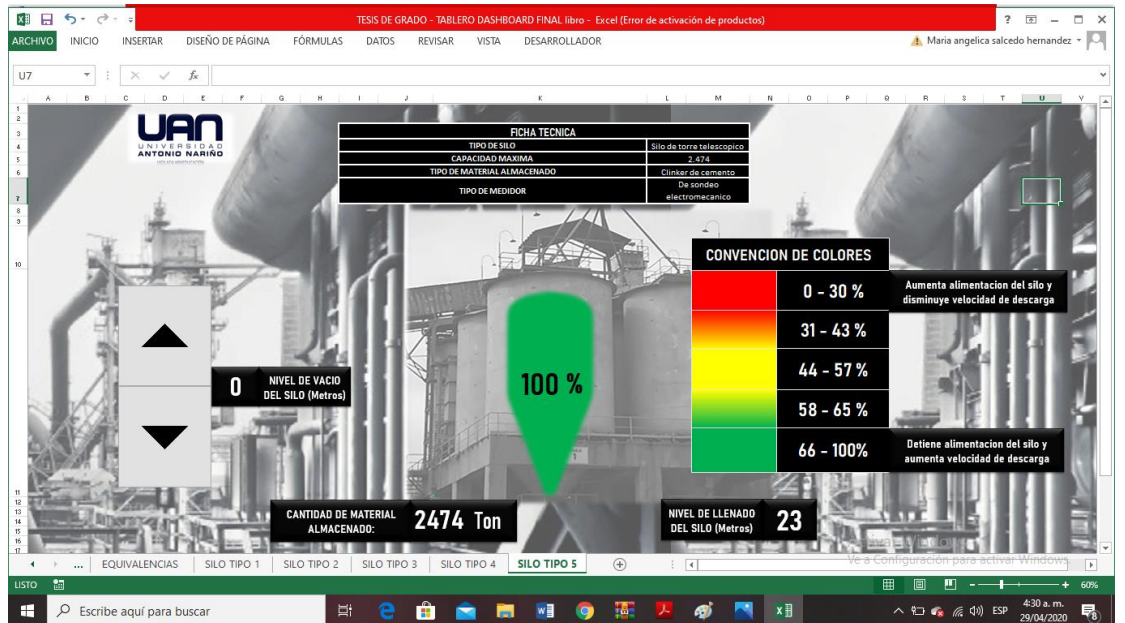
3. Silo tipo 3:



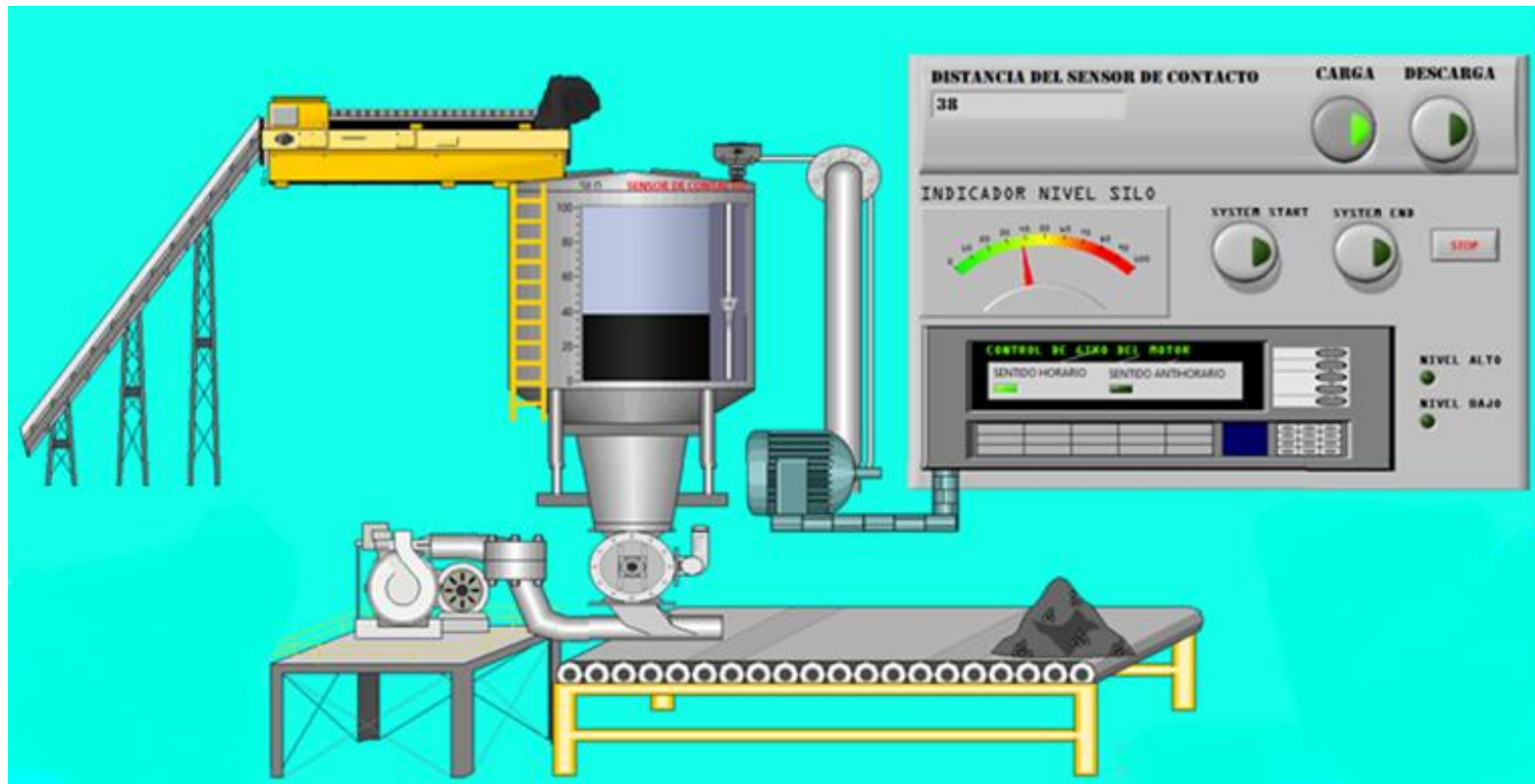
4. Silo tipo 4:



5. Silo tipo 5:



Anexo 16: Interfaz simulación en SCADA Fuente: (Autores)



Nota: Si se quiere conocer más acerca de este sistema SCADA y su respectiva programación visite el siguiente URL:

<https://www.youtube.com/watch?v=LwdN-QKdhjc&t=170s>

