

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA LA
COMPAÑÍA DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO CIM S.A.S

CAMILO ANDRES CASAS PATIÑO
NASLY SHIRLEY RODRIGUEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.019

DISEÑO DE UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA LA
COMPAÑÍA DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO CIM S.A.S

CAMILO ANDRES CASAS PATIÑO
NASLY SHIRLEY RODRIGUEZ

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.019

Nota de aceptación:

Jurado 1
Ing. Scherazada Calderón Vega.

Jurado 2
Ing. Miguel A. Morales Granados.

Bogotá D.C., Agosto de 2.019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro

DR. MARIO POSADA GARCIA PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

DR. LUIS JAIME POSADA GARCÍA PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

DRA. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano Facultad de Ingenierías

ING. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Ingeniería Mecánica

ING. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Dedicamos este trabajo de grado en especial a nuestras familias, colegas y profesores que durante el periodo de nuestras carreras siempre fueron un apoyo incondicional para la formación de dos grandes profesionales, así como también dar gracias a Dios por darnos la fuerza y serenidad para afrontar los diferentes retos que se nos presentaron día a día.

Agradecemos el apoyo incondicional a nuestras familias, amigos y personas cercanas que durante este proceso de aprendizaje fueron de gran ayuda.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES	20
1.1 MISIÓN	20
1.2 VISIÓN	20
1.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA	21
1.4 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	21
1.4.1 Plantas para fabricación de mezclas asfálticas	21
1.4.1.1 Tolvas de acopio	22
1.4.4.2 Banda lanzadora	22
1.4.1.4 Tambor mezclado	23
1.4.1.5 Sistema de filtrado de aire	23
1.4.1.6 Ventilador exahustor	23
1.4.1.7 Quemador	23
1.4.1.8 Sistema transporte de mezcla	24
1.4.1.9 Caldera	24
1.4.1.10 Tanque de almacenamiento de asfalto	24
1.4.2 Plantas para producción de triturados pétreos	24
1.4.2.1 Alimentador vibratorio	24
1.4.2.2 Tolva de acopio alimentado	25
1.4.2.3 Estructura de soporte	25
1.4.2.4 Banda de transporte a la zaranda	25
1.4.2.5 Zaranda	26
1.4.2.6 Banda de retorno al molino	27
1.4.2.7 Bandas apiladoras	27
1.5 DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DOSIFICADORA DE CONCRETO	27
1.5.1 Sistema de dosificación de agregados	28
1.5.2 Tolva de pesaje de aditivos	28
1.5.3 Banda recolector	28
1.5.4 Silo para cemento: de sección cilíndrica	28
1.5.5 Tornillo de transporte de cemento	28
1.5.6 Chasis	28
1.5.6 Bomba de agua del tipo centrifugo	29
1.5.7 Tolva de pesaje de cemento	29
2. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA	31
2.1 EL CONCRETO	31
2.1.1 Agua en el concreto	32

2.1.2 Agregados en el concreto	33
2.1.2.1 Los agregados gruesos	33
2.1.2.2 El agregado fino o arena	34
2.1.3 Cemento	34
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO	35
2.2.1 Manejabilidad	35
2.2.2 Resistencia	36
2.2.2.1 Contenido del cemento	37
2.2.2.2 Relación agua-cemento	37
2.2.2.3 Influencia de los agregados	37
3. PARAMETRIZACIÓN Y DOSIFICACIÓN	38
3.1 PARAMETRIZACIÓN	38
3.2 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACOPIO	40
3.2.1 Evaluación del estado actual de la tolva de arena	40
3.2.1.1 Flujo de tipo másico	40
3.2.1.2 Flujo de tipo canalizado	41
3.3 SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN	43
3.3.1 Dosificadores volumétricos	44
3.3.1.1 Dosificador de tornillo	45
3.3.1.2 Dosificadores de compuerta rotativa	46
3.3.1.3 Dosificadores de banda rodante	47
3.3.1.4 Dosificadores por pistón neumático	47
3.3.2 Dosificadores gravimétricos	48
3.3.2.2 Dosificador de pérdida de peso	49
3.4 VARIABLES CRÍTICAS	50
4. ALTERNATIVAS DE DISEÑO	51
4.1 ALTERNATIVAS DE DOSIFICACIÓN	51
4.1.1 Válvula rotativa	51
4.1.2 Tolva Cónica	52
4.1.3 Alimentador de banda	52
4.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA	54
5. DISEÑO DETALLADO	57
5.1 CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE MATERIAL ALMACENADO	57
5.2 GEOMETRÍA DE LA TOLVA	58
5.3 CALCULO DEL FLUJO MASICO DE LA TOLVA	58
5.4 CÁLCULO DE LAS CARGAS DE DISEÑO	59
5.4.1 Cargas de servicio	59
5.4.2 Cálculo de la presión horizontal	61
5.4.3 Recálculo de la presión horizontal (PHF)	61

5.4.4 Cálculo de C_z (Z) y P_{HF}	63
5.4.5 Presión de vaciado	64
5.4.6 Presiones fijas	64
5.5 CARGAS DE USO EN TOLVA	65
5.5.1 Cálculo de la presión vertical en la zona de transición	66
5.5.2 Presión en la boca de la tolva	67
5.6 CÁLCULO DE ESPESOR DE PARED DE LA TOLVA	68
5.6.1 Comprobación frente al pandeo	70
5.6.2 Verificación por resistencia de materiales	71
5.7 CÁLCULO DE ANCLAJES.	73
5.7.1 Cálculo soldadura de anclajes. El análisis de la soldadura se realiza en la pieza más crítica de la máquina.	74
5.8 CÁLCULO DE LA SOLDADURA DEL REFUERZO ESTRUCTURAL	81
5.8 DISEÑO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE LAS COMPUERTAS	85
5.8.1 Calculo de los actuadores neumáticos	86
5.9 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE PESO	90
6. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS	95
6.1 SIMULACIÓN DE LA TOLVA	95
6.1.2 Desplazamiento	97
6.2 SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA PLANTA	98
6.2.1 Resultado de esfuerzos	100
6.3 SIMULACIÓN DE LOS ANCLAJES DE LA TOLVA	100
6.3.1 Resultado de esfuerzos	101
6.3.2 Resultados desplazamiento de los anclajes	101
6.4 SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA COMPUERTA	102
6.4.1 Resultado de esfuerzos	103
6.4.2 Resultados desplazamiento de la estructura	103
6.4.3 Resultados factor de seguridad	104
7. MANUALES DE OPERACIÓN E INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO	105
7.1 MANUAL DE OPERACIÓN	105
7.1.2 Procedimiento de operación	107
7.1.2.1 Encendido	107
7.1.2.2 Abastecimiento de materia prima	107
7.1.2.3 Dosificación	108
7.2 MANUAL DE INSTALACIÓN	109
7.2.1 Procedimiento de instalación de la compuerta	109
7.2.2 Procedimiento de instalación	110
7.2.3 Procedimiento de instalación de la tolva	111
7.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO	112

8. IMPACTO AMBIENTAL	115
8.1 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	115
8.2 MATRIZ DE EVALUACIÓN AMBIENTAL	117
9. EVALUACIÓN FINANCIERA	119
9.1 INVERSIÓN	119
9.1.1 Costos de ingeniería	119
9.1.2 Costos de materiales de fabricación	119
9.1.4 Costos de operario	120
9.1.5 Costos de mantenimiento	120
9.1.6 Costos de automatización	120
9.1.7 Costos totales	121
9.2 ANÁLISIS FINANCIERO	122
10. CONCLUSIONES	125
11. RECOMENDACIONES	127
BIBLIOGRAFÍA	128
ANEXOS	130

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tolvas de acopio	22
Figura 2. Tambor secador	22
Figura 3. Quemador	23
Figura 4. Caldera	24
Figura 5. Alimentador vibratorio	25
Figura 6. Banda de transporte a la zaranda	26
Figura 7. Zaranda	26
Figura 8. Bandas apiladoras	27
Figura 9. Diagrama de proceso	27
Figura 10. Proceso de producción de concreto	29
Figura 11. Flujo másico	41
Figura 12. Flujo canalizado	42
Figura 13. Dosificador volumétrico	45
Figura 14. Dosificador de tornillo	45
Figura 15. Dosificador de compuerta rotativo	46
Figura 16. Dosificador de banda rodante	47
Figura 17. Dosificador volumétrico por pistón	48
Figura 18. Dosificador gravimétrico de banda rodante con balanza	49
Figura 19. Dosificador gravimétrico	49
Figura 20. Válvula rotativa	51
Figura 21. Tolva cónica.	52
Figura 22. Alimentador de banda	53
Figura 23. Dimensiones tolva	58
Figura 24. Distribución de presiones	62
Figura 25. Forma de las secciones transversales	63
Figura 26. Presiones en la tolva	66
Figura 27. Fórmulas para el cálculo de espesores y presiones	69
Figura 28. Tipos de juntas soldadas	70
Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del anclaje de la tolva	73
Figura 30. Dimensiones del anclaje	75
Figura 31. Esfuerzos cortantes admisibles sobre soldaduras	76
Figura 32. Selección del tipo de soldadura según su geometría.	76
Figura 33. Fuerza resultante	77
Figura 34. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras	79
Figura 35. Diámetros de electrodo	79
Figura 36. Áreas sometidas a	80
Figura 37. Soldadura de la lamina	82
Figura 38. Selección del tipo de soldadura según su geometría.	83
Figura 39. Fuerza resultante de la soldadura del refuerzo	83
Figura 40. Columna de arena soportada por la compuerta	86
Figura 41. Prestaciones de los cilindros neumáticos	89

Figura 42. Fuerzas de avance y retroceso para cilindros neumáticos	89
Figura 43. Circuito neumático para dosificación de arena	90
Figura 44. Diagrama de flujo para la dosificación de arena	91
Figura 45. Conexión PLC	93
Figura 46. Divergencia O	93
Figura 47. Algoritmo de programación de dosificación	94
Figura 48. Cargas aplicadas en la tolva	96
Figura 49. Esfuerzo Von Mises de la tolva	97
Figura 50. Desplazamiento de la tolva	97
Figura 51. Cargas aplicadas en el chasis	98
Figura 52. Esfuerzo Von Mises del chasis	99
Figura 53. Desplazamiento del chasis	99
Figura 54. Cargas aplicadas a los anclajes	100
Figura 55. Esfuerzo Von Mises de los anclajes	101
Figura 56. Desplazamiento de los anclajes	101
Figura 57. Anclajes de la compuerta	102
Figura 58. Cargas aplicadas a la estructura de la compuerta	102
Figura 59. Esfuerzo Von Mises de la tolva	103
Figura 60. Desplazamiento de la estructura	103
Figura 61. Partes de la planta dosificadora de concreto	105
Figura 62. Dosificación de cemento	106
Figura 63. Encendido de la planta	107
Figura 64. Control de pesaje de materias prima	108
Figura 65. Display de control de pesaje	108
Figura 66. Soldadura de la estructura de la compuerta con la tolva	109
Figura 67. Expulsión de la tolva de arena.	110
Figura 68. Instalación de la tolva cónica	110
Figura 69. Ubicación de la tolva cónica	111
Figura 70. ubicaciones las soldaduras	111
Figura 71. Flujo de efectivo gastos por garantía	123
Figura 72. Flujo de efectivo	124

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Clasificación de gravas	33
Cuadro 2. Clasificación de arena	34
Cuadro 3. Análisis de diseño	38
Cuadro 4. Ventajas y desventajas del flujo en depósitos	43
Cuadro 5. Sistemas de dosificación ventajas y desventajas	53
Cuadro 6. Ponderación de los criterios de selección	55
Cuadro 7. Componentes neumáticos del sistema de control	85
Cuadro 8. Entradas y salidas del PLC	92
Cuadro 9. Propiedades del material y la estructura	95
Cuadro 10. Partes de la planta dosificadora de concreto	105
Cuadro 11. Actividades de mantenimiento	112
Cuadro 12. Actividad de inspección	113
Cuadro 13. Actividad de limpieza	113
Cuadro 14. Actividad de lubricación	113
Cuadro 15. Actividad de tintas penetrantes	113
Cuadro 16. Balance de materias para identificar las	115
Cuadro 17. Impactos ambientales en el proceso	116
Cuadro 18. Parámetros del impacto ambiental	116
Cuadro 19. Criterios de evaluación	117

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características de los materiales	38
Tabla 2. Proporción por peso	39
Tabla 3. Duración del proceso	40
Tabla 4. Score sistema de dosificación de agregados	56
Tabla 5. Presión horizontal distribuida	62
Tabla 6. Matriz ambiental	118
Tabla 7. costos de ingeniería	119
Tabla 8. Costos de materiales	119
Tabla 9. Costos de fabricación	120
Tabla 10. Costos de operación	120
Tabla 11. Costos de mantenimiento	120
Tabla 12. Costos de automatización	121
Tabla 13. Costos totales	121
Tabla 14. Costos de garantía	121
Tabla 15. Costos de garantía mensual	122

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Procedimiento calculo eurocodigo 1 parte 4	131
Anexo B. Planos	140

RESUMEN

En este proyecto se realizó el “DISEÑO DE UN SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE MATERIAS PRIMAS PARA LA COMPAÑÍA DE INGENIERÍA Y MANTENIMIENTO CIM S.A.S” con la finalidad de implementar estrategias de planificación y programación de la producción que conducirán a aumentar su productividad.

Una vez seleccionada una de las tres alternativas sobre el subsistema de dosificación de arena, se procedió a calcular los detalles específicos del diseño, se seleccionaron los materiales y dimensiones de acuerdo con los esfuerzos actuantes sobre la pieza, se efectuó un análisis de la estructura por medio del método de elementos finitos, se elaboraron los planos necesarios para el desarrollo del sistema, se elaboraron los manuales de operación, mantenimiento e instalación, con sus respectivas recomendaciones.

Por último, se evaluó la viabilidad financiera del proyecto y el impacto ambiental.

PALABRAS CLAVE: Diseño, dosificador, materias primas.

INTRODUCCIÓN

El proyecto “Diseño de un sistema de dosificación de materias primas” fundamenta sus requerimientos en el sistema de dosificación de arena para controlar la cantidad de los productos agregados permitiendo garantizar una mezcla homogénea en el resultado final; este procedimiento se desarrolla mediante el diseño de una tolva cónica que supera las estrategias de planificación y programación aumentando la productividad de la empresa.

El proyecto tiene como *origen* garantizar el proceso de dosificación de los agregados para el concreto, que con un buen funcionamiento le permitirá a la empresa implementar estrategias de planificación y programación de la producción que conducirán a aumentar su productividad, reducir costos y desperdicio de materia prima y a la vez garantizará una adecuada mezcla de los agregados con que se fabrica el concreto. Para los procesos de dosificación de agregados y la descarga del producto.

La *importancia* de este proyecto se fundamenta gracias al interés que tiene la Compañía de Ingeniería y Mantenimiento CIM S.A.S dedicada a la fabricación de plantas de asfalto, plantas de concreto y plantas de trituración de piedra y en permitir mejorar el sistema de dosificación de arena garantizando una mezcla homogénea de todos los agregados en las plantas de Concreto.

Para tal fin se estableció un objetivo general “Diseñar un sistema de dosificación de materias primas para la compañía de Ingeniería y Mantenimiento CIM S.A.S.” con los siguientes *objetivos* específicos;

- ✓ Diagnosticar el funcionamiento de la planta dosificadora de concreto
- ✓ Parametrizar los requerimientos de la empresa
- ✓ Evaluar el estado actual del proceso de dosificación de la arena
- ✓ Proponer y evaluar tres alternativas de dosificación de materias primas
- ✓ Diseñar el sistema de dosificación de agregados
- ✓ Analizar mediante el MEF el comportamiento de la estructura
- ✓ Elaborar los manuales de operación e instalación y mantenimiento
- ✓ Evaluar el impacto ambiental
- ✓ Evaluar la viabilidad financiera del proyecto

La *metodología* empleada en el proyecto inicia por una evaluación del estado actual del proceso, que permitirá seleccionar la alternativa de diseño más idónea que cumpla con las exigencias de la empresa.

Con la alternativa seleccionada, se *delimitará* la ingeniería del proyecto, diseño de componentes y de las estructuras acorde con los movimientos y fuerzas necesarias.

Para complementar el diseño el *alcance* del proyecto será crear planos, manuales y análisis financiero.

El *significado* del proyecto se traduce en la mejora del sistema de dosificación de los agregados del concreto que permitirá implementar estrategias de planificación y programación de la producción que conducirán a aumentar su productividad, reducir costos y desperdicio de materia prima.

La *aplicación* del sistema de dosificación para la fabricación del concreto en la compañía de Ingeniería y Mantenimiento CIM S.A.S. producirá una mejora en el proceso para la obtención de un producto de buena calidad.

1. GENERALIDADES

La Compañía de Ingeniería y Mantenimiento CIM S.A.S inició en el 2.009 se fundó y constituyó en mayo 18 de 2.011 por sus dueños, en la actualidad se encuentra ubicada en la ciudad de Bogotá, su actividad económica se basa en la construcción, diseño, comercialización y explotación de plantas industriales, maquinaria y equipos, así como las actividades afines; como son la prestación de los servicios de comercio internacional de importación y exportación de todo tipo de bienes incluidos sin limitarse a ellos: maquinaria y equipo, plantas y sus componentes, montajes y puesta en marcha de plantas y equipos, servicios técnicos, cableado eléctrico, pruebas en tableros e instalaciones eléctricas, diseño de instalaciones eléctricas, diseño y asesoría en la selección, compra, instalación y montaje de equipos de cualquier tipo y para cualquier sector económico, representación de marcas o compañías del orden nacional o internacional, importación y exportación de insumos, materiales, productos químicos y en general cualquier tipo de elemento individual o a granel, celebrar acuerdos de representación, franquicia. distribución o cualquier otro tipo de contratos de comercio internacional; diseño, construcción y venta de diferentes tipos de equipos. en el cumplimiento de su objeto.

En sus inicios 1.984 a 2.010, los socios prestaban sus servicios profesionales en el ramo, empezando a trabajar como independientes con Rut de personas naturales, en temas de diseño, fabricación y montaje de la maquinas logrando un reconocimiento en el mercado, lo que les permitió iniciar CIM S.A.S. los actuales socios formaron la compañía con un enfoque hacia la fabricación de plantas de asfalto, plantas de trituración, de concreto, mantenimiento preventivo y correctivo que a la fecha les ha permitido tener una alta experiencia con calidad y la permanente relación posventa con los clientes.

Esa experiencia ha permitido incursionar en mercados como Panamá, Ecuador y hasta antes de los problemas actuales con Venezuela.

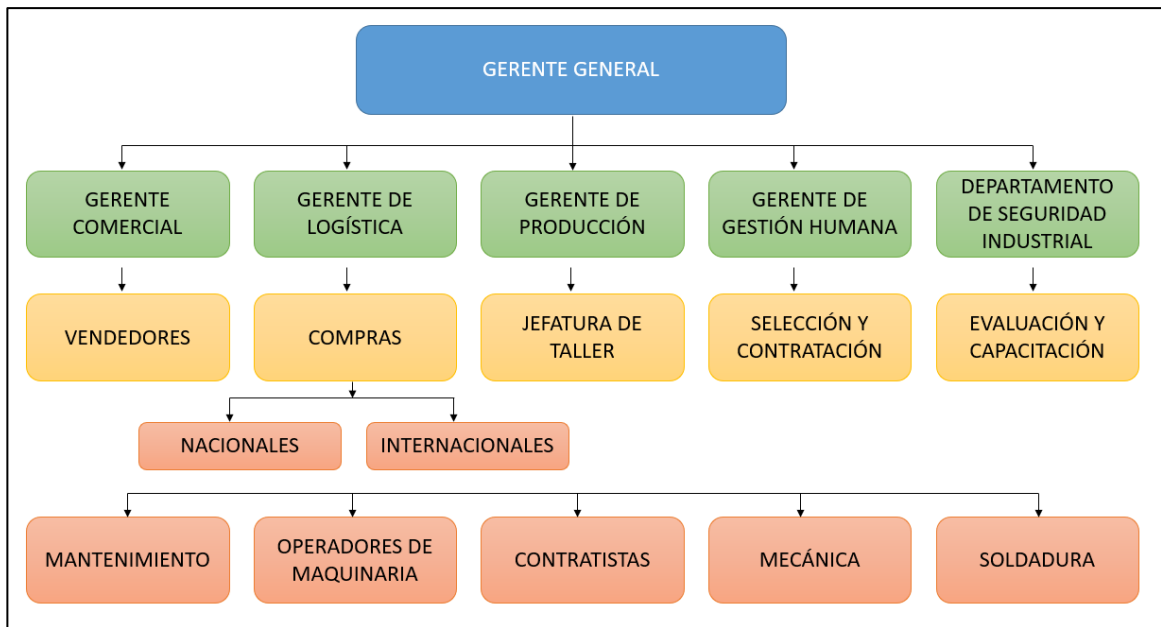
1.1 MISIÓN

“Proveer productos y servicios de diseños, fabricación y mantenimiento de ingeniería con calidad, garantizando así a nuestro cliente respuestas oportunas a sus necesidades.”

1.2 VISIÓN

“Ser reconocidos, compitiendo con productos y servicios con calidad que garantice un crecimiento continuo y sostenible.”

1.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



Fuente: elaboración propia

1.4 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

CIM SAS fabrica equipos relacionados con la industria de la construcción y como línea estándar produce equipos como;

- ✓ Plantas para la fabricación de mezclas asfálticas
- ✓ Plantas para producción de triturados pétreos
- ✓ Plantas para producción de concreto hidráulico

1.4.1 Plantas para fabricación de mezclas asfálticas. CIM fabrica únicamente plantas de producción continua y mezcla en caliente desde, 40 toneladas por hora hasta 120 toneladas por hora, las cuales cumplen con las normas ambientales y de calidad del producto final. Básicamente está conformada por;

1.4.1.1 Tolvas de acopio. Cuatro unidades en tamaños que varían de acuerdo con la necesidad del cliente, bajo cada una va instalado un alimentador de banda con velocidad variable, los cuales clasifican los cuatro productos que se requieren para la producción de mezclas asfálticas. Estos productos se llevan a la banda recolectora para ser pesados dinámicamente (toneladas por hora) y transportados al proceso siguiente.

Figura 1. Tolvas de acopio



Fuente: elaboración propia

1.4.4.2 Banda lanzadora. Banda transportadora la cual se encarga de dirigir el material entregado por la banda recolectora y llevarla al tambor secador.

1.4.1.3 Tambor secador. En este equipo se realiza el secado del material pétreo, el cual debe salir con 0% de humedad y una temperatura entre 120° C y 150 °C esto se logra gracias al quemador. La temperatura generada y el efecto de rotación del tambor son los que logran este objetivo. Posteriormente el material seco y caliente pasa al tambor mezclador.

Figura 2. Tambor secador



Fuente: elaboración propia

1.4.1.4 Tambor mezclador. Es donde se le inyecta el cemento asfáltico líquido a una temperatura entre 120°C y 150°C el efecto de rotación y el diseño de las paletas permite que estos elementos se mezclen perfectamente y se atenué la segregación perjudicial al producto final.

1.4.1.5 Sistema de filtrado de aire. Fabricación como equipo de norma para nuestra planta. También fabricadas para aplicaciones puntuales dependiendo de la necesidad del cliente. Lo conforman dos ciclones en paralelo de alto rendimiento y posteriormente al filtro como tal. Mangas construidos en Nomex material que puede soportar hasta 200°C; soportado por canastillas. La limpieza de las mangas se hace a través de disparos de aire a alta presión, caudal que proviene del compresor de tornillo.

1.4.1.6 Ventilador exahustor. Encargado de introducir al sistema el 60% del exceso de aire necesario para una correcta combustión, generar la presión de vacío en el punto donde se produce la llama en el quemador, y a la vez transportar los gases producto de la combustión, a la atmosfera. Con una capacidad de manejar hasta 15000 pies cúbicos por minuto, es impulsado por un motor de 60 HP, comandado por arrancador suave, y transmisión por poleas y correas. El volumen de aire transportado lo controlan las compuertas del dámper, en la salida de la chimenea. El manejo de las compuertas se hace de forma remota desde la consola de mando. Adicionalmente cuenta con chimenea de sección rectangular, con una longitud de hasta 4800 mm. Este equipo forma parte del Sistema de limpieza del aire.

1.4.1.7 Quemador. En varias capacidades es un equipo esencial en el secado de los materiales pétreos. Puede operar con combustibles líquidos y con combustibles gaseosos (GLP o gas natural).

Figura 3. Quemador



Fuente: elaboración propia

1.4.1.8 Sistema transporte de mezcla. Este equipo es un sistema de transporte inclinado, por cadena y paletas de arrastre, el cual conduce la mezcla producida directamente al camión-tolva.

1.4.1.9 Caldera. Equipo esencial para las plantas de producción de mezcla de asfalto en caliente. Su función específica es mantener caliente el cemento asfáltico contenido en los tanques, es de configuración acuatubular y se fabrica con capacidad desde los 800.000 BTU/HORA hasta 2.000.000 BTU/HORA.

Figura 4. Caldera



Fuente: elaboración propia

1.4.1.10 Tanque de almacenamiento de asfalto: se fabrican de acuerdo con las necesidades del cliente, normalmente con una capacidad mínima de 30.000 litros. Están equipados con un serpentín de calentamiento y revestidos con materiales aislantes para mantener la temperatura interna del mismo.

1.4.2 Plantas para producción de triturados pétreos. En toda planta de trituración se tienen los siguientes equipos como base para el proceso;

1.4.2.1 Alimentador vibratorio. Permite dosificar los agregados a la trituradora de tal manera que mantenga un flujo constante de alimentación; es de eje único montado en rodamientos de altas especificaciones, sistema de vibración con contrapesas pivotadas de valor graduable para garantizar los diferentes valores de vibración, precibador ajustable, para clasificar el material que no debe pasar por la trituradora primaria, esto permite y garantiza una mayor duración de la trituradora, blindado y reforzado, impulsado por motor de 12 HP , y comandado por variador de frecuencia, con estación remota para ser operado desde la Passarella ubicada encima de la trituradora primaria.

Figura 5. Alimentador vibratorio



Fuente: elaboración propia

1.4.2.2 Tolva de acopio alimentador. Con una capacidad de almacenamiento de nueve metros cúbicos, este elemento hace parte del alimentador y corresponde a una tolva monolítica que permite acopiar el material de la cantera rigidizada para así atenuar las posibles deformaciones que ocasiona el impacto de las rocas al ser depositadas en esta. Equipada además con compuerta de regulación.

1.4.2.3 Estructura de soporte. Construida totalmente en perfiles estructurales de gran inercia, sirve de soporte tanto a la tolva como al alimentador, y a la vez facilita el montaje de estos elementos en las estructuras de concreto.

1.4.2.4 Banda de transporte a la zaranda. Es la encargada de recoger los áridos provenientes de la trituradora de mandíbula y del alimentador y llevarlos a la zaranda. Bastidor construido en perfiles estructurales, equipada con 5 estaciones de impacto, 11 estaciones de avance y 8 de retorno. Están impulsadas por reductores pendulares y potencia total de 12 HP.

Figura 6. Banda de transporte a la zaranda



Fuente: elaboración propia

1.4.2.5 Zaranda. Tres niveles de clasificación, inclinada a dieciocho grados, montada sobre resortes de alta sollicitación, de eje único montado en rodamientos especiales para equipos vibratorios, sistema de vibración con contrapesas pivotadas de valor graduable para garantizar los diferentes valores de vibración, caja de gran rigidez, atornillados para facilitar el recambio o mantenimiento de estos. Las mallas van montadas sobre molduras de caucho para alargar su vida útil. La impulsa un motor de 15 HP, y la transmisión a la zaranda es por medio de poleas y correas.

Figura 7. Zaranda



Fuente: elaboración propia

1.4.2.6 Banda de retorno al molino. Es la encargada de recoger los áridos provenientes del molino y llevarlos a la banda de transporte a la zaranda. Bastidor construido en perfiles estructurales, equipada con 4 estaciones de impacto, 8 estaciones de avance y 5 de retorno. Están Impulsadas por reductores pendulares y potencia total de 7.5 HP.

1.4.2.7 Bandas apiladoras. Tres unidades, son las encargadas de recoger los áridos provenientes de la zaranda y llevarlos a las pilas como producto final. Bastidor construido en perfiles estructurales, equipada con 4 estaciones de impacto, 10 estaciones de avance y 5 de retorno. Están Impulsadas por reductores pendulares y potencia total de 5 HP.

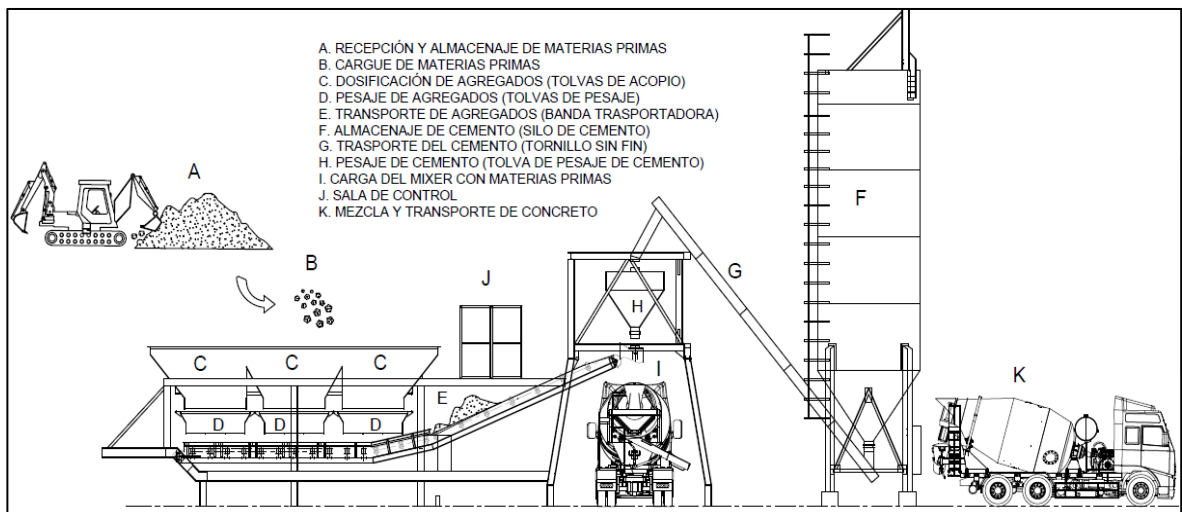
Figura 8. Bandas apiladoras



Fuente: elaboración propia

1.5 DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DOSIFICADORA DE CONCRETO.

Figura 9. Diagrama de proceso



Fuente: elaboración propia

Con una capacidad de producción continua de hasta 50 toneladas por hora. Está conformada por;

1.5.1 Sistema de dosificación de agregados. Este está compuesto por tres tolvas de pesaje, de forma piramidal montadas cada una sobre cuatro celdas de carga tipo shear beam, con capacidad de almacenar hasta 7 metros cúbicos cada una. El sistema de descarga a la banda transportadora es por apertura de compuertas, este proceso debe ser controlado ya que las cantidades deben ser exactas para garantizar la calidad del concreto que se requiere. Ver figura 9 ítem C.

1.5.2 Tolva de pesaje de aditivos. Con una capacidad de 30 kilogramos de aditivo, está construido de forma cónica circular, soportada en tres celdas de pesaje por tracción. El control de descargue se hace por medio de válvula de sifón comandada neumáticamente por cilindro neumático, adicionalmente va conectada a la línea de agua que carga los mezcladores. Ver figura 9 ítem D.

1.5.3 Banda recolectora. Es la encargada de recoger los áridos provenientes de las tolvas, transportarlos al canal de carga de los camiones mixer. de 24" de ancho x 13 metros de longitud total, configurada en 2 bastidores construidos en perfiles estructurales, equipada con 5 estaciones de impacto, 7 estaciones de avance y 5 de retorno. Están impulsadas por reductores pendulares y potencia total de 12 hp. Ver figura 9 ítem E.

1.5.4 Silo para cemento: de sección cilíndrica. Con una capacidad de almacenar hasta 70 toneladas de cemento. Cuenta con filtro de mangas ubicado en la parte superior, escalera de acceso, columnas de apoyo, tuberías de cargue por medios neumáticos, válvula de alivio y control de descarga al tornillo elevador por medio de válvula de mariposa comandada manualmente; cuenta además con pasarela en la parte superior y sistema de válvulas fluidificadoras, lo cual facilita el descargue del cemento al tornillo transportador. Adicionalmente está equipado con sensores indicadores de nivel mínimo y nivel máximo de cemento. Ver figura 9 ítem F.

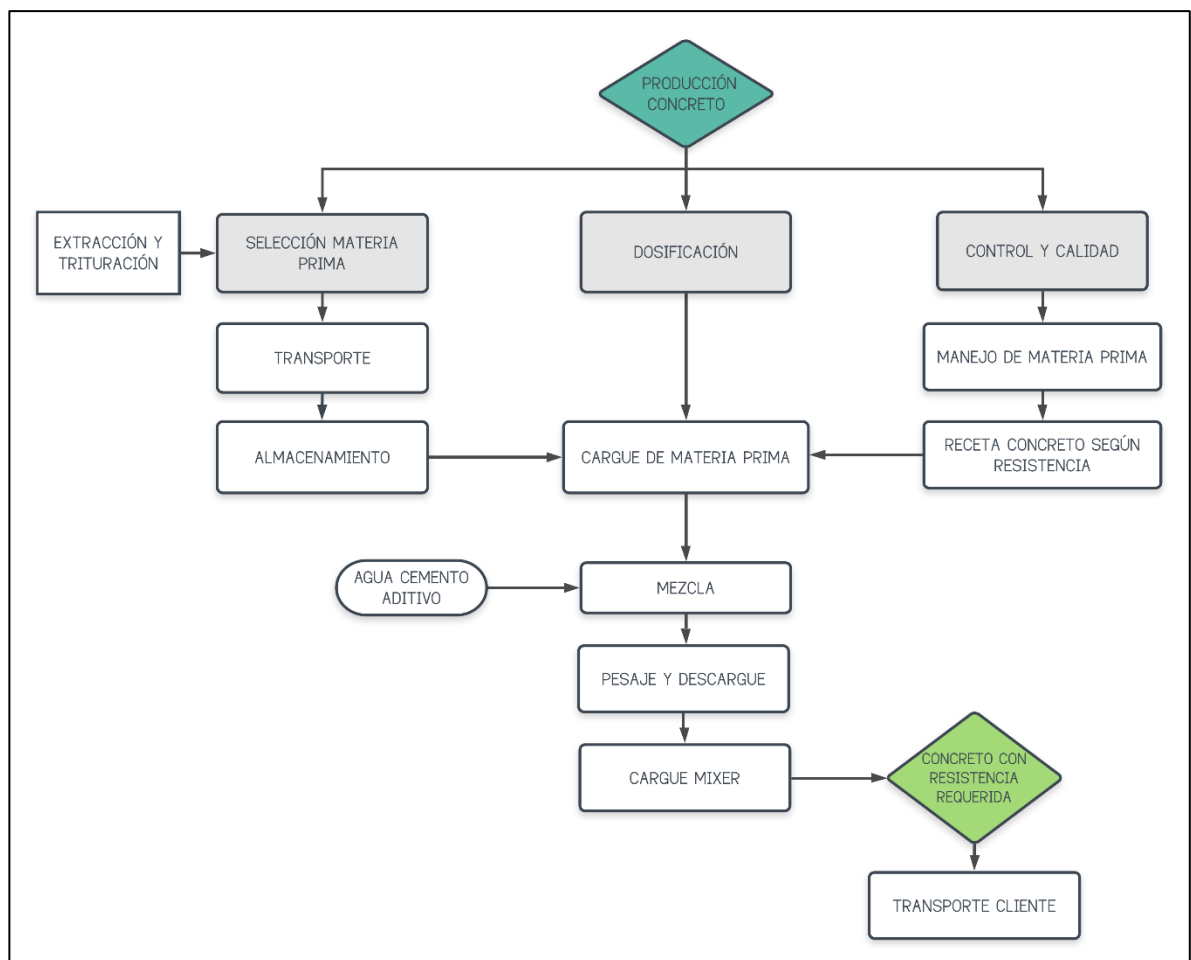
1.5.5 Tornillo de transporte de cemento de 10" de diámetro por 10 metros de longitud, es el encargado de llevar el cemento hasta la tolva pesadora. Ver figura 9 ítem G.

1.5.6 Chasis. El cual sostiene y a la vez unifica todo el sistema. Construido con perfiles estructurales generosamente dimensionados garantizan una estabilidad y rigidez tanto en transporte como en operación; equipado con llantas, sistemas de luces, frenos, puntales graduables de nivelación y mecanismo de enganche a los vehículos tractores, lo ubican dentro de las normas de entidades gubernamentales que controlan el transporte terrestre.

1.5.6 Bomba de agua del tipo centrífugo. Dosifica el agua por volumen, maneja hasta 450 galones por minuto y la impulsa un motor de 7.5 hp. Cuenta además con medidor de caudal tipo magnético, tubería de carga a los camiones mezcladores directamente, y con salidas de retorno al depósito y auxiliar para lavado de estos.

1.5.7 Tolva de pesaje de cemento. Con una capacidad de 1.0 toneladas de cemento, está construida, de forma cónica circular, soportada en tres celdas de pesaje por tracción; el control de descargue se hace por medio de válvula de mariposa.

Figura 10. Proceso de producción de concreto



Fuente: elaboración propia

El proceso que realizan la planta de dosificación de concreto de la compañía lo hace de la siguiente forma: se inicia con la dosificación de los agregados desde las tolvas de acopio que contienen arena y gravilla de diferentes tamaños, a las tolvas de pesaje por un sistema de apertura de compuertas, posteriormente son

descargadas a la banda transportadora que junto con la bomba de agua y el compresor son puestos en funcionamiento una vez se inicia energiza la planta. Este proceso debe ser controlado ya que las cantidades deben ser exactas para garantizar la calidad del concreto que se requiere.

Simultáneamente se está pesando el cemento que posteriormente es transportado por medio de un tornillo sin fin hacia el mixer donde se inyecta el agua necesaria para el tipo de concreto que se está produciendo.

Los problemas se están presentando en el sistema de dosificación de la arena debido a que en el proceso intervienen diferentes factores como la humedad de esta, la cantidad de materia que contiene la tolva y la presión con la que está cargado el compresor; esto genera que los tiempos y la cantidad de material que se descarga no sea preciso afectando la calidad del producto que solicita el cliente. Actualmente no se le han hecho mejoras para optimizar este proceso.

2. FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

2.1 EL CONCRETO

Para la conformación del concreto se hace necesaria la presencia de tres elementos que son: el cemento, el agua y los agregados. Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos; es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Los principales cementantes hidráulicos son la cal y los cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas.¹

Los cementantes tienen un inmenso grado de consistencia y es por esto por lo que sus ingredientes se pueden utilizar de forma individual o combinados. El cemento es de los ingredientes más importantes para la fabricación de concreto; sus primeros usos se hacen a mediados de 1800 y, desde entonces, el cemento se ha convertido en el más usado del mundo. Este tipo de cemento lo constituye una mezcla de caliza quemada, hierro, sílice y alúmina; las fuentes más comunes donde se pueden obtener estos materiales son del barro, la piedra caliza, esquisto y minerales de hierro. El cemento al entrar en contacto con el agua inicia una serie de reacciones físicas y químicas, que generalmente se conoce como el proceso de hidratación del cemento. Estas reacciones inician con el fraguado para después culminar con el endurecimiento y la obtención de la resistencia mecánica.

Aun cuando la hidratación del cemento es un fenómeno complejo; con esto, se puede decir que la composición química de un cemento Portland se define mediante la identificación de cuatro compuestos principales; donde sus variaciones determinan los diferentes tipos de cemento Portland;

- ✓ Silicato tricálcico C3S
- ✓ Silicato di cálcico C2S
- ✓ Aluminato tricálcico C3A
- ✓ Aluminoferrito tetracalcico $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{C}_4\text{AF}$

En términos prácticos se sabe que los silicatos de calcio (silicato tricálcico y di cálcico) son los compuestos más deseables, porque al hidratarse forman los

¹ Arvizu Armenta, Juan. Estudio de la conductividad térmica de un concreto con agregados de puzolana. Universidad de Sonora. División de Ingeniería, 2011. p. 6.

silicatos B hidratados de calcio (S-H-C) que son responsables de la resistencia mecánica y otras propiedades del concreto. Normalmente, el silicato tricálcico aporta resistencia a corto y mediano plazo, y el silicato di cálcico a mediano y largo plazo, es decir, se complementan para que la adquisición de resistencia se realiza en forma sostenida.

El aluminato tricálcico es tal vez el compuesto que se hidrata con mayor rapidez, y es por esta razón que causa mayor velocidad en el fraguado y en el desarrollo de calor de hidratación en el concreto. Es así como su presencia en el cemento hace al concreto más susceptible de sufrir daño por efecto del ataque de sulfatos; por todo esto, se tiende a limitarlo en la medida que es compatible con el uso del cemento.

Finalmente, el aluminio-ferrito tetra cálcico es un compuesto relativamente inactivo pues contribuye poco a la resistencia del concreto, por esta razón su presencia es más útil como fundente durante la calcinación del Clinker; porque favorece la hidratación de los otros compuestos.

2.1.1 Agua² en el concreto. El agua puede proporcionar dos aplicaciones; una como ingrediente en la elaboración del concreto, y la otra como ingrediente de las estructuras recién construidas; el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 por ciento del volumen del concreto recién mezclado, claro está que dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera; esto le proporciona una influencia importante a la calidad del agua del mezclado en el comportamiento y las propiedades del concreto, pues cualquier sustancia dañina que contenga, aún en proporciones reducidas, puede tener efectos negativos en el concreto.³

Una práctica común consiste en utilizar el agua potable para fabricar concreto sin verificación previa, suponiendo que toda agua que es potable es apropiada para este efecto; sin embargo, hay ocasiones en que esto no se cumple, porque hay aguas potables que contienen citratos o pequeñas cantidades de azúcares, que no afectan su potabilidad, pero pueden hacerlas inadecuadas para la fabricación del concreto.

En la elaboración de concreto no se debe tolerar la presencia de sustancias dañinas en el agua, como grasas, aceites, azúcares y ácidos; ya que la presencia de estos ingredientes son síntomas de contaminación que se hace necesario eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplearla.

² *Ibíd.*, p.7

2.1.2 Agregados⁴ en el concreto. En las mezclas de concreto hidráulico convencional, los agregados suelen representar entre 60 y 75 por ciento, aproximadamente, del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de los agregados ejercen en las del concreto.

2.1.2.1 Los agregados gruesos. También reciben el nombre de gravas, son materiales extraídos de rocas cantera, triturados o procesados, piedra bola o canto rodado, cuyas partículas comprenden tamaños desde 4,75mm hasta 6 pulgadas, es decir los fragmentos más grandes.

Teniendo en cuenta que el concreto es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el concreto. En consecuencia, se debe usar la mayor cantidad posible y del tamaño mayor, teniendo en cuenta los requisitos de colocación y resistencia.

Para el caso de resistencias de 250 kg/cm² se debe usar el mayor tamaño posible del agregado grueso; y para resistencias mayores, las investigaciones recientes han demostrado que el menor consumo de cemento da mayor resistencia (eficiencia) cuando se obtiene con agregados de menor tamaño.

Cuadro 1. Clasificación de gravas

Tipo de grava	Descripción	Aplicaciones
Grava sello triturado 3/8" (5 a 10 mm)	Se encuentra en rocas de tipo andesítico.	Se utiliza en elementos de fabricación
Grava triturada 1/2"- 3/4" (12 a 20 mm)	Se encuentra en rocas de tipo caliza dolomítica, andesita y basalto andesítico. Es la que se usa más comúnmente.	Se utiliza en concretos de resistencias normales a la compresión y en la fabricación de elementos prefabricados.
Grava triturada 1"- 1 1/2" (12 a 20 mm)	Se encuentra en rocas de tipo caliza dolomítica, andesítico y balasto andesítico.	se utiliza en concretos de alta resistencia y concretos especiales de resistencia a la flexión.

Fuente: elaboración propia con base en SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Agregados para mortero o concreto. En: Tecnología del concreto y el mortero. Ed 5ª. Bogotá D.: Pontificia Universidad Javeriana, 2001. 41

⁴Ibíd., p.8

El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños como el polvo, el cual en caso de presentarse debe ser eliminado mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado.

2.1.2.2 El agregado fino o arena. Se usa como llenante, además actúa como lubricante donde ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto. Una falta de arena se refleja en el espesor de la mezcla y un exceso de ella demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua-cemento.

Los agregados finos o arenas consisten en arena natural extraída de los ríos, lagunas, lagos, depósitos volcánicos o arenas artificiales que han sido trituradas. Estos agregados abarcan normalmente tamaño de partículas entre 4,75 y 0,075 mm.

Cuadro 2. Clasificación de arena

Tipo de grava	Descripción	Aplicaciones
Arena natural 0-3 (de 0 a 3 mm de tamaño máximo)	Se encuentra en roca de tipo andesítico.	Se utiliza en la elaboración de concretos, morteros y en mezclas para la fabricación de elementos prefabricados.
Arena natural 0-5 (de 0 a 5 mm de tamaño máximo)	Se encuentra en rocas de tipo andesítico.	Se utiliza en la elaboración de concretos, morteros y en mezclas para la fabricación de elementos prefabricados.
Arena triturada 0-5 (de 0 a 5 mm de tamaño máximo)	Se encuentra en rocas de tipo andesítico y basalto andesítico.	Se utiliza en la elaboración de concretos, mezclas asfálticas y en mezclas para la fabricación de elementos prefabricados.

Fuente: elaboración propia con base en SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Agregados para mortero o concreto. En: Tecnología del concreto y el mortero. Ed 5ª. Bogotá D.: Pontificia Universidad Javeriana, 2001. 45

2.1.3 Cemento. La palabra cemento se emplea para designar toda sustancia que posea condiciones de pegante no importa su origen. El cemento Portland se define, como el producto obtenido al pulverizar el Clinker con adición de yeso. El Clinker es el producto principal del cemento común; y se forma al calcificar caliza y arcilla a temperatura que esta entre 1.350 y 1.450 C. El cemento Portland es un conglomerante o cemento hidráulico.

Los compuestos principales del cemento Portland son cal (CA O), sílice (Si O₂), alúmina (Al₂ O₃) y óxido de hierro (Fe₂ O₃). Debido a que se encuentran en la naturaleza juntos y en las proporciones requeridas, para la fabricación del cemento generalmente se hace necesario mezclar sustancias minerales que los contienen, como calizas por el aporte de cal y las arcillas por el aporte de alúmina y óxido de hierro; en algunas ocasiones es necesario agregar directamente óxido de hierro o arenas silíceas, para ajustar las proporciones de cada compuesto con el fin de obtener reacciones químicas equilibradas. Una tercera sustancia necesaria en la fabricación del cemento es el yeso hidratado que se adiciona al Clinker durante la molienda con el fin de retardar el tiempo de fraguado de la pasta de cemento.

Generalmente, a los cementos disponibles en el mercado les adicionan otras sustancias en la etapa de molienda del Clinker, esto por razones económicas; esas sustancias pueden ser escorias, puzolanas o calizas. Cuando se agregan escorias, se les llama cementos portland siderúrgicos y cuando son puzolanas se dice que el cemento es portland puzolánico.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

2.2.1 Manejabilidad. La manejabilidad o trabajabilidad es una propiedad del concreto fresco que se define como su capacidad para ser compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación ni exudación; la manejabilidad va asociada al término plasticidad, definida como la propiedad del concreto fresco que le permite dejarse moldear y cambiar lentamente si se saca del molde.⁵

No debe confundirse la manejabilidad con la consistencia o fluidez, relacionada ésta con el estado de la mezcla seca (dura) o fluida (blanda), es decir, se refiere al grado de humedad de la mezcla.

⁵ En el capítulo 8 “dosificación de mezclas del concreto” del libro tecnología del concreto y el mortero, podemos encontrar la información sobre las características del concreto.

Dentro de ciertos límites las mezclas fluidas o húmedas son más manejables que las secas, pero dos mezclas que tengan la misma consistencia no son igualmente manejables; para ello deben tener el mismo grado de plasticidad. Los factores que influyen en la trabajabilidad son;

- ✓ El contenido de agua de mezclado es el principal factor que influye en la manejabilidad del concreto; se expresa en Kg o litros por m³ de concreto
- ✓ La fluidez de la pasta, debido a que para una cantidad determinada de pasta y de agregado, la plasticidad de la mezcla dependerá de las proporciones de cemento y agua en la pasta
- ✓ El contenido de aire bien sea naturalmente atrapado o adicionado, aumenta la manejabilidad de la mezcla porque las burbujas actúan como balineras de los agregados permitiendo su movilidad
- ✓ La buena gradación de los agregados
- ✓ Los agregados gruesos con partículas planas y alargadas o de forma cúbica con superficie rugosa, disminuyen la manejabilidad de la mezcla
- ✓ El bajo contenido de arena en proporción con el contenido de agregado grueso determina una mezcla poco manejable. Pero si el contenido de arena es elevado hay necesidad de añadir agua o pasta en exceso para que la mezcla sea manejable presentándose también segregación o exudación

2.2.2 Resistencia. El concreto como material estructural se diseña para que tenga una determinada resistencia. La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto y se utiliza normalmente para juzgar su calidad. Sin embargo, cuando se diseñan pavimentos rígidos y otras losas que se construyen sobre el terreno, el concreto se diseña para que resista esfuerzos de flexión.⁶

Se ha establecido una correlación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión en un determinado concreto.

Los factores que afectan la resistencia del concreto se pueden dividir en dos. Los primeros tienen que ver con la calidad y cantidad de elementos constitutivos del concreto: agregados, cemento y agua; y los segundos a la calidad del proceso del concreto: mezclado, transporte, colocación, compactación y curado; la resistencia

⁶ Ibid., p . 178

está en relación directa con este proceso. En cuanto a la calidad y cantidad de los elementos constitutivos del concreto mencionaremos los siguientes;

2.2.2.1 Contenido del cemento. Las características del cemento empleado en la mezcla de concreto tienen una gran incidencia en la resistencia del concreto, pues es el elemento más activo de la mezcla. Aunque todos los cementos tienen una buena calidad el incremento de la resistencia con la edad no es el mismo, algunos cementos aumentan su resistencia más rápidamente a edades tempranas.⁷

La cantidad de cemento en la mezcla, es decir su proporción, es decisiva en la resistencia, a medida que se aumenta la cantidad de cementos aumenta la resistencia, sin embargo, mezclas en un alto contenido de cemento (por encima de 470 kg por m³ de concreto) tienen un retroceso en su resistencia especialmente cuando tienen tamaños máximos muy grandes. Además, se presenta una contracción en la pasta de cemento al pasar del estado plástico al estado endurecido.

2.2.2.2 Relación agua-cemento. La relación agua-cemento (A/C) es el factor más importante en la resistencia del concreto. Una determinada relación agua-cemento produce distintas resistencias de acuerdo con el tipo de agregado utilizado y al tipo de cemento.

2.2.2.3 Influencia de los agregados. La calidad de los agregados es un factor determinante de la resistencia del concreto, las propiedades de los agregados que más influyen en ella son;

- ✓ Tamaño máximo del agregado grueso
- ✓ La granulometría, materiales bien gradados, producen una mayor densidad
- ✓ La forma y la textura de los agregados que especialmente inciden en la resistencia a la flexión
- ✓ La resistencia y rigidez de las partículas del agregado

⁷ Ibid., p. 180

3. PARAMETRIZACIÓN Y DOSIFICACIÓN

3.1 PARAMETRIZACIÓN

La distribución de mezclas de concreto o “Diseño de mezclas” es un proceso que consiste en la selección de las materias primas disponibles y la determinación de sus cantidades relativas para producir, tan económicamente como sea posible, concreto con el grado requerido de manejabilidad. Estas proporciones dependen de las propiedades y características de las materias primas usadas, de las propiedades particulares del concreto especificado, y de las condiciones particulares bajo las cuales el concreto será producido y colocado.

Tabla 1. Características de los materiales

Características	Arena	Grava	Cemento
Tamaño máximo TM	3/8"	1"	-
Tamaño máximo nominal TN	3/8"	3/4"	-
Módulo de Finura	2,61	-	-
Porcentaje de absorción	1,66	0.63	-
Peso específico aparente seco	2,38	-	-
Peso unitario seco compactado (KG/m3)	1.701	1.280	-
Peso unitario seco suelto (KG/m3)	1.577	1.520	-
Porcentaje de humedad	4,1	0,9	-
Peso específico gr/cm3	-	-	3,14

Fuente: elaboración propia

Cuadro 3. Análisis de diseño

Asentamiento	3 In	Teniendo en cuenta la consistencia ya que es fluida se debe tener un asentamiento entre 3" y 8".
Contenido de Aire	2,0%	El contenido de aire es el natural atrapado por el tamaño del agregado
Contenido de Agua	180	Este es el volumen estimado por cada m ³ para un asentamiento de 3 In.
Resistencia de diseño	21 Mpa	La resistencia estimada a la compresión a los 28 días
Relación Agua Cemento	0,53	Estimación de relación agua cemento para la resistencia del diseño.

Fuente: elaboración propia

Para este proyecto se diseñó un concreto con resistencia a la compresión de 3000 PSI a los 28 días, un asentamiento de 3 pulgadas (3 in.) Elaborado con cemento portland tipo 1, sacos de 50 kg y material pétreo de río.

Este diseño de mezcla se realiza con material de planta para el cual se utilizará una gravilla de 3/4" en un 55% y arena de planta en un 45%.

Para este diseño de mezcla se determinó para una producción de un metro cúbico de concreto la siguiente proporción;

Tabla 2. Proporción por peso

Cemento	Proporción por peso kg/ m³		
	Agregado grueso 3/4"	Agregado fino 3/8"	Agua (L)
350	890	1300	180

Fuente: elaboración propia

Los materiales para utilizar en este diseño de mezcla son provenientes de río, este material es libre de materia orgánica y su contenido de arcilla es mínimo ya que es un material certificado y tratado en una planta trituradora.

El material es transportado en volquetas desde la planta hasta la obra, en la obra es almacenado al aire libre, no hay un debido control de almacenamiento ya que está expuesto a los cambios climáticos; el almacenamiento es al aire libre.

El proceso que realiza la planta inicia con la dosificación de los agregados desde las tolvas de pesaje que cuentan con una capacidad de 6 m³ que contienen arena y gravilla de diferentes tamaños, a la banda transportadora, por un sistema de apertura de compuertas; este proceso debe ser controlado ya que las cantidades deben ser exactas para garantizar la calidad del concreto que se requiere. Simultáneamente se está pesando el cemento y se inyecta el agua al mixer. Una vez se tienen las cantidades requeridas, se acciona la banda transportadora con los agregados y se descarga la tolva de pesaje de cemento al mixer para el posterior mezclado y transporte del concreto.

El tiempo requerido para la elaboración del concreto es;

Tabla 3. Duración del proceso

Tiempo de carga de un mixer	
7m ³	15-16 MINUTOS
1m ³	2,14 MINUTOS

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3 se observa los datos proporcionados por la empresa establecidos a partir de estadísticas internas.

3.2 EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE ACOPIO

Se realiza una evaluación comparativa del sistema de dosificación de arena, con la finalidad de determinar la confiabilidad de este. La evaluación se dividió en dos subsistemas que son la tolva de acopio de arena y el proceso de descarga que es por apertura de compuertas.

3.2.1 Evaluación del estado actual de la tolva de arena. La evaluación realiza con base a la geometría de la tolva que tiene actualmente la planta de producción de concreto de la empresa, de acuerdo con los dos tipos de flujo que se presentan en los depósitos de materias primas.

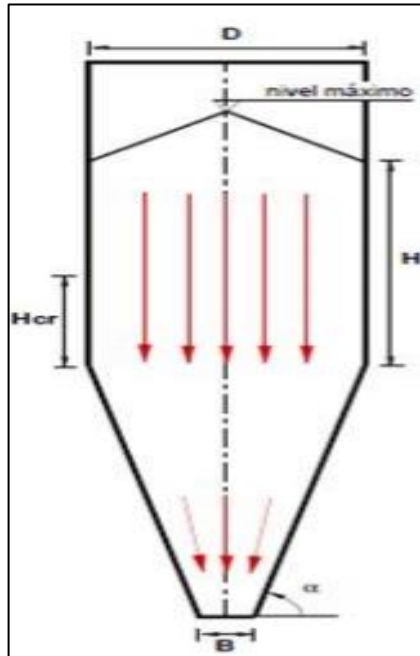
Los modos de flujo en depósitos geoméricamente simétricos son: flujo másico y flujo en canalizado.

3.2.1.1 Flujo de tipo másico: Esto significa que en todo punto dentro del depósito el material se encuentra en movimiento como se muestra en la Figura 11. Es decir que hay flujo de sólido almacenado a lo largo de las paredes verticales del depósito y de las paredes del embudo que forma la tolva. Este tipo de flujo garantiza una descarga completa a velocidades predecibles y tiene un patrón de flujo del tipo primero entrado primero salido. Si el depósito está bien diseñado se produce un remezclado del material durante la descarga que contrarresta en alguna medida la segregación que pudo tener el material cuando se llenó el depósito en forma concéntrica.

El flujo másico requiere que las paredes de la tolva sean lisas y su ángulo respecto de la horizontal sea empinado (mayor a 60°) y no se tengan transiciones abruptas. Los depósitos con flujo másico son en mayoría de tolva cónica.⁸

⁸CHOQUE CUEVAS, José Antonio. Optimización y control de calidad en la construcción de silo de almacenamiento para material puzolánico. Universidad Nacional de San Agustín.2016, 14

Figura 11. Flujo másico



Fuente: CHOQUE CUEVAS, José Antonio. Optimización y control de calidad en la construcción de silo de almacenamiento para material puzolánico. Universidad Nacional de San Agustín.2016, 14

3.2.1.2 Flujo de tipo canalizado. Si las paredes de la tolva no tienen la inclinación suficiente o son rugosas, ocurre un flujo de tipo canalizado durante la descarga por gravedad como en la Figura 12.⁹

Esto significa que el sólido almacenado se estanca en la zona cercana a las paredes y cae desde la superficie superior del material dentro del canal de flujo

⁹Fuente: CHOQUE CUEVAS, José Antonio. Optimización y control de calidad en la construcción de silo de almacenamiento para material puzolánico. Universidad Nacional de San Agustín.2016, 15

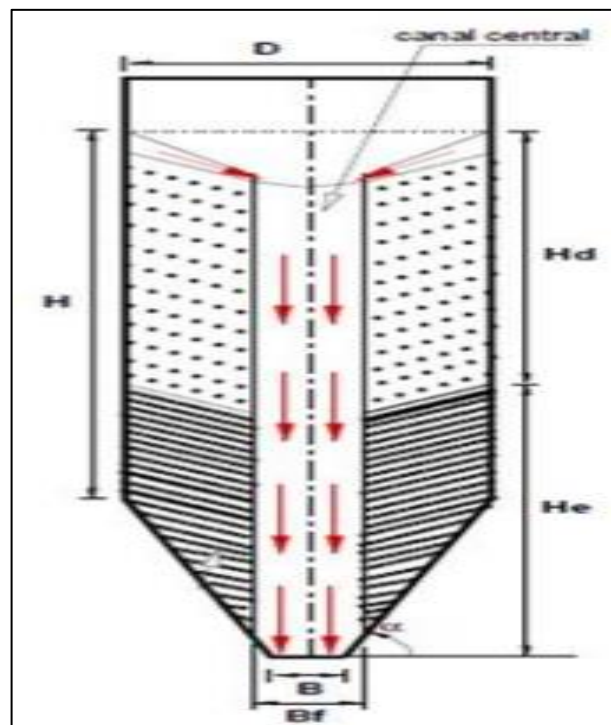
vertical que se forma sobre la abertura de salida. El patrón de flujo es errático y genera problemas de segregación. El tipo de flujo es último entrado primero salido.

En un corto tiempo el canal de flujo se llena con material densamente empaquetado por lo cual el material en la zona estancada ya no puede fluir, por lo tanto, se desacelera. Esa desaceleración produce altas tensiones en el canal de flujo y la compresión de sólido dentro de la zona del canal y un temblor en toda la tolva.

Una ventaja del flujo canalizado es que el material estancado protege a las paredes del desgaste que la abrasión del material granular produciría al deslizar sobre las paredes, como en el caso de productos de minería.

En general, los depósitos de forma simétrica proporcionan un mejor funcionamiento. Los de forma asimétrica a menudo inducen problemas de segregación en materiales con flujo libre y distintos tamaños de partículas lo cual dificulta la predicción de las cargas que actúan sobre las paredes.

Figura 12. Flujo canalizado



CHOQUE CUEVAS, José Antonio. Optimización y control de calidad en la construcción de silo de almacenamiento para material puzolánico. Universidad Nacional de San Agustín. 2016, 14

Cuadro 4. Ventajas y desventajas del flujo en depósitos

	Flujo másico	Flujo canalizado
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Flujo más constante ✓ Reducción de la segregación ✓ Los esfuerzos en las paredes son más predecibles ✓ Uso efectivo de la capacidad total de la tolva ✓ Lo primero que entra es lo primero que sale 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se requiere menor espacio de boca de alimentación ✓ El material estancado protege a las paredes del desgaste que la abrasión del material granular produciría al deslizar sobre las paredes
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mayor desgaste de las paredes ✓ Mayor esfuerzo en las paredes ✓ Requiere mayor espacio de boca de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Formación de tubo ✓ Segregación ✓ La mala distribución de los esfuerzos en las paredes puede causar que la tolva colapse ✓ Reducción de la capacidad de almacenamiento

Fuente: elaboración propia, con base en. CHASE, George. Solids processing. U.S.A.: The University of Akron., 96.

El flujo canalizado es el que se presenta actualmente en la tolva de acopio de arena que tiene la planta de producción de concreto de la empresa ya que la geometría de esta es piramidal, lo que genera segregación que puede originar áreas de material denso, que conduce a cargas asimétricas en la pared y a la concentración de partículas finas puede causar bloqueos en el flujo.

Estos problemas pueden minimizarse si la descarga de la arena en la tolva de acopio es adecuada. A partir de la evaluación realizada como se evidencia en el cuadro 4, partiendo de los dos tipos de flujos de descarga, se determina que para lograr el flujo adecuado de la arena es necesario cambiar la geometría de la tolva para disminuir la segregación del material que se genera actualmente en el sistema.

3.3 SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN

El principio de un dosificador es controlar la concentración de los productos agregados y asegurar la mezcla homogénea en el resultado final.

Los sistemas de dosificación para el envasado de sólidos deben ser considerados de acuerdo con el tipo de sólido y la resistencia a la corrosión; ya que pueden ser parámetros importantes de selección para el tipo de mecanismo a usarse. ¹⁰

Los dosificadores son mecanismos utilizados para regular el despacho de las sustancias en las diferentes etapas de un proceso, están compuestos por: servomotores, motores eléctricos, electroimanes, cilindros neumáticos y reguladores, las características de cada uno de estos componentes son distintas de manera que modifican la distribución de los productos manejados. ¹¹

Los dosificadores existentes y que pueden ser utilizados para dispensar sólidos son de dos tipos;

- ✓ Dosificadores volumétricos
- ✓ Dosificadores gravimétricos

3.3.1 Dosificadores volumétricos. Los mecanismos de dosificación más conocidos y utilizados son los siguientes;

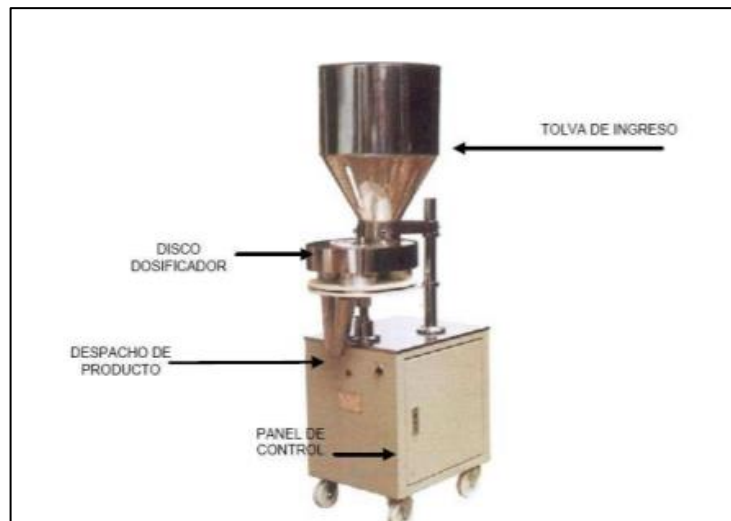
- ✓ Dosificadores de tornillo
- ✓ Dosificadores de compuerta rotativa
- ✓ Dosificadores de banda rodante
- ✓ Dosificadores por pistón neumático

La calibración de estos mecanismos deberá ser verificada en particular si la masa volumétrica está sujeta a variaciones.

¹⁰ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA, Daniel. Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa “del valle lojano”. Escuela politécnica nacional.2011, p 27.

¹¹ Ibíd., p.28

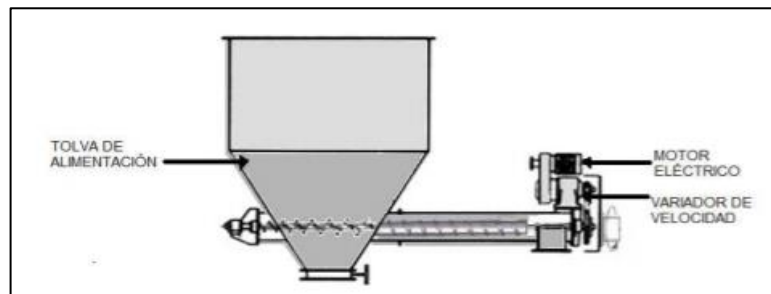
Figura 13. Dosificador volumétrico



Fuente: ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA, Daniel. Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa “del valle lojano”. Escuela politécnica nacional.2011, p 29

3.3.1.1 Dosificador de tornillo. La figura 14 es un esquema de un dosificador, cuyo elemento principal es un tornillo situado en la parte inferior de la tolva de alimentación y que libera un volumen determinado de producto cada vuelta¹².

Figura 14. Dosificador de tornillo



Fuente: ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA, Daniel. Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa “del valle lojano”. Escuela politécnica nacional.2011, p 29

¹² ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA Op. Cit., p. 29

La rapidez del tornillo está dada por un sistema de reducción de velocidad (por engranajes o bandas) agregado a un motor eléctrico o por el acoplamiento del motor a un variador de velocidad. La variación de la dosificación de la sustancia actúa directamente sobre la velocidad del motor. Este mecanismo puede estar en funcionamiento de manera intermitente o continua.

Este tipo de dosificador es el más utilizado dentro de su clase ya sea por la naturaleza de un producto o por las necesidades en la dosificación y no por la exactitud en el ingreso de la sustancia.¹³

3.3.1.2 Dosificadores de compuerta rotativa. En la figura 15 se ilustra el dosificador de compuerta rotativa el cuál es de construcción simple y robusta, el mismo que es menos preciso que el mecanismo de tornillo.

“El motore está equipado con una caja reductora o con un variador de velocidad que permite controlar el movimiento de la compuerta y el despacho del producto”¹⁴

Figura 15. Dosificador de compuerta rotativo



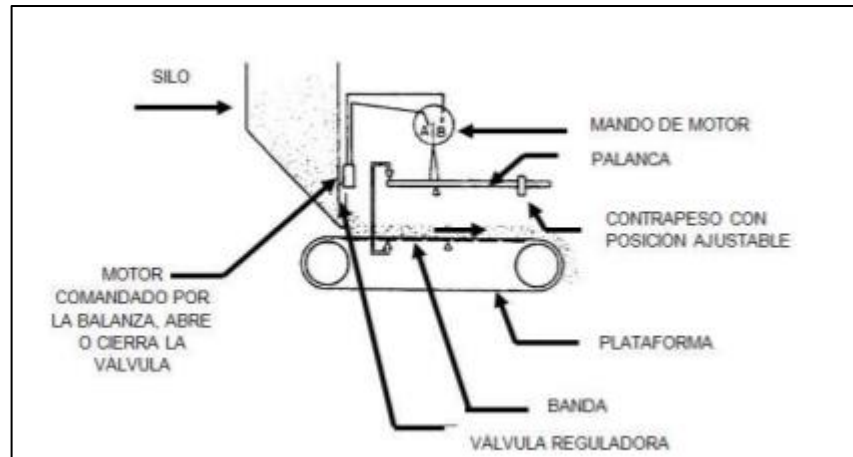
Fuente: ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA, Daniel. Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa “del valle lojano”. Escuela politécnica nacional.2011, p 30

¹³CANGAS JUAN; CHAGUAMATE CHRISTIAN; Tesis “Diseño y construcción de una máquina semiautomática Gravimétrica para el llenado con tierra de bolsas usadas en viveros forestales”; Quito;2007.

¹⁴TELLO EDWIN; VENEGAS CHRISTIAN, “Diseño y construcción de una dosificadora de fertilizante mineral paletizado”; 2000

3.3.1.3 Dosificadores de banda rodante. El principio de funcionamiento de este tipo de dosificadores está indicado en la figura 16, en el cuál su despacho está determinado por dos parámetros, el primero haciendo variar la velocidad de la banda y el segundo modificando la cantidad de producto que pasa a la banda por la regulación de la compuerta a la salida de la tolva. Este dosificador es relativamente simple y no conviene para los sólidos de carácter fundible como el carbón activo que puede traer problemas de estancamiento.¹⁵

Figura 16. Dosificador de banda rodante



Fuente: ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA, Daniel. Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa “del valle lojano”. Escuela politécnica nacional.2011, p 31

3.3.1.4 Dosificadores por pistón neumático. Este dosificador es fabricado para trabajar con productos líquidos, semilíquidos, cremas, mermeladas, grasas, etc. El sistema básicamente está compuesto por un pistón de cámara regulable en su capacidad, que son impulsadas por movimiento de un cilindro neumático, una válvula y una boquilla. Se fabrican en acero inoxidable y como los demás dosificadores se puede colocar en envasadoras automáticas o se pueden utilizar de forma semiautomática en pequeñas producciones. Tal como se muestra en la figura 17.¹⁶

¹⁵ ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA Op. Cit., p. 30

¹⁶ MORENO EDUARDO; “Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz”; Quito; 2010.

Figura 17. Dosificador volumétrico por pistón



Fuente: ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA, Daniel. Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa "del valle lojano". Escuela politécnica nacional.2011, p 31

3.3.2 Dosificadores gravimétricos. Estos dosificadores son más precisos que los volumétricos ya que la variación de la masa volumétrica aparentemente no influye en la dosis de despacho; entre los más utilizados están los dosificadores de banda y por pérdida de peso.¹⁷

Los mecanismos de dosificación más conocidos y utilizados son los siguientes;

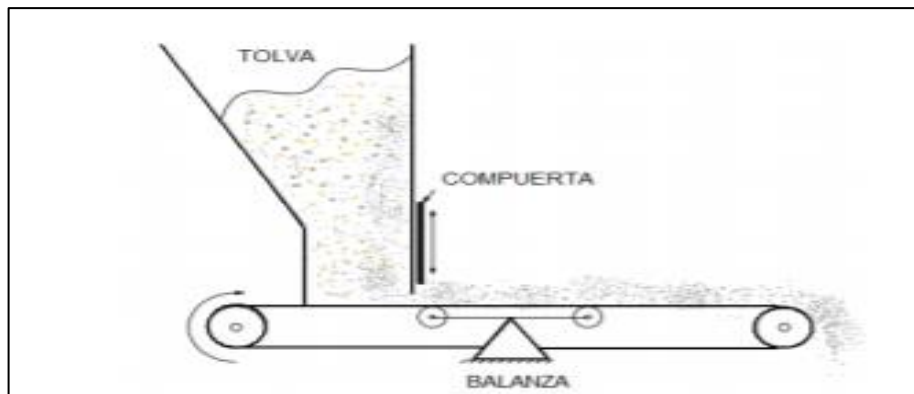
- ✓ Dosificadores gravimétricos de banda
- ✓ Dosificador de pérdida de peso

3.3.2.1 Dosificadores gravimétricos de banda. La velocidad de la banda o la posición de la compuerta a la salida de la tolva determinan la cantidad del producto sobre la banda; el controlador maneja estos parámetros de acuerdo con la cantidad de producto a dosificar. Ver figura 18.

La compuerta puede ser reemplazada por un dosificador extractor de tornillo y sistema de ponderación por un sistema de rayos gamma.

¹⁷ ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA Op. Cit., p. 32

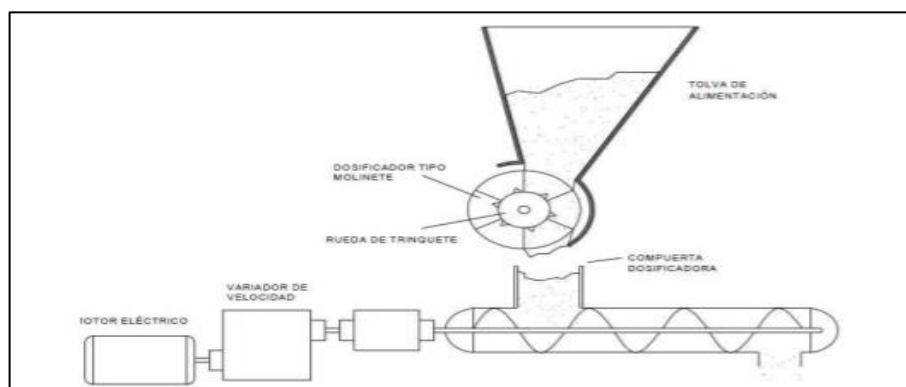
Figura 18. Dosificador gravimétrico de banda rodante con balanza



Fuente: ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA, Daniel. Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa “del valle lojano”. Escuela politécnica nacional.2011, p 32

3.3.2.2 Dosificador de pérdida de peso. Estos dosificadores son ideales para trabajar con cualquier producto sólido, polvo, o snack de formas irregulares. Poseen alimentador a la celda de carga de forma vibratoria, lo que evita la rotura del producto. El control del peso se realiza de forma digital, pudiendo realizar dosificaciones de alta precisión. Ver esquema en la figura 19.

Figura 19. Dosificador gravimétrico, combinado por: un dosificador volumétrico de compuerta rotativa y un dosificador volumétrico de tonillo



Fuente: ORTEGA ACOSTA, Henry y CARRILLO BALSECA, Daniel. Diseño y construcción de una máquina dosificadora de masa para la elaboración de humitas para la empresa “del valle lojano”. Escuela politécnica nacional.2011, p 33

3.4 VARIABLES CRÍTICAS

Las variables más críticas que se deben tener en cuenta al momento del desarrollo del sistema de dosificación son:

- ✓ Dimensiones del sistema de dosificación
- ✓ Pérdida de material
- ✓ Adaptación del sistema al chasis existente

Estas variables son de vital importancia ya que son las que se emplearán para la evaluación de las alternativas.

4. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En este capítulo se analizarán diferentes alternativas de diseño para el sistema de dosificación de arena, que por criterios de uniformidad se debe seleccionar el sistema que funcione con los tres agregados con que se fabrica el concreto.

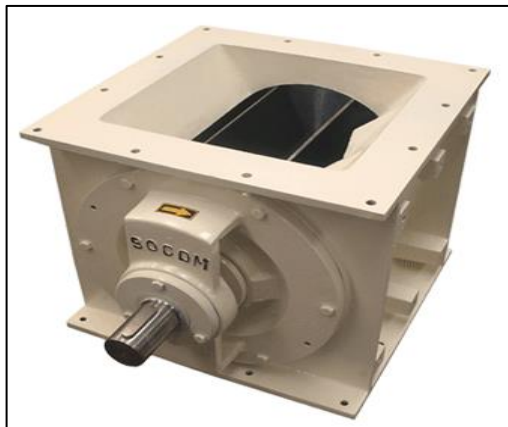
4.1 ALTERNATIVAS DE DOSIFICACIÓN

4.1.1 Válvula rotativa. Es un elemento mecánico compuesto de un rotor interno giratorio encerrado en un cuerpo cilíndrico con tapas laterales, que girando a una velocidad constante permite el desplazamiento interno de las materias primas. Usualmente para introducir o descargar, con uniformidad de caudal, materiales en polvo, gránulos o pequeños chips, desde un sistema de aspiración o transporte neumático bloqueando las transferencias o pérdidas diferenciales de presión.

Principales usos de las válvulas rotativas;

- ✓ Como Alimentador: De sistemas de transporte neumático, sistemas de carga
- ✓ Como Descargador: De sistemas de aspiración, ciclones, filtros de mangas, roscas transportadoras
- ✓ Como Dosificador: Desde tolvas, silos y depósitos, hacia sistemas de limpieza, zarandas, molinos a martillos

Figura 20. Válvula rotativa



Fuente: SOCOM, VALVULAS ROTATIVAS <http://www.socom.com.ar/es/valvulas-paso-vertical/valvula-maderera-socom>

4.1.2 Tolva Cónica. Es un equipo de almacenamiento de material ya sea grueso o fino, la cual se compone de dos partes: Una sección convergente situada en su parte inferior a la que se conoce como boquilla, la cual es de forma cónica, y una sección vertical superior que es la tolva propiamente dicha, la cual proporciona la mayor parte del volumen de almacenamiento de material.

Figura 21. Tolva cónica.



Fuente: CHAMPION TRADING COMPANY. [sitio web]. EGYPT: Conical hoppe. [13-08-2019]. Disponible en: https://www.champtrading.com/inventory/mixers/planetary/food-grade-ss-conical-hoppe_conical-hopper_14025

4.1.3 Alimentador de banda. El alimentador de banda se utiliza para trasvasar material desde una tolva de alimentación al resto de la instalación de forma continua y regular, siendo horizontales o ascendentes. Este alimentador está especialmente diseñado para productos de granulometría continua y homogénea, tales como arenas, gravas y materiales que contengan finos o arcillas. Una máquina que, frente a otro tipo de alimentadores, presenta enormes ventajas de funcionamiento al tratar materiales húmedos y arcillosos extraídos bajo el nivel freático.

Figura 22. Alimentador de banda



Fuente: INDUSTRIAS MECANICAS SEGUI. [sitio web]. España: Alimentador de banda. [13-08-2019]. Disponible en: <http://www.industriasegui.com/wp-content/uploads/2018/07/ALIMENTADOR-DE-BANDA.pdf>

En el cuadro 5 se observa la evaluación realizada a partir de las ventajas y desventajas de tres tipos de sistemas de dosificación obteniendo que el sistema por apertura de compuerta es que posee las mejores características.

Cuadro 5. Sistemas de dosificación ventajas y desventajas

	Apertura de compuerta	Válvula rotativa	Alimentador de banda
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Costo bajo comparado con los beneficios que ofrece ✓ Mayor precisión ✓ Insensible a las variaciones de temperatura 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Facilidad de instalación ✓ Protección contra la propagación de polvo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No altera el producto final ✓ Gran capacidad de transporte
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Relativamente baja velocidad de respuesta 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Las cavidades se vacían completamente ✓ La densidad del material debe ser constante 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peso significativo ✓ Alta inversión

Fuente: elaboración propia

4.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Método de ponderación lineal. Para la selección de la alternativa adecuada de cada uno de los sistemas propuestos, se implementará el método de ponderación lineal (SCORING) el cual es utilizado para identificar la alternativa preferible en un problema de decisión multicriterio. Las etapas para seguir durante el método son las siguientes:

Establecer en cuánto satisface cada alternativa a nivel de cada uno de los criterios.

Calcular el puntaje para cada una de las alternativas. La alternativa con el puntaje más alto representa la alternativa a recomendar.

Modelo matemático;

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

W_i = Ponderación para cada criterio

r_{ij} = Rating de la alternativa j en función del criterio i

S_j = Puntaje o Score para la alternativa j

A continuación, se muestran los criterios a evaluar para cada uno de los sistemas propuestos;

- ✓ Menor mantenimiento
- ✓ Menor costo
- ✓ Fabricación sencilla
- ✓ Tamaño

Definición de cada criterio;

- ✓ Menor mantenimiento: Este criterio evalúa la complejidad y cantidad de tareas necesarias para desarrollar el mantenimiento
- ✓ Menor costo: Este criterio evalúa la inversión necesaria para la construcción del sistema de dosificación y la adquisición de la fuente de potencia
- ✓ Facilidad de fabricación: Este criterio evalúa la complejidad de las tareas necesarias para la fabricación del sistema de dosificación

✓ Tamaño: Este criterio evalúa las dimensiones que se deben tener en cuenta para poder acoplar el sistema a la estructura actual

En este cuadro se muestra la ponderación para cada uno de los criterios de selección en la escala de 1 a 5 puntos;

- Muy poco importante (1)
- Poco importante (2)
- Importancia Media (3)
- Algo importante (4)
- Muy importante (5)

Cuadro 6. Ponderación de los criterios de selección

Sistema de dosificación de agregados	
Criterios	Ponderación Wi
Fabricación sencilla	4
Menor costo	4
Menor mantenimiento	3
Tamaño	5

Fuente: elaboración propia

Luego de esto se establece una evaluación de satisfacción para cada alternativa empleando una escala de 1 a 9;

- | | | |
|----------------|---------------|----------------|
| Extra bajo (1) | Medio (5) | Extra Alto (9) |
| Muy bajo (2) | Poco alto (6) | |
| Bajo (3) | Alto (7) | |
| Poco Bajo (4) | Muy alto (8) | |

Se muestran los cuadros de los sistemas con las alternativas y el Rating de satisfacción para cada una de ellas.

Tabla 4. Score sistema de dosificación de agregados

	Criterios	Wi	Válvula rotativa		Tolva cónica		Alimentador de banda	
			ri	Wi*ri	ri	Wi*ri	ri	Wi*ri
Sistema de dosificación de agregados	Fabricación sencilla	4	7	28	9	36	8	32
	Menor costo	4	5	20	9	36	2	8
	Menor mantenimiento	3	5	15	8	24	8	24
	Tamaño	5	5	25	8	40	8	40
	Puntaje Sj			88		136		104

Fuente: elaboración propia

Mediante el método de scoring se evidencia que la alternativa con mayor puntuación es la tolva cónica.

Descripción y análisis de la Tolva cónica. En esta alternativa se aprecia el cumplimiento de los criterios evaluados fabricación sencilla, menor costo, menor mantenimiento y tamaño; es importante resaltar que el diseño de la tolva cónica evita la construcción de una nueva estructura, teniendo así un balance en costo beneficio respecto al presupuesto que se desea invertir en el proyecto.

5. DISEÑO DETALLADO

La finalidad de este capítulo es diseñar la alternativa seleccionada a través del método de scoring en la sección anterior. Para el diseño de la tolva se emplea los siguientes pasos:

- ✓ Determinar la geometría de a tolva con el fin de que posea la capacidad necesaria
- ✓ Determinar las características del flujo del material
- ✓ Estimar las cargas que actúan sobre la tolva debido al material almacenado

Para el desarrollo de esta sección se tendrán en cuenta los parámetros de diseño establecidos por la empresa donde se debe cumplir con la capacidad de producción de 50 toneladas por hora que maneja actualmente la planta dosificadora y con el tiempo máximo de 16 minutos para producción de 7 metros cúbicos de concreto.

Para lograr esto es necesario diseñar una tolva que tenga un flujo masico mínimo de 200 Kg/s ya que actualmente la tolva tiene un flujo tubular de aproximadamente 191 Kg/s dato que suministro la empresa

Cumpliendo con este flujo se respetarán los tiempos establecidos para la producción de 7 metros cúbicos de concreto.

La metodología se realizó con base en el Eurocodigo 1 parte 4, ya que este proporciona el procedimiento de cálculo de los esfuerzos a los que están sometidos los depósitos de materiales granulares como lo son los silos y las tolvas.

5.1 CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE MATERIAL ALMACENADO

Las propiedades del material almacenado, utilizado para el cálculo de las cargas que actúan sobre la estructura, se toman de la tabla 7.1 del Eurocodigo 1, Parte 4 y son las siguientes;

- ✓ γ = densidad 1701 Kg/m³
- ✓ μ = coeficiente rozamiento contra las paredes 0,40
- ✓ K_s = relación presión horizontal-presión vertical 0,45

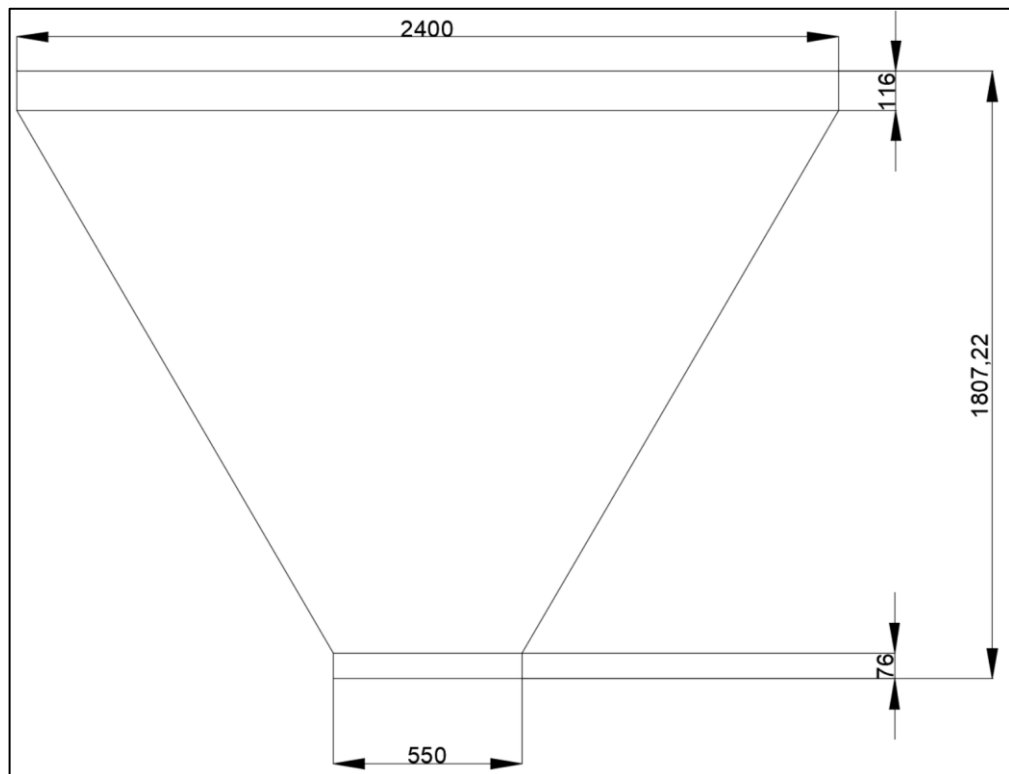
✓ C_o = máximo coeficiente de mayoración de la presión 1,40

5.2 GEOMETRÍA DE LA TOLVA

El diseño se inicia con una construcción geométrica de la tolva que debe cumplir con los parámetros establecidos en los capítulos anteriores como son tamaño y un ángulo con una inclinación mínima de 60° para obtener el flujo masico requerido, evitando los atascos generados por la segregación en las paredes de la tolva.

Para el caso en concreto, se realizará el diseño de una tolva troncocónica con las siguientes dimensiones como se muestra en la figura 23,

Figura 23. Dimensiones tolva



Fuente. elaboración propia

5.3 CALCULO DEL FLUJO MASICO DE LA TOLVA

Partiendo de la geometría de la tolva se procede a calcular el flujo masico que se genera con la siguiente ecuación;

$$m = \gamma_{arena} * A \sqrt{\frac{dg}{4 \tan \theta}}$$

Donde;

m = Tasa de descarga (Kg/s)

γ_{arena} = Densidad de la arena (Kg/m³)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

θ = Ángulo de la tolva

d = Diámetro de salida de la tolva

$$m = 1701 \frac{kg}{m^3} * \left(\frac{\pi}{4} (0.55 m)^2\right) * \sqrt{\frac{0.55 m * 9.81 \frac{m}{s^2}}{4 \tan(60)}}$$

$$m = 356.63 \frac{kg}{s}$$

5.4 CÁLCULO DE LAS CARGAS DE DISEÑO

La carga de uso es proporcional a la materia almacenada que produce una presión sobre las paredes de la tolva que se transmite hacia los elementos que componen la chapa y a su vez a los elementos estructurales de soporte de la tolva.

Por un lado, se consideran las cargas sobre la sección de paredes verticales y por otro las cargas sobre la tolva inferior. Dicho análisis de cargas se realiza a partir de la norma UNE-ENV 1991-4 (EUROCÓDIGO 1, Parte 4: Acciones en silos y depósitos).

5.4.1 Cargas de servicio, siendo el cilindro superior con una dimensión de 2.4 m de diámetro, sabiendo también que la presión horizontal es el doble que la presión vertical y un coeficiente de fricción de 0.4

$$Z_0 = \frac{A}{K_S * \mu * U}$$

$$Z_0 = \frac{\pi * 1,2m^2}{0,45 * 0,4 * (2\pi * 1.2m)}$$

$$Z_0 = 3,333 \text{ m}$$

Donde;

A = Superficie de la sección transversal de la sección de paredes verticales

Ks = Relación de presiones horizontal y vertical

μ = Coeficiente de rozamiento de la pared

U = Perímetro interior

Z0= Parámetro empleado en el cálculo de las presiones

Sabiendo que la profundidad es de 1.80722 m

$$C_z(z) = 1 - e^{\left(\frac{-z}{z_0}\right)}$$

$$C_z(z) = 1 - e^{\left(\frac{-1,807m}{3,333 m}\right)}$$

$$C_z(z) = 0,418$$

Donde;

Z = profundidad

Z0= Parámetro empleado en el cálculo de las presiones

Cz = Coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo (Coeficiente de Janssen)

Volumen de la tolva

$$V_1 = \pi r^2 h$$

$$V_1 = \pi * 1,2m^2 * 0,116m$$

$$V_1 = 0,524m^3$$

$$V_2 = 1,047 * h(R^2 + (R * r) + r^2)$$

$$V_2 = 1,047 * 1,615(1,2^2 + (1,2 * 0,275) + 0,275^2)$$

$$V_2 = 3,121m^3$$

$$V_3 = \pi r^2 h$$

$$V_3 = \pi * 0,275m^2 * 0,076m$$

$$V_3 = 0,01805 m^3$$

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = (0,524 + 3,122 + 0,0180)m^3$$

$$V_T = 3,664 m^3$$

Capacidad de la tolva

$$Cap = \gamma_{arena} * V_T$$

$$Cap = 1701 \frac{Kg}{m^3} * 3,664 m^3$$

$$Cap = 6.233,515 Kg \text{ de arena} = \text{peso}$$

5.4.2 Cálculo de la presión horizontal, para calcular el dimensionamiento y el peso tomaremos en cuenta algunos datos

$$\gamma_{arena} = 1.701 \frac{Kg}{m^3}$$

Peso del material= 6.233,051 Kg

Peso de la tolva= 418.15 Kg de acuerdo con Autodesk Inventor Professional 2019

Peso total= 6.857.711 Kg

5.4.3 Recálculo de la presión horizontal (P_{HF})

$$P_{HF}(z) = \gamma * \frac{A}{\mu * U} * C_z(z)$$

$$P_{HF}(z) = 1701 \frac{Kg}{m^3} * \frac{4,524 m^2}{0,4 * 7,539 m} * 0,418$$

$$P_{HF} = 1.067,847 \frac{Kg}{m^2}$$

$P_{HF}(z)$ = Presión horizontal tras el llenado

Se aproxima a una carga triangular de 1068 kg/m² con fines de simplificación. La pared vertical la dividiremos en segmentos de 10 cm para calcular la siguiente tabla;

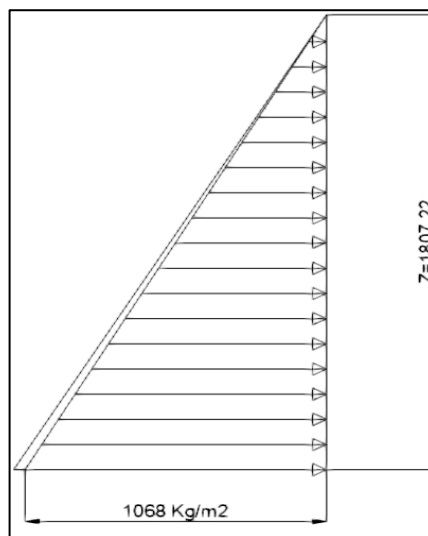
Tabla 5. Presión horizontal distribuida

Z	Cz (z)	Phf (Kg-f/m2)
0	0	0
0,1	0,029	75,409
0,2	0,058	148,590
0,3	0,086	219,609
0,4	0,113	288,528
0,5	0,139	355,410
0,6	0,164	420,315
0,7	0,189	483,303
0,8	0,213	544,428
0,9	0,236	603,747
1	0,259	661,313
1,1	0,281	717,177
1,2	0,302	771,390
1,3	0,322	824,001
1,4	0,342	875,057
1,5	0,362	924,604
1,6	0,381	972,687
1,7	0,399	1019,348
1,8	0,417	1064,631
1,9	0,434	1108,575

Fuente. elaboración propia

La distribución de presiones que se ha obtenido puede representarse de forma gráfica, tal y como se muestra en la figura 24.;

Figura 24. Distribución de presiones sobre paredes verticales



Fuente. elaboración propia

5.4.4 Cálculo de C_z (Z) y P_{HF} , a continuación, se incrementó el valor de la presión horizontal de acuerdo con normas del Eurocódigo en función a la siguiente ecuación:

$$\beta = 1 + 4 * \frac{e_i}{d_c}$$

Se tomará un valor recomendado para la excentricidad de 0.2 para calcular el coeficiente de mayoración local.

$$\beta = 1 + 4 * \frac{0,2}{2,4}$$

$$\beta = 1,333$$

Donde;

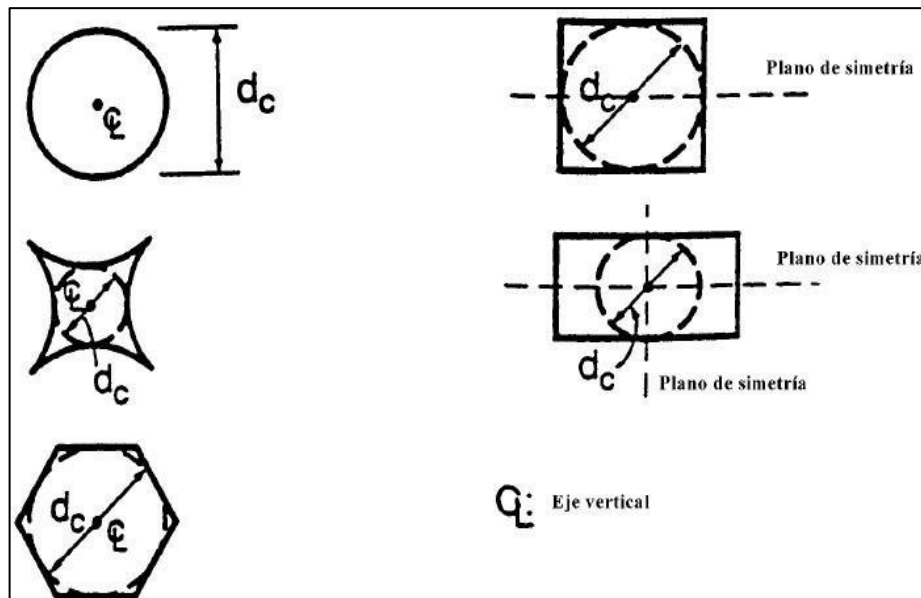
β = Coeficiente de mayoración local

e_i = Excentricidad debido al llenado

d_c = Dimensión característica de la sección transversal

En la siguiente figura 25 la cual fue tomada de la página 19 del euro código que indica la forma de abertura que tiene la tolva en la descarga.

Figura 25. Forma de las secciones transversales



Fuente: Fuente: NORMALIZACION ESPAÑOLA. Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 4: Silos y depósitos. UNE-EN 1991-4. ESPAÑA. 2013.

$$P_{hfs} = P_{HF} * (1 + 0.2 * \beta)$$

$$P_{hfs} = 1.067,847 * (1 + 0.2 * 1,333)$$

$$P_{hfs} = 1.352,599 \frac{kg}{m^2}$$

P_{hfs} = Presión horizontal simplificada

5.4.5 Presión de vaciado

$$\frac{h}{d_c} \leq 1,0$$

$$\frac{1,807}{2,4} \leq 1,0$$

$$0,753 \leq 1,0$$

h = Altura de llenado

d_c = Dimensión característica de la sección transversal

5.4.6 Presiones fijas

$C_w = 1,1$ Silos esbeltos según eurocódigo

$C_o = C_h = 1,41$ tabla 7.1 eurocódigo

C_h = Coeficiente de mayoración de la presión horizontal

C_w = Coeficiente de mayoración de la tracción debida al rozamiento con la pared

P_{wt} = Presión de rozamiento en la pared durante el vaciado

P_{wf} = Presión de rozamiento en la pared tras el llenado

P_{he} = Presión horizontal durante el vaciado

P_{hf} = Presión horizontal tras el llenado

$$P_{we} = C_{wi} * P_{wf}$$

$$P_{he} = C_h * P_{hf}$$

$$P_{wf} = \gamma * \frac{A}{U} * C_z(z)$$

$$P_{wf} = 1701 \frac{Kg}{m^3} * \frac{4,523 m^2}{7,537 m} * 0,418$$

$$P_{wf} = 427,252 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{we} = 1,1 * 427,252 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{we} = 469,977 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{he} = 1,4 * 1.067,847 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{he} = 1.494,986 \frac{Kg}{m^2}$$

5.5 CARGAS DE USO EN TOLVA

Cuando $\alpha > 20$ la presión perpendicular a la pared inclinada de la tolva se calcula

$$P_n = P_{n3} + P_{n2} + (P_{n1} - P_{n2})$$

$$P_{n1} = P_{v0} * (C_b * \cos^2 \alpha + \text{Sen}^2 \alpha)$$

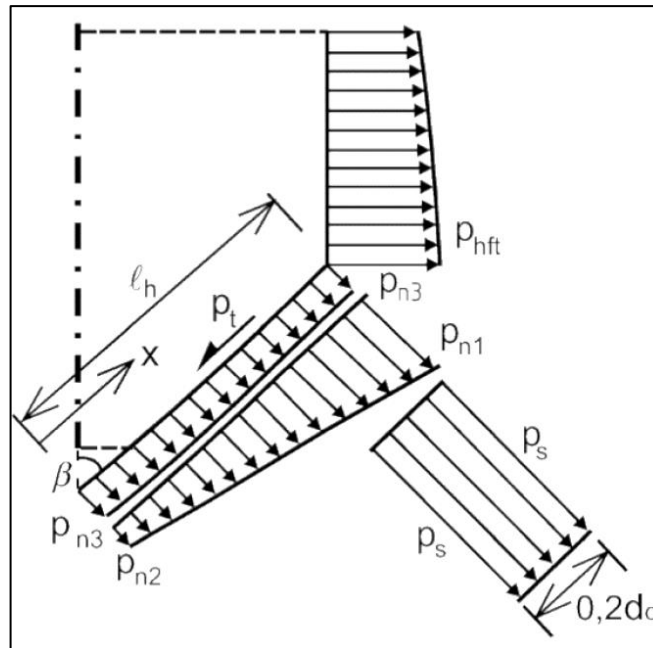
$$P_{n2} = C_b * P_{v0} * \cos^2 \alpha$$

$$P_{n3} = 3 * \frac{A}{U} * \frac{\gamma K_s}{\sqrt{\mu}} * \text{Sen}^2 \alpha$$

Dónde;

C_b = Coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo. $C_b = 1,2$

Figura 26. Presiones en la tolva



Fuente: Fuente: NORMALIZACION ESPAÑOLA. Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 4: Silos y depósitos. UNE-EN 1991-4. ESPAÑA. 2013.

5.5.1 Cálculo de la presión vertical en la zona de transición

$$P_v(z) = \frac{\gamma * A}{K_s * \mu * U} * C_z(z)$$

$$P_v(z) = \frac{1.701 \frac{Kg}{m^3} * 4,523m^2}{0,45 * 0,4 * 7,539m} * 0,418$$

$$P_v(z) = 2.372,994 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{n1} = 2.372,994 \frac{Kg}{m^2} * (1,2 * \text{Cos}^2 30 + \text{Sen}^2 30)$$

$$P_{n1} = 2.728,943 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{n2} = 1,2 * 2.372,994 \frac{Kg}{m^2} * \text{Cos}^2 30$$

$$P_{n2} = 2.135,695 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{n3} = 3 * \frac{4,523 m^2}{7,539 m} * \frac{1.701 \frac{Kg}{m^3} * 0,45}{\sqrt{0,4}} * Sen^2 30$$

$$P_{n3} = 544,617 \frac{Kg}{m^2}$$

$P_{n1,2}$: Es la presión debida al llenado de la tolva

P_{n3} : Es la presión debido a la presión vertical sobre el material almacenado directamente por encima de la transición.

En zona de transición

$$P_t = P_{n3} + P_{n1}$$

$$P_t = (544,617 + 2.728,943) \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_t = 3.273,561 \frac{Kg}{m^2}$$

En el vértice de la tolva

$$P_{ve} = P_{n3} + P_{n2}$$

$$P_{ve} = (544,617 + 2.135,695) \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{ve} = 2.680,312 \frac{Kg}{m^2}$$

5.5.2 Presión en la boca de la tolva

$$P_b = P_{ve} + P_x$$

$$P_x = \frac{(P_{n1} - P_{n2}) * (L_{ve} - L_b)}{L_{ve}}$$

$$P_x = \frac{(2.728,943 - 2.135,695) \frac{Kg}{m^2} * (2,4 - 1,85)m}{1,85m}$$

$$P_x = 179,371 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_b = (2.680,312 + 179,371) \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_b = 2.859,683 \frac{Kg}{m^2}$$

5.6 CÁLCULO DE ESPESOR DE PARED DE LA TOLVA

Mediante cálculos analíticos de resistencia de la tolva, se calcula el espesor de la lámina de acero estructural ASTM A36, debido a que presenta una adecuada resistencia mecánica, tomando como un tanque que está sometido a presión. La presión máxima a la que está sometida la tolva es de 3.273,561 kg/m² o 32.102,57 Pa.

Para el cálculo del espesor de pared de la tolva se utilizó la siguiente ecuación;

$$t_h = Y_Q P_t \frac{dc}{2}$$

$$t_h = 2 * 0.032 Mpa * \frac{2400 mm}{2}$$

$$t_h = 76,8 \frac{N}{mm}$$

Donde;
 Y_Q = Factor de seguridad (2)
 P_t = Presión total
 dc = diámetro de entrada

$$t = \frac{t_h}{\sigma_f}$$

$$t = \frac{76.8 \frac{N}{mm}}{2507 \frac{N}{mm^2}}$$

$$t = 0,307 mm$$

La soldadura por ser a tope se toma un factor de eficacia de unión de 0.85

$$t_1 = \frac{0,307 \text{ mm}}{0,85}$$

$$t_1 = 0,361 \text{ mm}$$

El espesor obtenido por cálculo es considerablemente pequeño, lo cual es debido a que el esfuerzo resultante por la carga de arena es significativamente menor que el esfuerzo admisible. Con este espesor se garantiza que la tolva no falle al esfuerzo normal, pero será propenso al rápido deterioro por efecto del desgaste que provoca la arena que es un medio abrasivo. Por esto se realizó una comprobación con espesores de lámina normalizados como se evidencia en la siguiente ecuación.

$$p = \frac{2 \sigma_f E t_n \cos(a)}{D_c + 0,8 t_n \cos(a)}$$

Donde;

p = Presión máxima

σ_f = Esfuerzo máximo del material

D_c = Diámetro exterior

E = Eficiencia de la junta (Figura 27)

t_n = Espesor normalizado (6.35 mm)

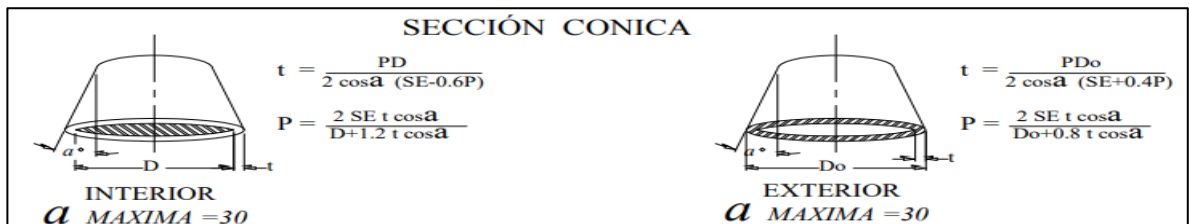
a = Angulo del cono (Figura 26)

$$p = \frac{2 * 250 \text{ Mpa} * 0,85 * 6,35 \text{ mm} \cos(30)}{2400 \text{ mm} + 0,8 * 6.35 \text{ mm} * \cos(30)}$$

$$p = 0.97 \text{ Mpa}$$




Por razones constructivas, de rigidez y de durabilidad se selecciona un espesor comercial de ¼" o 6,35 mm.

Figura 27. Fórmulas para el cálculo de espesores y presiones



Fuente: DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ, Felipe. Recipientes a presión. Universidad nacional Autónoma de Mexico. 2018, 46

Figura 28. Tipos de juntas soldadas

TIPOS NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E		
		Cuando la junta es:		
		a. Radiogra- fiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Juntas a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar</p> <p>En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60

Fuente: DIAZ DEL CASTILLO RODRIGUEZ, Felipe. Recipientes a presión. Universidad nacional Autónoma de Mexico.2018, 46

5.6.1 Comprobación frente al pandeo, la tensión de compresión vertical en la base del silo es igual a la suma de todas las cargas sobre la pared. El silo tomando como ejemplo no incluye cubierta ni ningún equipo auxiliar por lo que las únicas fuerzas verticales se deben a la presión por rozamiento del material almacenado. La compresión axial en la base del silo es igual a la suma de las anteriores presiones por rozamiento contra la pared. Las presiones debidas a la descarga por rozamiento contra la pared se suman y nos dan el caso de carga más desfavorable.

Según el Eurocódigo 1: Parte 4, clausula 4.2.1 de donde:

$$C_w = 1,1 \quad (1 + 0,2 * \beta) = 1,333 \quad z_0 = \frac{A}{k_{s3} * \mu_3 * U} = 3,333 \text{ m}$$

$$z = h = 1807,22 \text{ m}$$

$$P_{wesrecalculado} = C_w * (1 + 0,2 * \beta) * \gamma_1 * \frac{A \left[z - z_0 * \left[1 - e^{\left(\frac{-z}{z_0} \right)} \right] \right]}{U}$$

$$\begin{aligned}
P_{wesrecalculado} &= 1,1 * (1 + 0,2 * 1,333) * 1701 \frac{kg}{m^3} \\
&\quad * \frac{4,524m^2 \left[1807,22m - 3,333m * \left[1 - e^{\left(\frac{-1807,22m}{3,333m}\right)} \right] \right]}{7,539m} \\
P_{wesrecalculado} &= 2564182,23 \frac{kg}{m} \rightarrow 25154,62768 \frac{N}{mm}
\end{aligned}$$

El esfuerzo axil circunferencial unitario es igual al esfuerzo axial multiplicado por un coeficiente de seguridad p tener en cuenta las cargas variables, que según el Eurocódigo 1: Parte 2.

$$P_{wd} = \gamma_Q * P_{wesrecalculado}$$

$$P_{wd} = 2 * 25154,62768 \frac{N}{mm} = 50309,25535 \frac{N}{mm}$$

La tensión crítica de pandeo es:

$$\begin{aligned}
f_{cr} &= 0,15 * 0,605 * \left[E * \frac{t_1}{\left(\frac{d_c}{2}\right)} \right] \\
f_{cr} &= 0,15 * 0,605 \left[210.000 \frac{N}{mm^2} * \frac{0,361 mm}{\left(\frac{2400 mm}{2}\right)} \right] \\
f_{cr} &= 0,573 \frac{N}{mm^2}
\end{aligned}$$

5.6.2 Verificación por resistencia de materiales

$$P_{hmax} = \gamma_{arena} * h$$

Donde;

P_{hmax} = Presión horizontal máxima.

γ_{arena} = Densidad de la arena.

h = altura de la tolva

$$P_{hmax} = 1.701 \frac{Kg}{m^3} * 1,807 m$$

$$P_{hmax} = 3.073 \frac{Kg}{m^2}$$

$$P_{hmax} = 3.073 \frac{Kg}{m^2} * \frac{9,81 N}{1 Kg} * \frac{1 m^2}{1 \times 10^6 mm^2}$$

$$P_{hmax} = 0,0301 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{P_{hmax} * r}{t}$$

$$\sigma_1 = \frac{0,0301 \frac{N}{mm^2} * 1.200 mm}{0,307 mm}$$

$$\sigma_1 = 117,65 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{P_{hmax} * r}{2t}$$

$$\sigma_2 = \frac{0,0301 \frac{N}{mm^2} * 1.200 mm}{2 * 0,307 mm}$$

$$\sigma_2 = 58,82 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(117,65 \frac{N}{mm^2})^2 + (58,82 \frac{N}{mm^2})^2 - 117,65 \frac{N}{mm^2} * 58,82 \frac{N}{mm^2}}$$

$$\sigma_{eq} = 101,887 \frac{N}{mm^2}$$

Como se puede evidenciar el esfuerzo equivalente es menor que el esfuerzo de fluencia del acero A36; por lo tanto, se comprueba por resistencia de materiales que el espesor garantiza que la tolva resistirá las cargas que ejerce la arena.

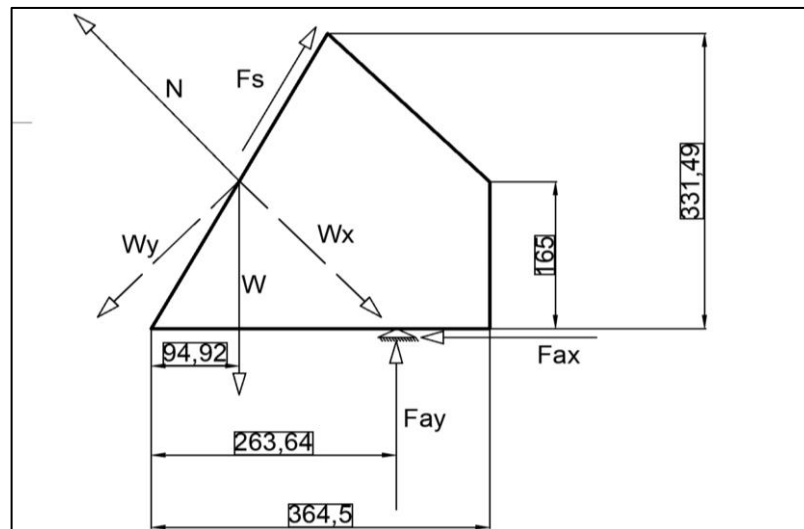
El electrodo seleccionado para realizar la soldadura es el AWS E6011, el método para aplicar la soldadura es con electrodo revestido, siendo este el más económico, debido a que la tolva no está sometida a grandes esfuerzos, la letra E significa que es un electrodo de arco eléctrico, el número 60 nos indica que su resistencia es de 60108 lb/in² o su equivalencia a sistema internacional de 0,413 MPa, el número 1 indica que esta soldadura se puede aplicar en todas las posiciones, y por último el número 3 indica que el electrodo se puede usar con corriente alterna y continua.

El esfuerzo aplicado en la tolva es de 32.102,57Pa, lo cual es menor que la resistencia a la tracción del electrodo, que corresponde a 413.685Pa, es decir que el electrodo es el adecuado para esta aplicación.

5.7 CÁLCULO DE ANCLAJES.

Este procedimiento se realiza partiendo que el anclaje esta empotrado en uno de sus extremos, a continuación, se muestra el diagrama de cuerpo libre y sus reacciones.

Figura 29. Diagrama de cuerpo libre del anclaje de la tolva



Fuente: elaboración propia

Donde;

N = Fuerza normal

W= Peso
W_x= Componente en X
W_y= Componente en Y
Fr= Fuerza de fricción
X= Angulo de la pendiente
μ= Coeficiente de fricción

Cálculo de fuerza normal

$$N = m \cdot g \cdot \cos(x)$$
$$N = 21749 \text{ N} \cdot \cos(60)$$
$$N = 10874,5 \text{ N} = W_y$$

Cálculo de componente en X

$$W_x = W \cdot \sin(x)$$
$$w_x = 21749 \text{ N} \cdot \sin(60)$$
$$W_x = 18835,186 \text{ N}$$

Cálculo de fuerza de fricción

$$F_r = \mu \cdot N$$
$$F_r = 0,74 \cdot 10874,5 \text{ N}$$
$$F_r = 8047,18 \text{ N}$$

Cálculo del momento en A

$$\sum MA = 0$$

$$-MA + 0.09492W + 0.65W = 0$$

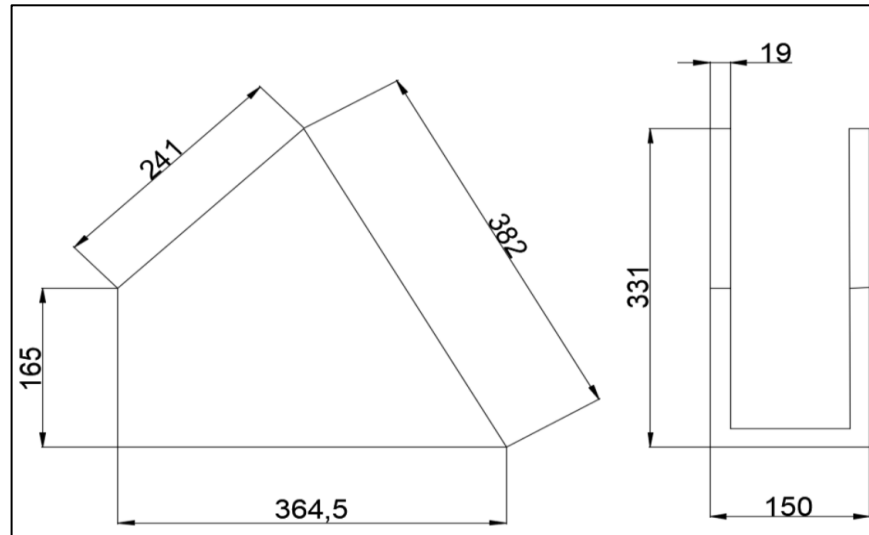
$$MA = 0,09492m (21.749 \text{ N}) + 0,165m (21.749 \text{ N})$$

$$MA = 5.653 \text{ Nm}$$

5.7.1 Cálculo soldadura de anclajes. El análisis de la soldadura se realiza en la pieza más crítica de la máquina.

Para este cálculo se siguió el procedimiento general para diseñar uniones soldadas, expuesta en el libro de Diseño de elementos de máquinas de Robert Mott.

Figura 30. Dimensiones del anclaje



Fuente: elaboración propia

Para el cálculo de la soldadura, se debe determinar la geometría de la unión a soldar como se muestra en la figura 30 y de esta manera se determinan los esfuerzos que se desarrollan en esta.

Los 21749.42 N son el peso de la tolva y el material almacenado y la distancia que hay de donde inicia la soldadura hasta donde termina el perfil.

Los tipos de cargas que actúan sobre la soldadura son cortantes y de flexión, a dichas cargas se les hace el cálculo de fuerza sobre pulgada de soldadura mediante las siguientes ecuaciones:

$$f_s = \frac{v}{A_w}$$

Donde;

F_s= Fuerza cortante vertical

A_w= Dimensiones de soldadura

V= Carga

$$f_b = \frac{M}{S_w}$$

Donde;

M= Momento máximo sobre la viga

Sw= Factor geométrico a flexión

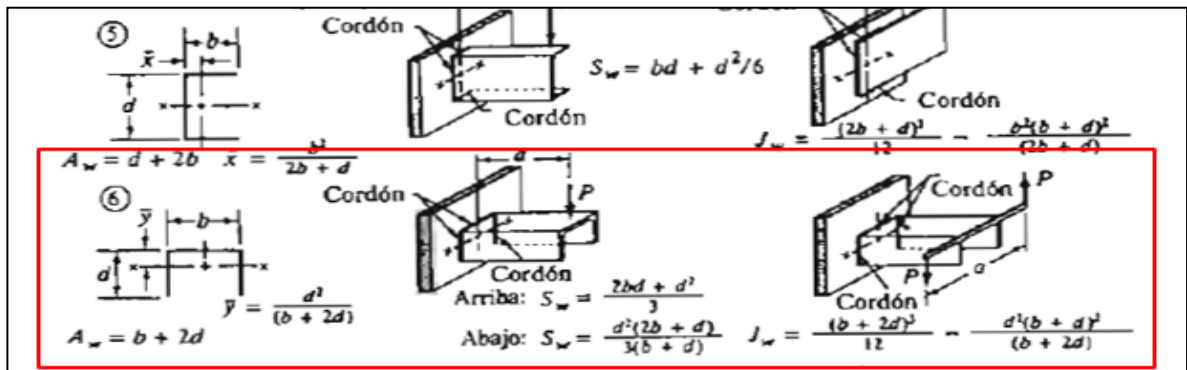
A continuación, se escoge el tipo de electrodo a utilizar, en el caso de la estructura, se cuenta con un acero estructural A36 y como está en la figura, el tipo de electrodo será el E60.

Figura 31. Esfuerzos cortantes admisibles sobre soldaduras

A. Acero									
Tipo de electrodo	Metales típicos que se unen (grado ASTM)				Esfuerzo cortante admisible				
E60	A36, A500				18 ksi (124 MPa)				
E70	A242, A441				21 ksi (145 MPa)				
E80	A572, Grado 65				24 ksi (165 MPa)				
E90					27 ksi (186 MPa)				
E100					30 ksi (207 MPa)				
E110					33 ksi (228 MPa)				
B. Aluminio									
Aleación de aporte									
		1100		4043		5356		5556	
Esfuerzo cortante admisible									
Metal unido	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi
1100	3.2	22	4.8	33					
3003	3.2	22	5.0	34					
6061			5.0	34	7.0	48	8.5	59	
6063			5.0	34	6.5	45	6.5	45	

MOTT, Robert L., et al. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson educación, S.A, 2006. 4ta Ed, página 786

Figura 32. Selección del tipo de soldadura según su geometría.



Fuente: MOTT, Robert L., et al. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson educación, S.A, 2006. 4ta Ed, página 786

Se tomó este perfil debido a que la estructura soporta dos cargas, el peso del material almacenado (arena) y el peso mismo de la tolva, pero en el caso de la soldadura se tendría que dividir las cargas ya que la tolva estará soportada sobre tres anclajes separados a 120° uno del otro.

Como la soldadura va en los costados y el factor geométrico que sirve es el número 6 y la forma de hallar A_w y S_w es la siguiente;

$$A_w = b + 2d$$

$$A_w = 152 \text{ mm} + 2(333 \text{ mm}) = 818 \text{ mm}$$

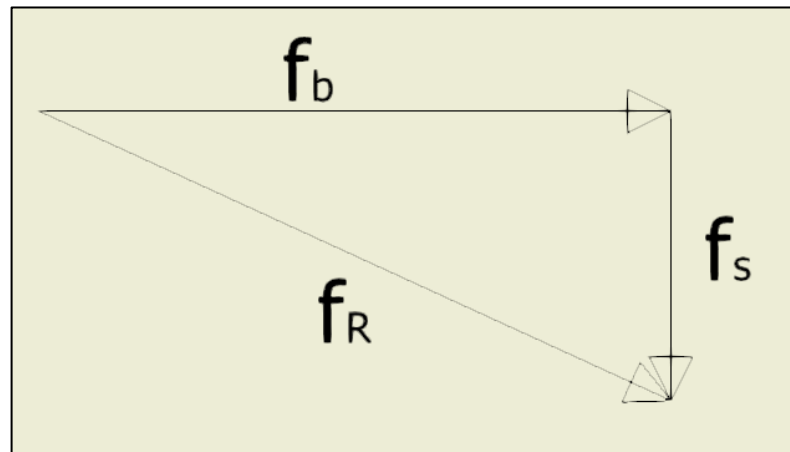
$$A_w = 818 \text{ mm}$$

$$S_w = \frac{d^2(2b + d)}{3(b + d)}$$

$$S_w = \frac{333 \text{ mm}^2(2(152 \text{ mm}) + 333 \text{ mm})}{3(152 \text{ mm} + 333 \text{ mm})} = 48547.28 \text{ mm}^2$$

$$S_w = 48547.28 \text{ mm}^2$$

Figura 33. Fuerza resultante



Fuente: Elaboración propia

Tomando como base el libro de Diseño de elementos de máquinas de Robert Mott, para encontrar la fuerza resultante se debe hacer un análisis de fuerzas que actúan sobre la soldadura como se ve en la figura 33.

Fuerza cortante

$$f_s = \frac{v}{A_w}$$
$$f_s = \frac{21749.42 \text{ N}}{818 \text{ mm}} = 26.64 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Factor de esfuerzo flexión

$$f_b = \frac{M}{S_w}$$
$$f_b = \frac{21749.42 \text{ N} \times 371.51 \text{ mm}}{48547.28 \text{ mm}^2}$$
$$f_b = 166.78 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Fuerza resultante

$$f_R = \sqrt{f_s^2 + f_b^2}$$
$$f_R = \sqrt{\left(26.64 \frac{\text{N}}{\text{mm}}\right)^2 + \left(166.78 \frac{\text{N}}{\text{mm}}\right)^2}$$
$$f_R = 168.89 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_R = 168.89 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times \frac{0.2248 \text{ Lb}}{1 \text{ N}} \times \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 964.37 \frac{\text{Lb}}{\text{in}}$$

Por último, se halla el diámetro del cordón de soldadura en base a la siguiente ecuación;

$$w = \frac{f_R}{\text{Fuerza admisible} \frac{\text{lb}}{\text{in}}}$$

La fuerza admisible se seleccionó de la siguiente tabla;

Figura 34. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras

Grado ASTM del metal base	Electrodo	Esfuerzo cortante admisible	Fuerza admisible por pulgada de lado
Estructuras de edificios:			
A36, A441	E60	13 600 psi	9600 lb/pulg
A36, A441	E70	15 800 psi	11 200 lb/pulg

Fuente: MOTT, Robert L., et al. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson educación, S.A, 2006. 4ta Ed

$$w = \frac{964.37 \frac{Lb}{in}}{9600 \frac{Lb}{in}}$$

$$w = 0.100 \text{ in} \times \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 2,55 \text{ m}$$

Figura 35. Diámetros de electrodo

electrodo Pulg. - mm	Longitud Pulg. - mm	Amperaje Min. - Max.
3/32" - 2,4mm	14" - 350mm	40 Amp a 60 Amp
1/8" - 3,2mm	14" - 350mm	60 Amp a 80 Amp
5/32" - 4,0mm	14" - 350mm	80 Amp a 120 Amp
3/16" - 4,8mm	14" - 350mm	120 Amp a 180 Amp
1/4" - 6,4mm	18" - 450mm	180 Amp a 300 Amp

Fuente: WEST ARCO. [sitio web]. BOGOTA: Diámetros de electrodo. [13-08-2019]. Disponible en: <https://www.westarco.com/westarco/sp/index.cfm>

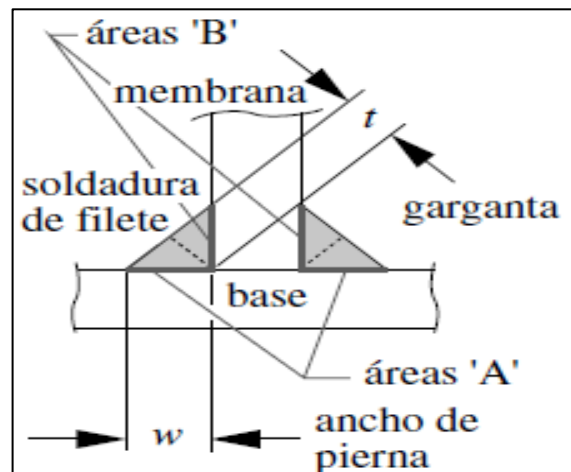
Para el proceso de soldadura de los anclajes a la tolva se requiere un diámetro normalizado de soldadura correspondiente a un electrodo de 1/8 in.

Se verifica si la pieza fallará en el metal base fundido como se evidencia en la figura 35. Existen dos áreas de interés: las áreas entre las soldaduras y la base, identificadas como áreas 'A', las cuales están en tensión, y las áreas entre las soldaduras y la membrana, identificadas como áreas 'B', las cuales están sometidas a cortante. Puesto que ambas tienen la misma área total y la resistencia al cortante del metal base es aproximadamente la mitad de su resistencia a la tensión, sólo se necesita verificar las áreas al cortante 'B' contra falla.

$$\tau_{xy} = \frac{v}{A_{fusión}}$$

$$N_{fluencia} = \frac{S_{s_y}}{\tau_{xy}}$$

Figura 36. Áreas sometidas a cortante y tensión



Fuente: NORTON, Robert L., et al. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson educación, S.A, 2006. 4ta Ed, página 786, página 801

Para la verificación de la soldadura se determina la resistencia permisible con base en el 30% del valor E_{xx} de este electrodo.

$$\tau_{permisible} = 0.3 E_{xx}$$

$\tau_{permisible}$ = resistencia permisible del electrodo

E_{xx} = resistencia del electrodo

$$\tau_{permisible} = 0,3 (60 \text{ ksi}) = 18 \text{ ksi}$$

Se calcula el área cortante necesaria en la garganta para limitar el esfuerzo a este valor.

$$\tau_{permisible} = \frac{v}{A_{cortante}}$$

v = Carga aplicada

$A_{cortante}$ = Área cortante

$$v = 21.749,42 \text{ N} \times \frac{1 \text{ Lbf}}{4,45 \text{ N}} = 4.889,463 \text{ Lbf}$$

$$A_{cortante} = \frac{4.889,46 \text{ Lbf}}{18.000 \text{ Psi}} = 0,271 \text{ in}^2$$

$$\tau_{xy} = \frac{v}{A_{fusión}} = \frac{v}{2Lw} = \frac{4.889,463 \text{ Lbf}}{2(15 \text{ in})(0,125 \text{ in})}$$

$$\tau_{xy} = 1.303,856 \text{ Psi}$$

$$N_{fluencia} = \frac{S_{sy}}{\tau_{xy}} = \frac{36.000 \text{ Psi}(0,577)}{1.303,856 \text{ Psi}}$$

$$N_{fluencia} = 15,93$$

τ_{xy} = Esfuerzo cortante

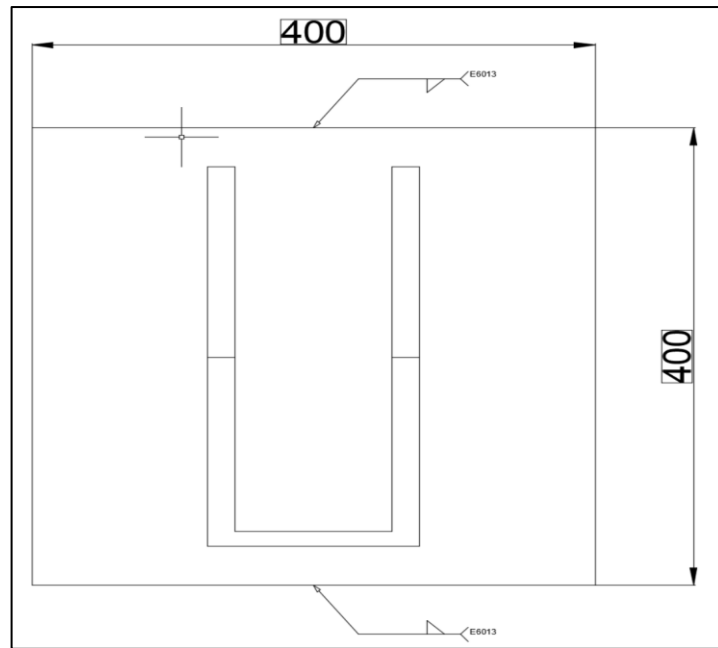
$N_{fluencia}$ = Factor de seguridad del esfuerzo por fluencia estática

S_{sy} = Límite elástico del acero A-36

5.8 CÁLCULO DE LA SOLDADURA DEL REFUERZO ESTRUCTURAL

Debido a que la lámina con la cual se fabrica la tolva presenta problemas provocados por un déficit de capacidad se refuerza externamente. Las láminas adheridas funcionarán como un exoesqueleto que absorberá el exceso de deformación al que no pueda hacer frente la tolva por sí misma.

Figura 37. Soldadura de la lamina



Fuente: elaboración propia

Para el cálculo de la soldadura, se debe determinar la geometría de la unión a soldar como se muestra en la figura 37 y de esta manera se determinan los esfuerzos que se desarrollan en esta.

Los 21.749,42 N son el peso de la tolva y el material almacenado y la distancia que hay al centro de la lámina.

Los tipos de cargas que actúan sobre la soldadura son cortantes y de flexión, a dichas cargas se les hace el cálculo de fuerza sobre pulgada de soldadura mediante las siguientes ecuaciones:

$$f_s = \frac{v}{A_w}$$

Donde;

Fs= Fuerza cortante vertical

Aw= Dimensiones de soldadura

V= Carga

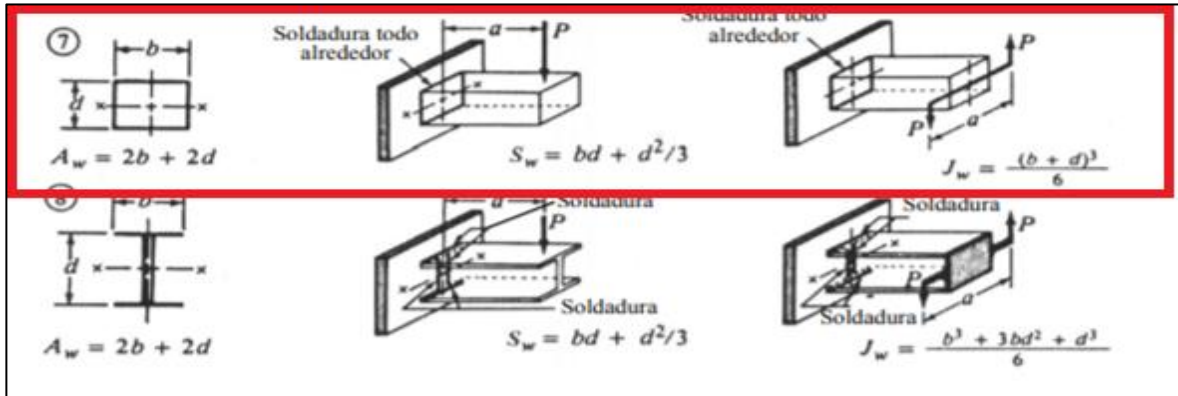
$$f_b = \frac{M}{S_w}$$

Donde;

M= Momento máximo sobre la viga

Sw= Factor geométrico a flexión

Figura 38. Selección del tipo de soldadura según su geometría.



Fuente: MOTT, Robert L., et al. Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson educación, S.A, 2006. 4ta Ed.

Como se pudo apreciar en la figura 38, la soldadura va alrededor del refuerzo y el factor geométrico que sirve es el número 7 y la forma de hallar A_w y S_w es la siguiente;

$$A_w = 2b + 2d$$

$$A_w = 2(400\text{mm}) + 2(400\text{mm})$$

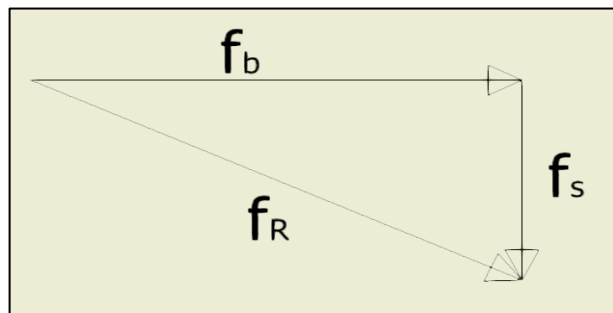
$$A_w = 1.600 \text{ mm}$$

$$S_w = bd + \frac{d^2}{3}$$

$$S_w = (400 \text{ mm} * 400 \text{ mm}) + \frac{400^2}{3}$$

$$S_w = 213.333,33 \text{ mm}^2$$

Figura 39. Fuerza resultante de la soldadura del refuerzo



Fuente: elaboración propia

Tomando como base el libro de Diseño de elementos de máquinas de Robert Mott, para encontrar la fuerza resultante se debe hacer un análisis de fuerzas que actúan sobre la soldadura como se ve en la figura 39.

Fuerza cortante

$$f_s = \frac{v}{A_w}$$

$$f_s = \frac{21.749,42 \text{ N}}{1.600 \text{ mm}} = 13,59 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Factor de esfuerzo flexión

$$f_b = \frac{M}{S_w}$$

$$f_b = \frac{21.749,42 \text{ N} \times 200 \text{ mm}}{213.333,33 \text{ mm}^2}$$

$$f_b = 20,39 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Fuerza resultante

$$f_R = \sqrt{f_s^2 + f_b^2}$$

$$f_R = \sqrt{\left(13,59 \frac{\text{N}}{\text{mm}}\right)^2 + \left(20,39 \frac{\text{N}}{\text{mm}}\right)^2}$$

$$f_R = 24,50 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$f_R = 139,91 \frac{\text{N}}{\text{mm}} \times \frac{0,2248 \text{ Lb}}{1 \text{ N}} \times \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 139,91 \frac{\text{Lb}}{\text{in}}$$

Por último, se halla el diámetro del cordón de soldadura en base a la siguiente ecuación;

$$w = \frac{f_R}{\text{Fuerza admisible} \frac{\text{lb}}{\text{in}}}$$

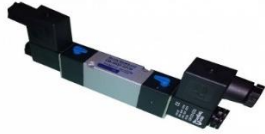




$$w = \frac{139,91 \frac{Lb}{in}}{9.600 \frac{Lb}{in}} = 0,014 in$$

$$w = 0.014 in \times \frac{25,4 mm}{1 in} = 0,3556 mm$$

5.8 DISEÑO DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO DE LAS COMPUERTAS

El sistema neumático que se implementaría requiere de los actuadores, de tal manera el diseño sea adaptable a el sistema que tiene actualmente la planta. Sin embargo, el cliente deberá garantizar la etapa de compresión. El cuadro 7 contiene el resumen de los componentes utilizados para la implementación de la instalación neumática de la máquina.

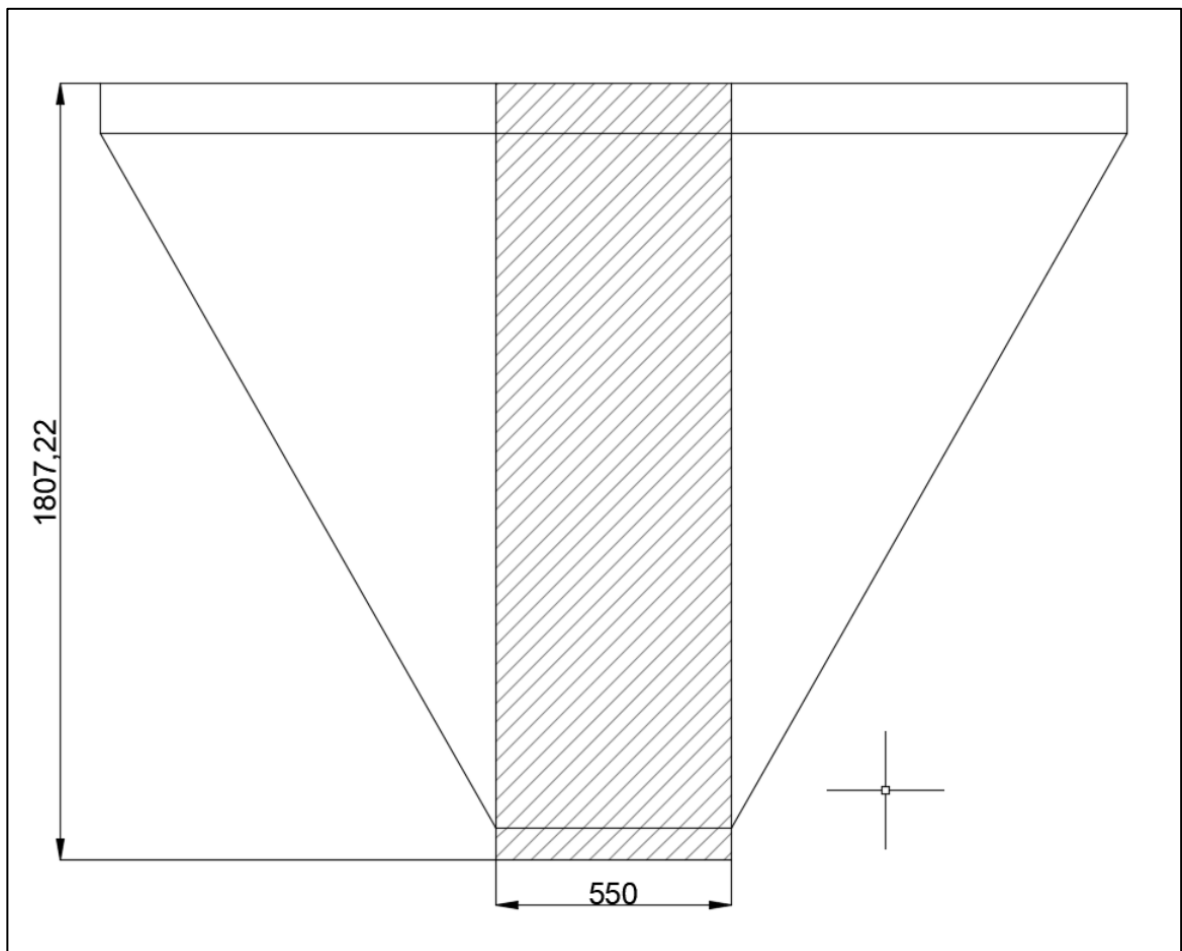
Cuadro 7. Componentes neumáticos del sistema de control

Cantidad	Elemento neumático	Detalle
4	Electroválvula 5/2 Biestable	
4	Cilindros doble efecto	
8	Final de carrera	
4	Racor T ¼ x 6 mm	
	Manguera Neumática	

Fuente. elaboración propia

5.8.1 Cálculo de los actuadores neumáticos: En este caso se utilizará dos cilindros neumáticos, los cuales realizarán la fuerza normal para la apertura de las compuertas de descarga de material de la tolva de acopio de arena. Este cálculo se realizará con base en el peso del material que está siendo soportado por la compuerta como se evidencia en la figura 40 y en la presión a la que trabaja el compresor que actualmente posee la planta dosificadora de concreto, que está entre los 6 Bar y 8 Bar.

Figura 40. Columna de arena soportada por la compuerta



Fuente. elaboración propia

$$W_{arena} = (H * A) * \rho_{arena}$$

$$W_{arena} = \left(1.807 \text{ m} * \left(\frac{\pi}{4} * (0,550 \text{ m})^2 \right) \right) * 1.701 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$W_{arena} = 730,26 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$$

$$W_{arena} = 7.163,850 \text{ N}$$

Donde;

W_{arena} = Peso de la arena

H= altura de la tolva

A = área de la boca de salida de la tolva

Se realiza el cálculo de la fuerza de arrastre para la compuerta neumática

$$F_d = \frac{1}{2} \rho_{arena} v^2 c_d A$$

Donde;

F_d = fuerza de arrastre

ρ_{arena} = Densidad de la arena

V = Velocidad de avance

C_d = esfera rugosa = 0.48

A = Área de la boca de salida

$$F_d = \frac{1}{2} * \left(1.701 \frac{\text{kg}}{\text{m}_3}\right) * \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * \frac{\pi}{4} (0,55\text{m})^2$$

$$F_d = 96,99 \text{ N}$$

Se calcula nuevamente la carga de la compuerta con la fuerza de arrastre;

$$P = W_{arena} + F_d$$

$$P = 7163,85\text{N} + 96,99\text{N}$$

$$P = 7260,84 \text{ N}$$

Se realizará el cálculo de la fuerza de rozamiento dinámico entre la compuerta neumática y la guía de la estructura;

$$F_r = \mu N$$

Donde;

F_r = Fuerza de Rozamiento

μ = Coeficiente de rozamiento entre acero y acero

N = Fuerza normal que ejerce la parte superior de la estructura sobre la compuerta

$$F_r = 0,018 * 7.163,850 N$$

$$F_r = 128,94 N$$

Para la selección del sistema neumático es necesario calcular primero la fuerza necesaria para superar la fricción de la compuerta, sabiendo el coeficiente de fricción estático acero-acero y la carga normal a la que está sometida el sistema se tiene;

$$F_{Req} = P_{Aplicada} * \mu_s$$

Dónde;

F_{Req} = Fuerza Requerida por el actuador

μ_s = Coeficiente de fricción estático Acero-Acero

$P_{Aplicada}$ = Carga aplicada sobre la compuerta

$$F_{Req} = 7.163,850 N * 0.74$$

$$F_{Req} = 5301.249 N$$

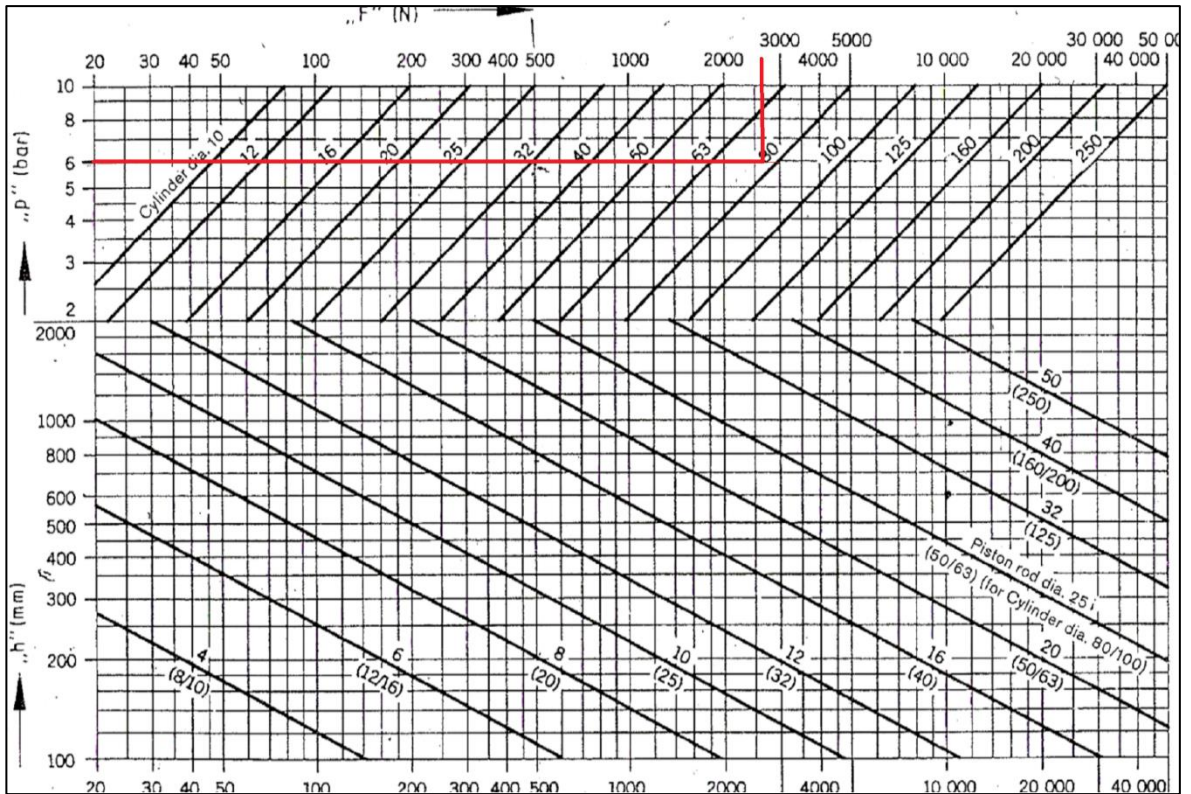
Debido a que la carga se distribuye en las dos compuertas la fuerza requerida para superar la fricción, se divide en la mitad dando como resultado;

$$F_{Req} = 2.650,624 N$$

Con base en los nomogramas se determinarán las características de los cilindros neumáticos que se requieren. Ya teniendo los datos de los elementos, se seleccionarán proveedores para los equipos necesarios.

Este procedimiento se realiza la figura 41, en el cual los datos de entrada son la presión de trabajo 6 Bar y una fuerza de 2.650, 62 N, con lo cual determina que el diámetro del embolo, dando como resultado un diámetro normalizado de 80 mm.

Figura 41. Prestaciones de los cilindros neumáticos



Fuente: MORALES GRANADOS, Miguel. Nomograma de neumática.

Sabiendo la carga requerida por el sistema y el diámetro del embolo se selecciona un cilindro neumático de doble efecto FESTO ISO DSBC-80-320-PPVA-N3 1383342 el cual cumple con las fuerzas de avance y retroceso necesarias para el accionamiento de las compuertas de la tolva de acopio.

Figura 42. Fuerzas de avance y retroceso para cilindros neumáticos

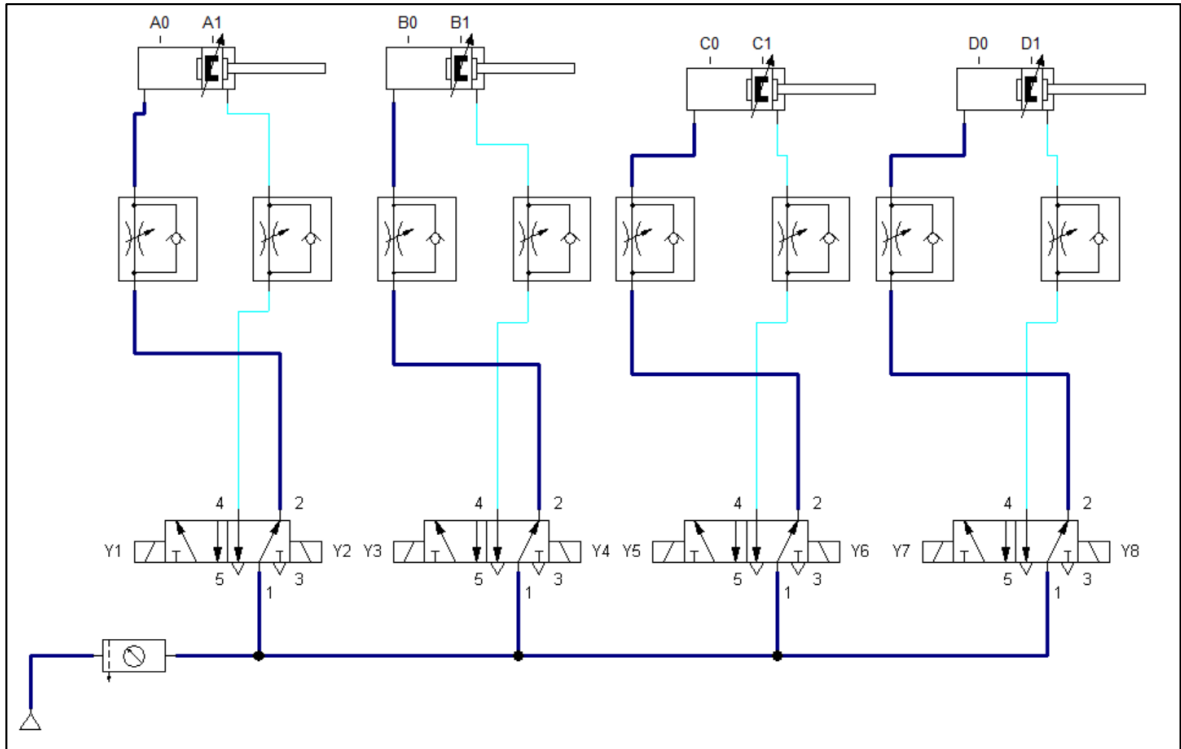
Fuerzas [N] y energía del impacto [J]							
Diámetro del embolo	32	40	50	63	80	100	125
Fuerza teórica con 6 bar, avance	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	415	633	990	1682	2721	4418	6881
Energía máx. de impacto en las posiciones finales							
DSBC-...	0,4 ¹⁾	0,7	1,0	1,3	1,8	2,5	3,3
DSBC-...L/-U/-T1/-T3/-T4	0,2 ¹⁾	0,35	0,5	0,65	0,9	1,25	1,65
DSBC-...L1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,9	1,25	1,65

Fuente: FESTO. [sitio web]. BOGOTA: Cilindros normalizados DSBC ISO 15552. [13-08-2019]. Disponible en: https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/DSBC_ES.PDF

5.9 DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE PESO

Se realizaron los montajes neumáticos junto con la automatización empleando el método GRAFCET; teniendo en cuenta cada puerto que será necesario en la programación del PLC; la realización de estos montajes se desarrolló en el programa FLUIDSIM.

Figura 43. Circuito neumático para dosificación de arena



Fuente: elaboración propia

En la figura 43 se evidencian 4 cilindros neumáticos que son los encargados del accionamiento de las compuertas, donde A y B corresponden a la tolva de acopio de arena y C y D corresponden a la tolva de pesaje.

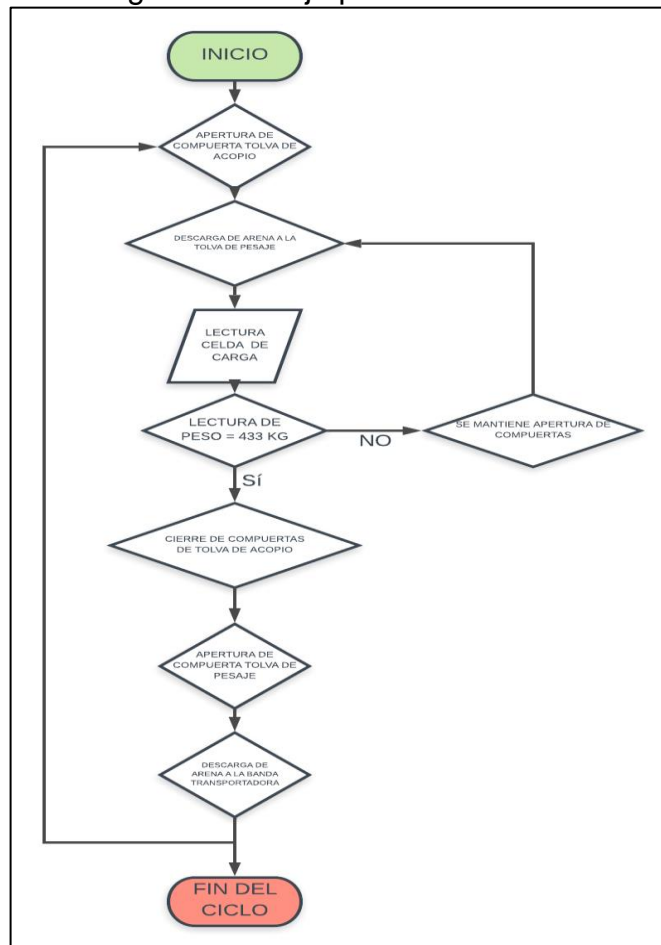
El control del peso se hace mediante celdas de carga tipo shear beam esta es la encargada de traducir la fuerza en una señal de voltaje (celda de carga analógica).

La celda de carga consiste en un metal que sufre una deformación conforme se le aplica una fuerza. Al metal, se le adhieren galgas extensométricas. Las galgas extensométricas consisten en un metal que al flexionarse varía su resistencia. La señal de voltaje entregada es en el orden de milivolts. Este voltaje se representa comúnmente proporcional al voltaje de alimentación y a máxima carga (capacidad de la celda).

La señal de la celda se lleva a un convertidor análogo-digital para convertirla a un valor numérico digital, este valor se multiplica por un factor para convertirlo a unidades de pesaje en kilogramos y que es el que se evidencia en el tablero de mando de la planta dosificadora de concreto.

Partiendo del diagrama de flujo para la dosificación de arena el proceso cuenta con dos opciones, las cuales son necesarias para la programación del PLC. La primera opción es que después de la apertura de las compuertas de la tolva de acopio carguen a la tolva de pesaje 433 kg. La segunda opción sería que la tolva de pesaje de no alcance esta cantidad de arena.

Figura 44. Diagrama de flujo para la dosificación de arena



Fuente: elaboración propia

El proceso de dosificación inicia con la apertura de la compuerta de la tolva de acopio permitiendo la descarga de la arena y el pesaje de esta mediante las celdas de carga, donde si se cumple la condición de haber pesado 433 Kg se accionarán los cilindros neumáticos para así cerrar las compuertas de la tolva de

acopio. Posterior a esto se accionarán las compuertas de la tolva de pesaje para iniciar con la descarga del material a la banda transportadora.

En caso de no cumplir con esta condición se mantendrán las compuertas de la tolva de acopio abiertas para lograr los 433 Kg que son necesarios para una correcta dosificación de la arena.

Teniendo claras las dos condiciones que podrían suceder durante el proceso se realiza el Grafcet para ambas condiciones. Debido a que el programa FLUIDSIM no cuenta con un elemento que simule la celda de carga, se reemplazó por un pulsador el cual hace la función de la señal que envía la celda de carga cuando ya se ha llenado la tolva de pesaje con la cantidad de arena requerida.

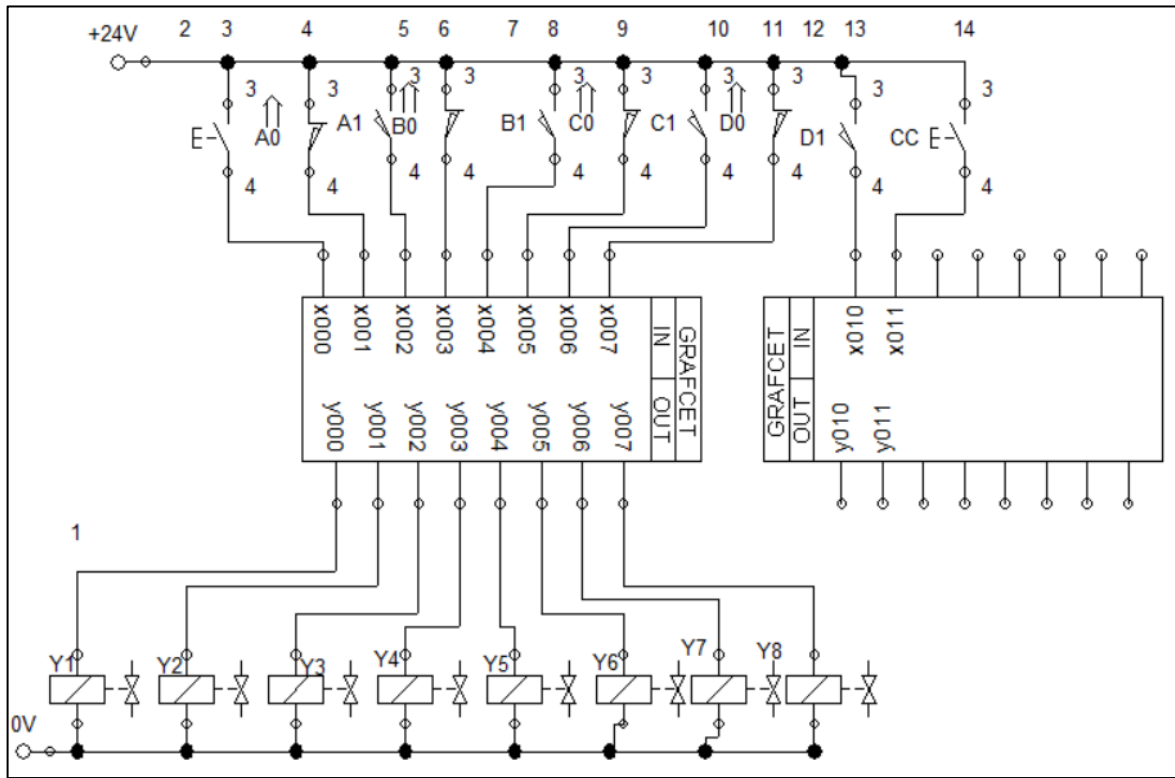
Se realizó una designación a las entradas y salidas del PLC. Esta designación se muestra en el cuadro 8

Cuadro 8. Entradas y salidas del PLC

Entradas			Salidas		
PLC input	Designación	Descripción	PLC output	Designación	Descripción
x000	Int 1	Interruptor de inicio	y000	Y1	Cilindro A In
x001	A0	Sensor inicio de carrera	y001	Y2	Cilindro A OUT
x002	A1	Sensor final de carrera	y002	Y3	Cilindro B IN
x003	B0	Sensor inicio de carrera	y003	Y4	Cilindro B OUT
x004	B1	Sensor final de carrera	y004	Y5	Cilindro C IN
x005	C0	Sensor inicio de carrera	y005	Y6	Cilindro C OUT
x006	C1	Sensor final de carrera	y006	Y7	Cilindro D IN
x007	D0	Sensor inicio de carrera	y0007	Y8	Cilindro D OUT
x010	D1	Sensor final de carrera			
x011	CC	Celda de Carga			

Fuente: elaboración propia

Figura 45. Conexión PLC

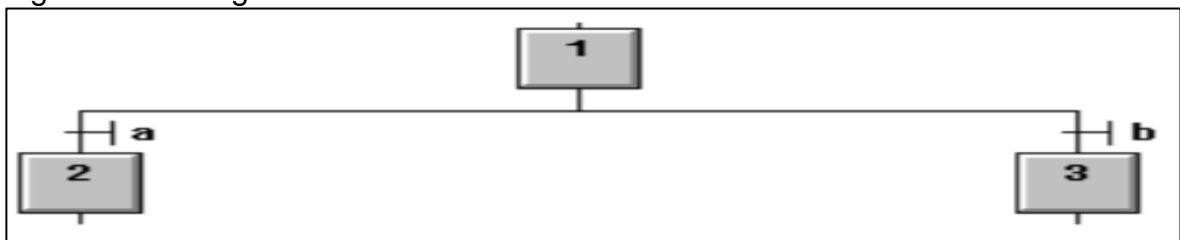


Fuente: elaboración propia

Para realizar la correcta programación de la celda de carga, se emplearon las reglas de evolución en GRAFCET, en este caso se empleó la divergencia en O.

Cuando la etapa 1 está activa, según se cumpla la receptividad asociada a la transición a o la receptividad asociada a la transición b, pasará a ser activa la etapa 2 o bien la etapa 3 respectivamente.

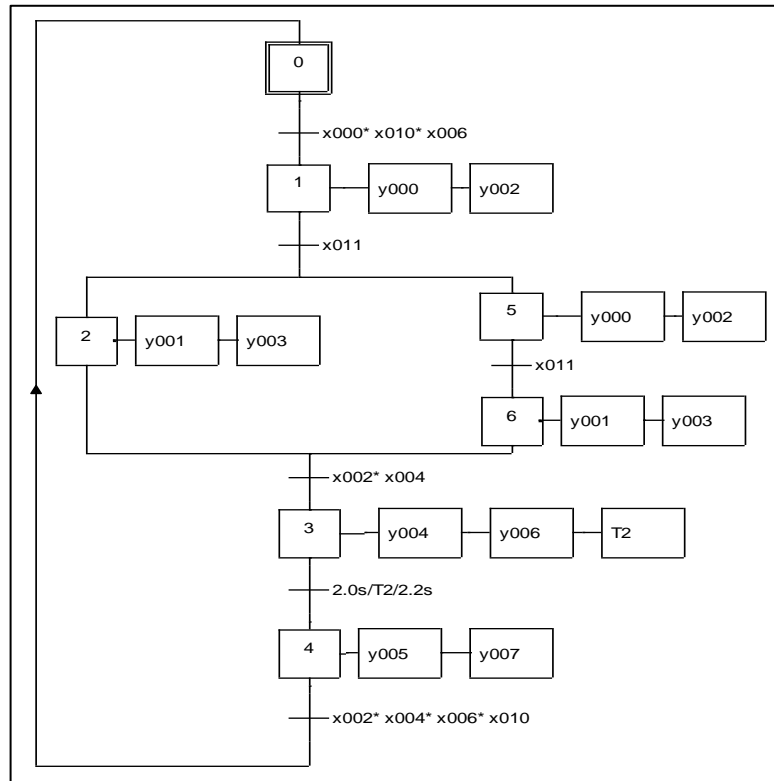
Figura 46. Divergencia O



Fuente: GENIA. [sitio web]. Resumen sobre Grafcet. [13-08-2019]. Disponible en: http://isa.uniovi.es/docencia/iea/teoria/grafcet_resumen.pdf

Basados en las dos condiciones del proceso de dosificación que pueden suceder durante el funcionamiento de la celda, se tiene el caso de divergencia en O, el cual se muestra en la figura 47.

Figura 47. Algoritmo de programación de dosificación por GRAFCET



Fuente: elaboración propia

6. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

En este capítulo se analizará por elementos finitos con el software Autodesk Inventor Professional 2019 la tolva y la estructura para verificar que ningún elemento presente fallas.

6.1 SIMULACIÓN DE LA TOLVA

Finalizado el diseño de la tolva de acopio para la arena se realiza un análisis por elementos finitos.

A continuación, se presentan los resultados del análisis, los datos de la tolva como conjunto y las propiedades del acero seleccionado.

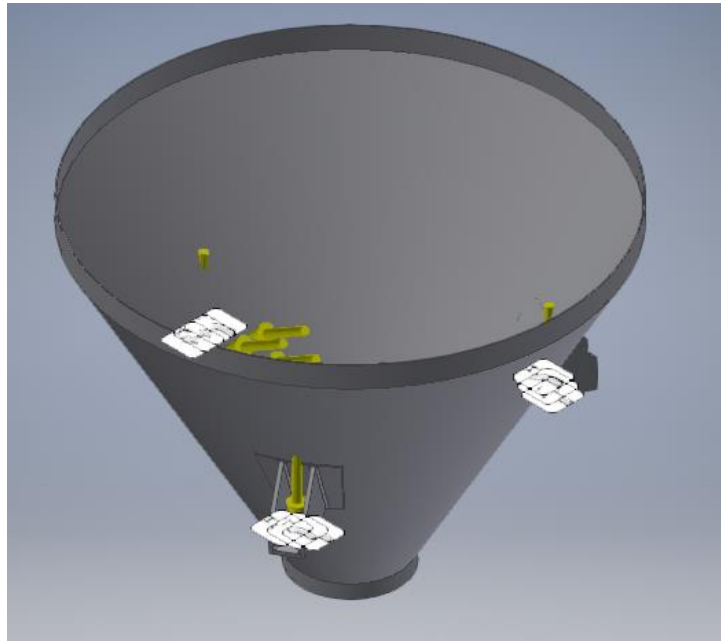
Cuadro 9. Propiedades del material y la estructura

Material	Acero ASTM A36
Límite de fluencia	250 MPa
Densidad	7.850 Kg/m ³
Masa de la tolva	418,15 Kg
Peso total de la tolva	4.102,05 N
Masa del material	6.233,051 Kg
Peso total del material	61.146,23 N
Peso total	65.248,28 N

Fuente: elaboración propia

Para el análisis por elementos finitos de la tolva, se procede a simularla en condiciones de operación. Por lo tanto, se sitúa una presión de 3.273,5614 kgf/m² (32.102,57 Pa) en toda la superficie interna de la tolva, esta debida al material almacenado que produce una presión sobre las paredes de la tolva. Posteriormente Se aplican tres cargas de 21.749,42 N las cuales son ejercidas en los tres puntos de anclaje de la tolva al chasis de la planta y que corresponden al peso total de la tolva y el peso total del material almacenado dentro de la misma (arena).

Figura 48. Cargas aplicadas en la tolva



Fuente. elaboración propia

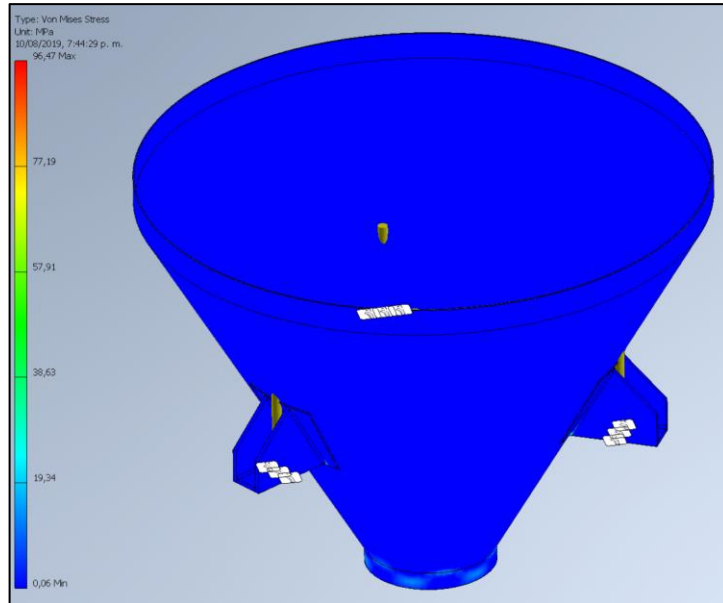
Una vez simulada la estructura bajo las cargas y restricciones presentes en ella se obtuvieron los siguientes resultados;

6.1.1 Resultado de esfuerzos. En la figura 49 se muestra el análisis de esfuerzo de la tolva, en el cual se evidencia el esfuerzo von mises, con el fin de calcular el factor de seguridad, siendo este de $96,47 \text{ Mpa}$, de tal manera que el factor de seguridad por esfuerzo cortante en el punto más crítico de la estructura se relaciona el máximo esfuerzo Von Mises con la resistencia a la fluencia del material.

$$FS = \frac{\sigma_f}{\sigma_{max}} = \frac{250 \text{ MPa}}{96,47 \text{ Mpa}} = 2.59$$

Demostrando así que el espesor de lámina seleccionado es el idóneo para soportar la carga ya que admite el esfuerzo provocado por esta hasta 2 veces mayor.

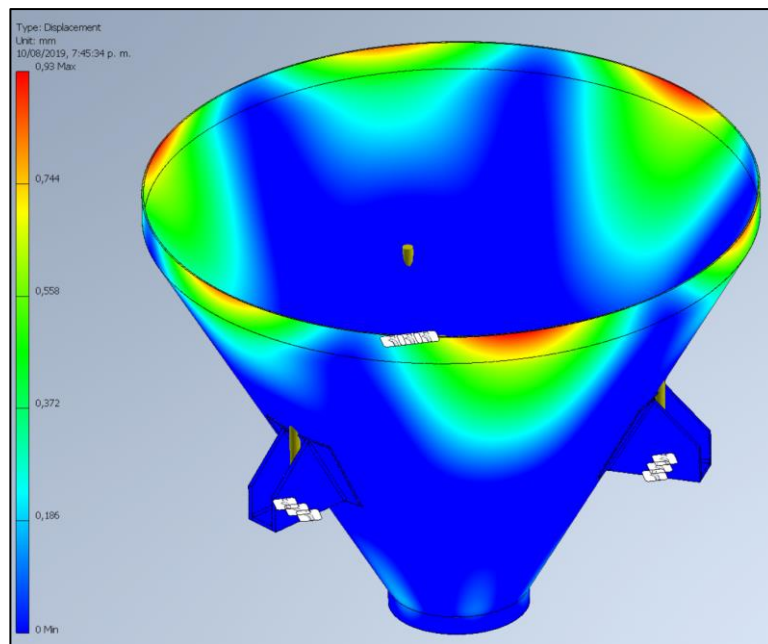
Figura 49. Esfuerzo Von Mises de la tolva



Fuente. elaboración propia

6.1.2 Desplazamiento. Una vez realizada la simulación, se obtiene un desplazamiento de 1.037mm en la boca de carga de la tolva. En el área de color rojo (ver Figura 50) se puede observar los puntos en los cuales se presentan los mayores desplazamientos.

Figura 50. Desplazamiento de la tolva



Fuente. elaboración propia

6.2 SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA PLANTA

Para la simulación de la estructura se tomarán en cuenta los tres anclajes de la tolva los cuales serán soldados al chasis de la planta de concreto. Para la carga que será de 65.248,28 N (6651.101 Kgf) que es el peso de la tolva más el material almacenado (arena), es decir que se aplican cargas de 21749.42 N las cuales son ejercidas en los tres puntos de anclaje de la tolva al chasis de la planta.

Figura 51. Cargas aplicadas en el chasis



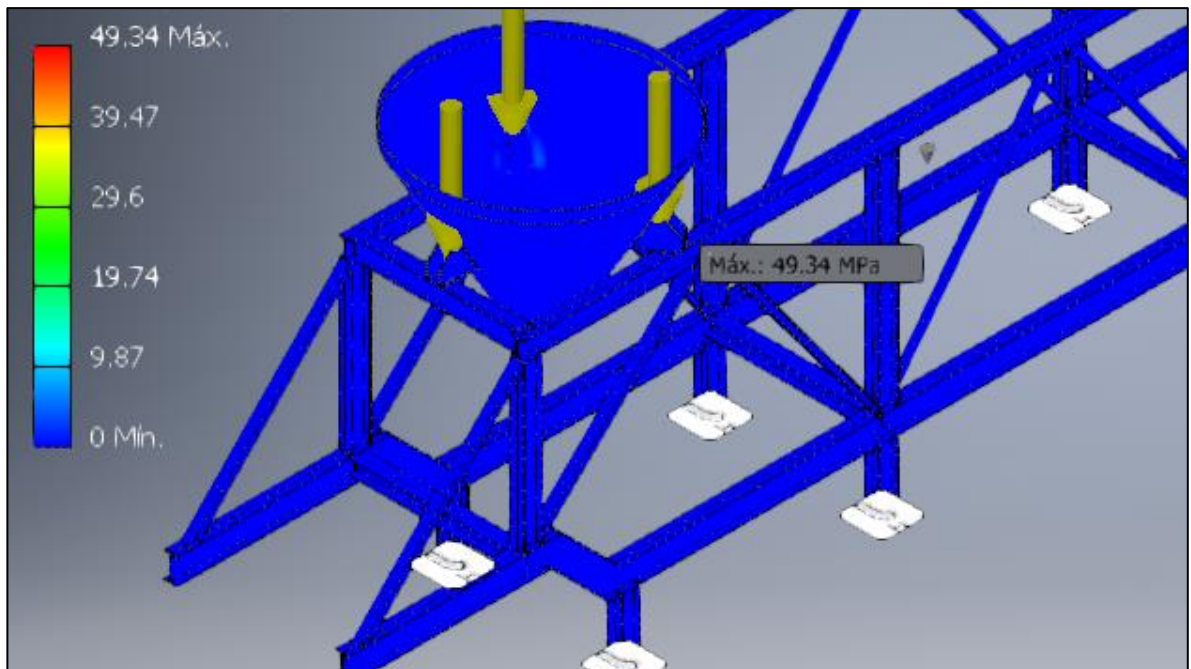
Fuente: elaboración propia

Una vez simulada la estructura bajo las cargas y restricciones presentes en ella se obtuvieron los siguientes resultados;

6.2.1 Resultado de esfuerzos. A partir del análisis se obtiene un valor máximo de tensión igual a 49.34 MPa. el cual se compara con el esfuerzo de fluencia del material que es de 250 *Mpa*.

Demostrando así que la estructura con la que cuenta actualmente la planta dosificadora de concreto resiste las cargas que genera la nueva tolva debido al material almacenado y al peso de esta.

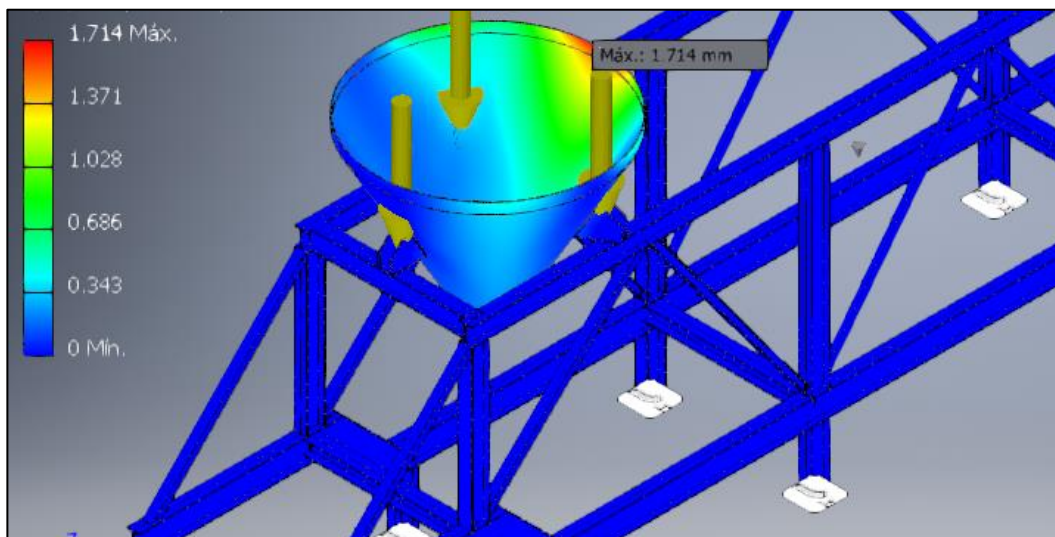
Figura 52. Esfuerzo Von Mises del chasis



Fuente: elaboración propia

6.2.2 Resultados desplazamiento del chasis. Al realizar la simulación se observa que el chasis no presenta ningún desplazamiento, mientras, la tolva presenta un desplazamiento máximo de 1.714 mm en la boca de carga de la tolva (ver figura 53).

Figura 53. Desplazamiento del chasis



Fuente: elaboración propia

6.2.3 Resultados factor de seguridad. Para determinar el factor de seguridad por esfuerzo cortante en el punto más crítico de la estructura se relaciona el máximo esfuerzo Von Mises con la resistencia a la fluencia del material. Para ello se utiliza el esfuerzo de 49.34Mpa

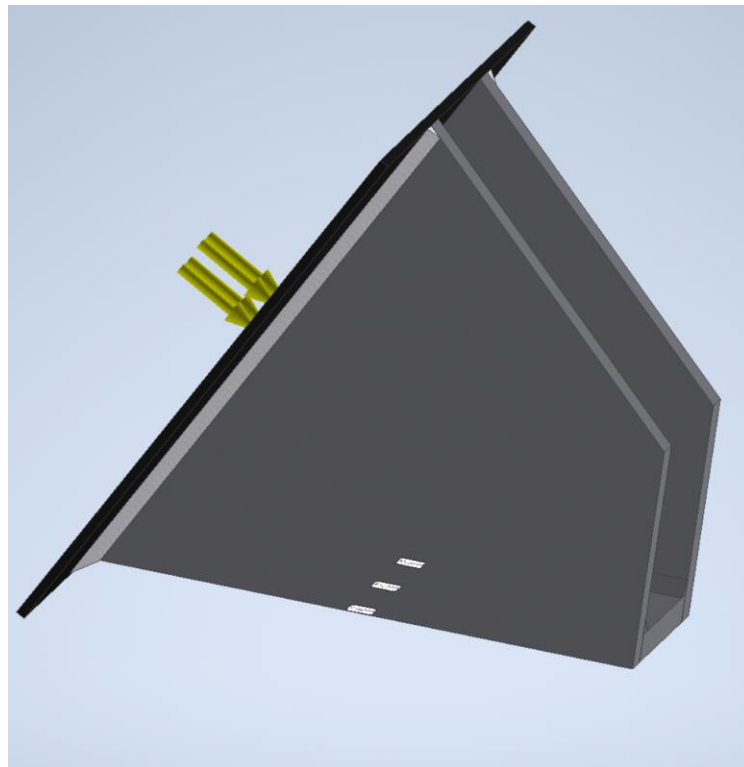
$$FS = \frac{\sigma_f}{\sigma_{max}} = \frac{250 \text{ MPa}}{49.34 \text{ MPa}} = 5.06$$

El factor de seguridad obtenido es mayor a 5 lo que garantiza que la estructura soportará las cargas ejercidas por la tolva cónica de arena.

6.3 SIMULACIÓN DE LOS ANCLAJES DE LA TOLVA

Para la simulación de los anclajes se simulará tanto el soporte como la lámina de refuerzo, con el fin de evidenciar el comportamiento de estos cuando están sometidos al peso del material almacenado y el peso total de la tolva, es decir que se aplican cargas de 21749.42 N las cuales son ejercidas como se evidencia en la figura 54.

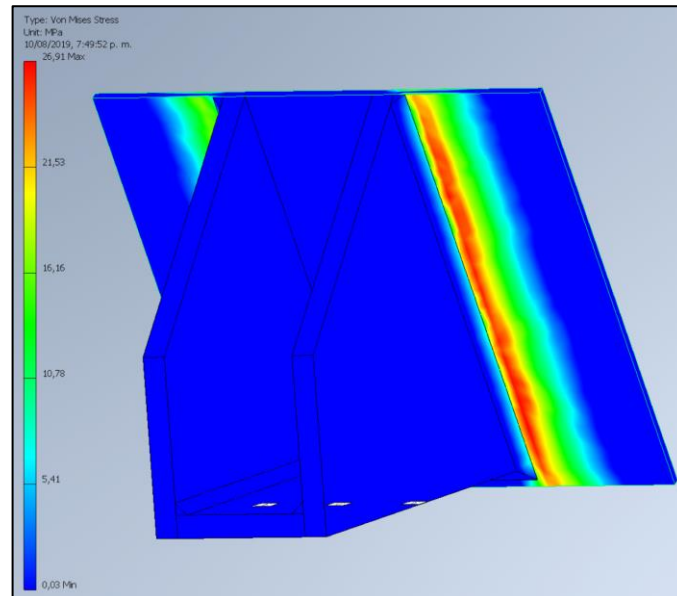
Figura 54. Cargas aplicadas a los anclajes



Fuente: elaboración propia

6.3.1 Resultado de esfuerzos. A partir del análisis se evidencia en la zona roja de la imagen 55 que el esfuerzo Von Mises máximo es de 29,91 Mpa en la zona de la soldadura entre la lámina de refuerzo y el anclaje

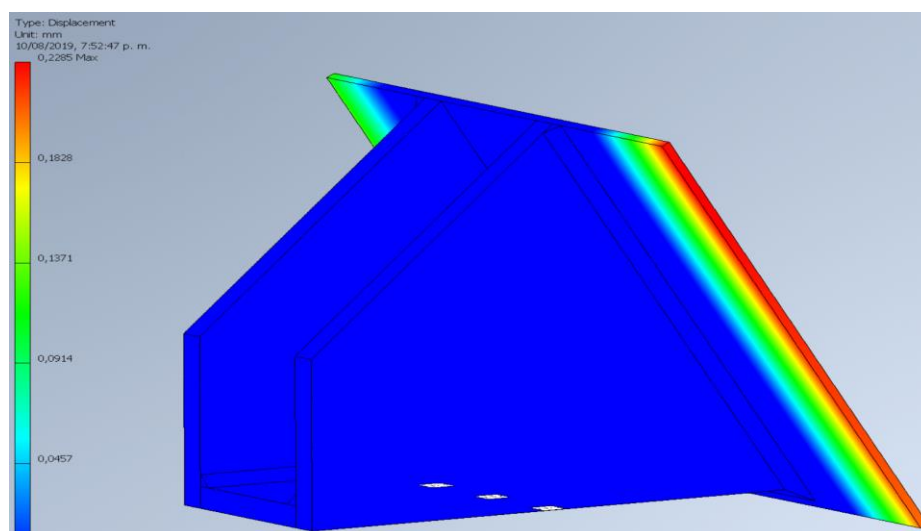
Figura 55. Esfuerzo Von Mises de los anclajes



Fuente: elaboración propia

6.3.2 Resultados desplazamiento de los anclajes. Al realizar la simulación, se obtiene un desplazamiento máximo de 0,00720 mm (ver figura 56) de color rojo se marca el área en las cuales se presenta los mayores desplazamientos.

Figura 56. Desplazamiento de los anclajes



Fuente: elaboración propia

6.4 SIMULACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA COMPUERTA

El propósito de analizar la estructura por este método es para determinar la resistencia de la estructura diseñada de forma detallada ya que no hay un método definido para calcular la deformación a la cual está sometida, de acuerdo con los perfiles empleados para su fabricación.

Para la simulación de la estructura que soporta la compuerta se tomarán en cuenta los dos anclajes los cuales serán soldados a la tolva de acopio de arena. Ver figura 56

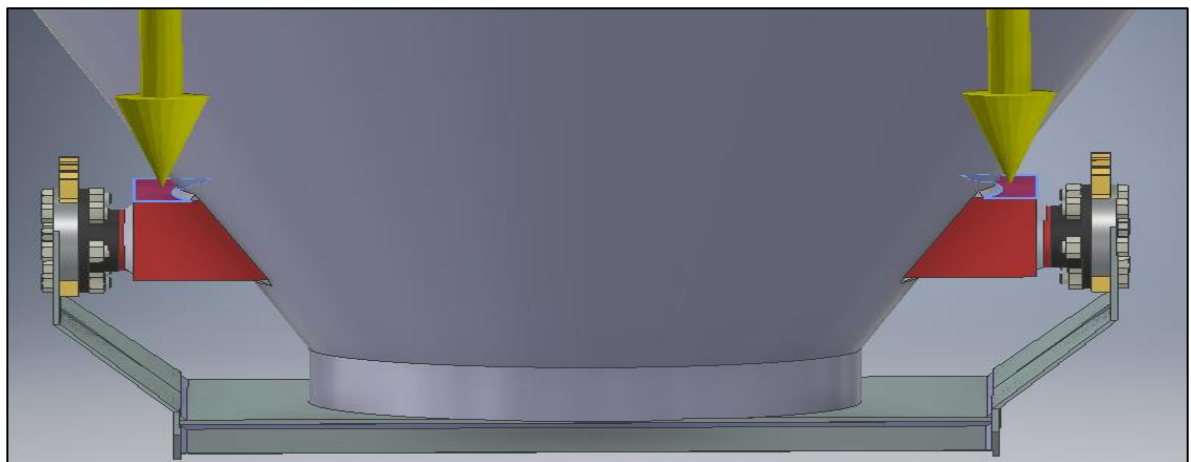
La carga será de 61.146,23 N (6.233,051 Kgf) que es el peso del material almacenado dentro de la tolva(arena), es decir que se aplican cargas de 30.573,11 N las cuales son ejercidas en la estructura de la compuerta a la tolva como se aprecia en la figura 57.

Figura 57. Anclajes de la compuerta



Fuente: elaboración propia

Figura 58. Cargas aplicadas a la estructura de la compuerta

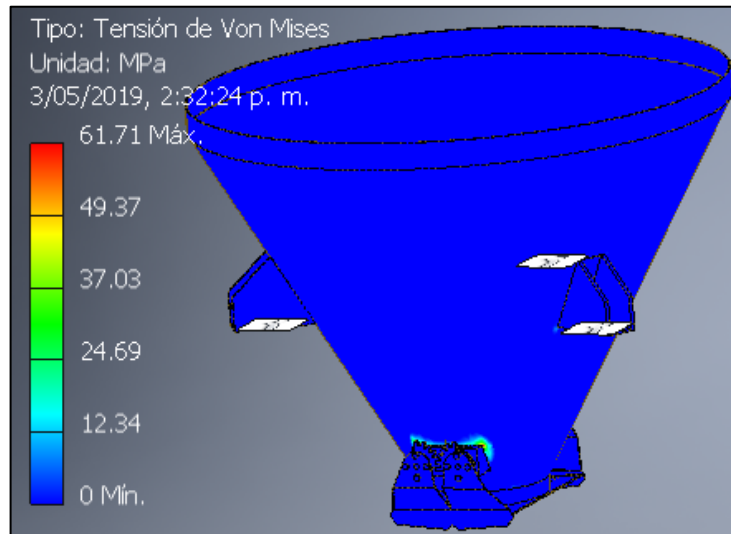


Fuente: elaboración propia

Una vez simulada la estructura bajo las cargas y restricciones presentes en ella se obtuvieron los siguientes resultados;

6.4.1 Resultado de esfuerzos. La mayor concentración de esfuerzo se encuentra en una de la soldadura entre la estructura que soporta la compuerta y la tolva. El esfuerzo máximo en la estructura es de 61,71MPa, siendo este valor menor comparado con el esfuerzo de fluencia del material con el que está hecho el perfil que son 250 MPa, por esta razón el esfuerzo resultante no compromete la integridad estructural de la compuerta y tampoco de los elementos que componen esta.

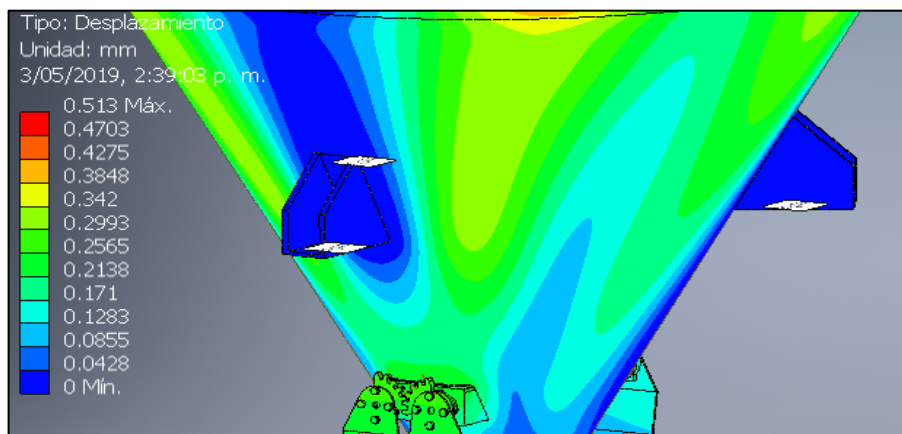
Figura 59. Esfuerzo Von Mises de la tolva



Fuente: elaboración propia

6.4.2 Resultados desplazamiento de la estructura. La estructura presenta un desplazamiento máximo de 0,299 mm en la lámina superior de la estructura de la compuerta. Se obtuvo el desplazamiento máximo al cual están sometidos los diferentes componentes de la compuerta.

Figura 60. Desplazamiento de la estructura



Fuente: elaboración propia

6.4.3 Resultados factor de seguridad. Para determinar el factor de seguridad por esfuerzo cortante en el punto más crítico de la estructura se relaciona el máximo esfuerzo Von Mises con la resistencia a la fluencia del material. Para ello se utiliza el esfuerzo de 61,71 MPa

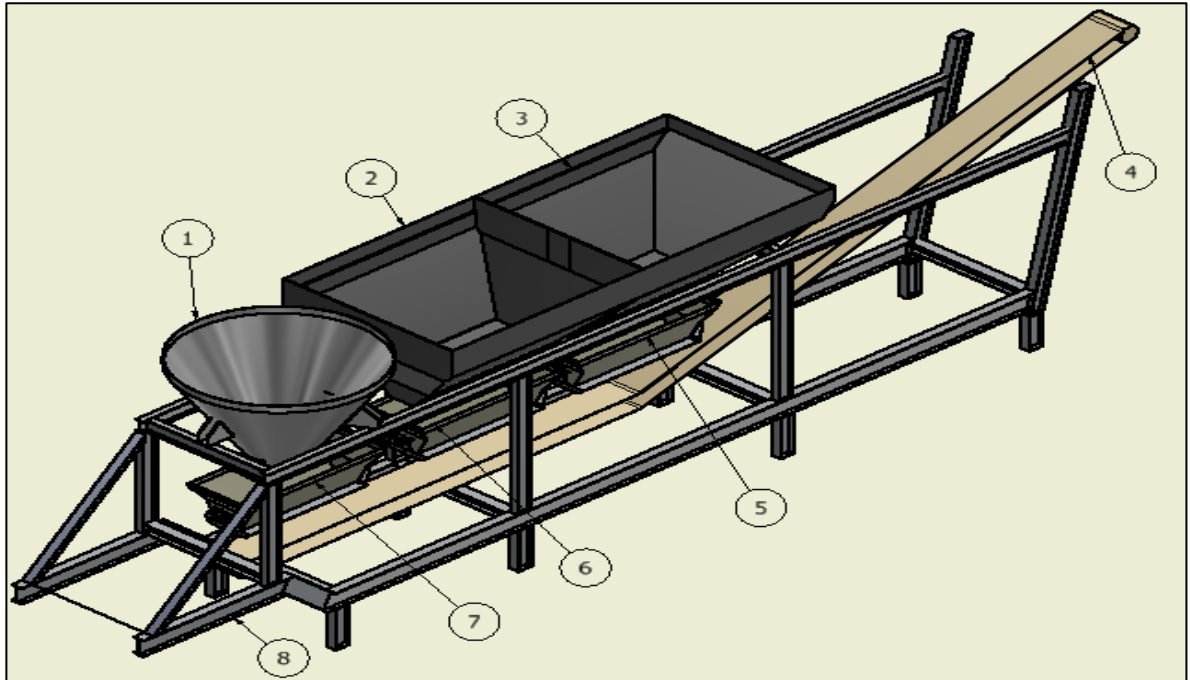
$$FS = \frac{\sigma_f}{\sigma_{max}} = \frac{250 \text{ MPa}}{61,71 \text{ MPa}} = 4,05$$

7. MANUALES DE OPERACIÓN E INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.1 MANUAL DE OPERACIÓN

Como se observa en la figura 61 y 62, estos son los componentes principales de la planta dosificadora de concreto:

Figura 61. Partes de la planta dosificadora de concreto



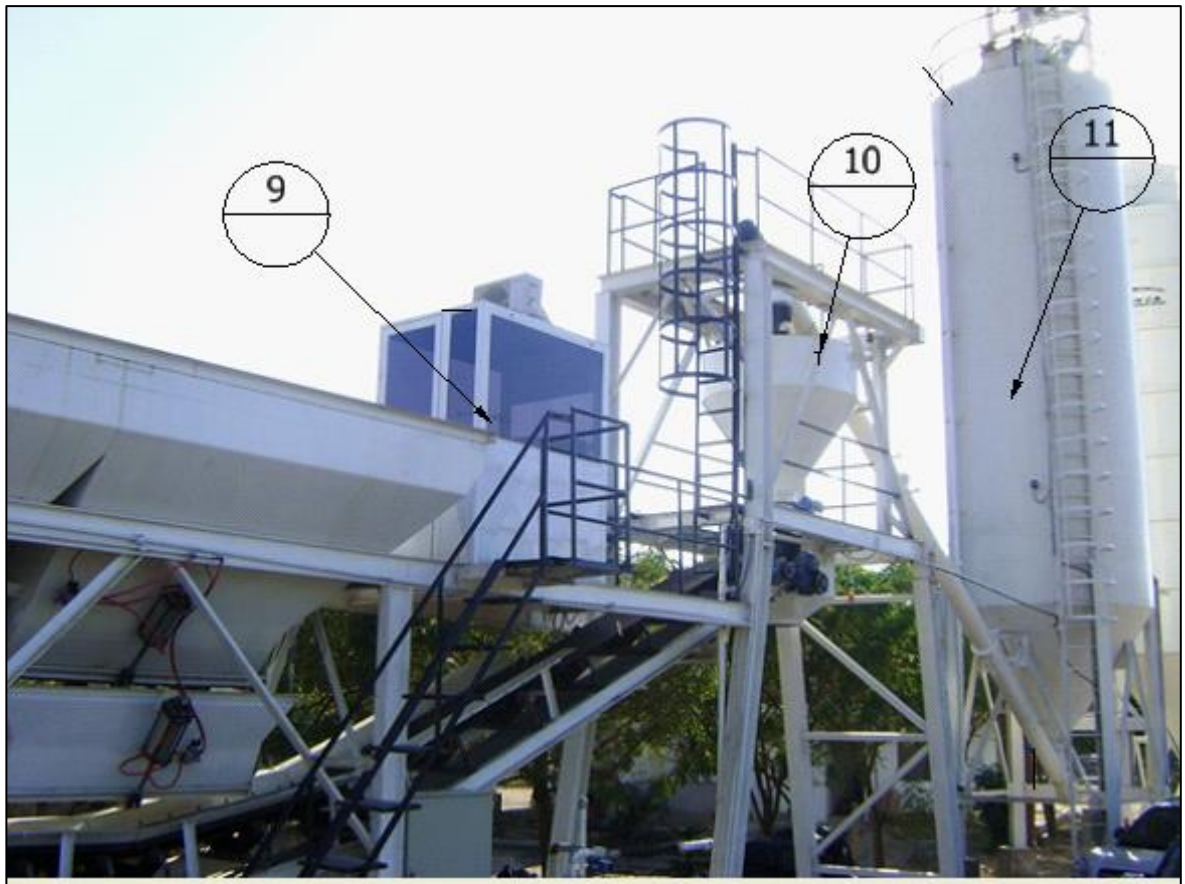
Fuente. elaboración propia

Cuadro 10. Partes de la planta dosificadora de concreto

Número del elemento	Nombre del elemento
1	Tolva de arena
2	Tolva de grava 3/4"
3	Tolva de grava 3/8"
4	Banda transportadora
5	Tolva de pesaje grava 3/4"
6	Tolva de pesaje grava 1/2"
7	Tolva de pesaje arena
8	Chasis
9	Cabina de mando
10	Tolva de pesaje de cemento
11	Silo de cemento

Fuente: elaboración propia

Figura 62. Dosificación de cemento



Fuente: elaboración propia

Elementos de protección personal:

- ✓ Guantes, tapabocas, gafas y tapa oídos.

ADVERTENCIA: Antes de iniciar labores se debe realizar una inspección visual de la máquina verificando aspectos importantes como:

- ✓ Estabilidad de la máquina (Bien anclada)
- ✓ Verificar que las tolvas de almacenaje de materias primas estén en las condiciones óptimas de operación
- ✓ Verificar que la máquina este energizada

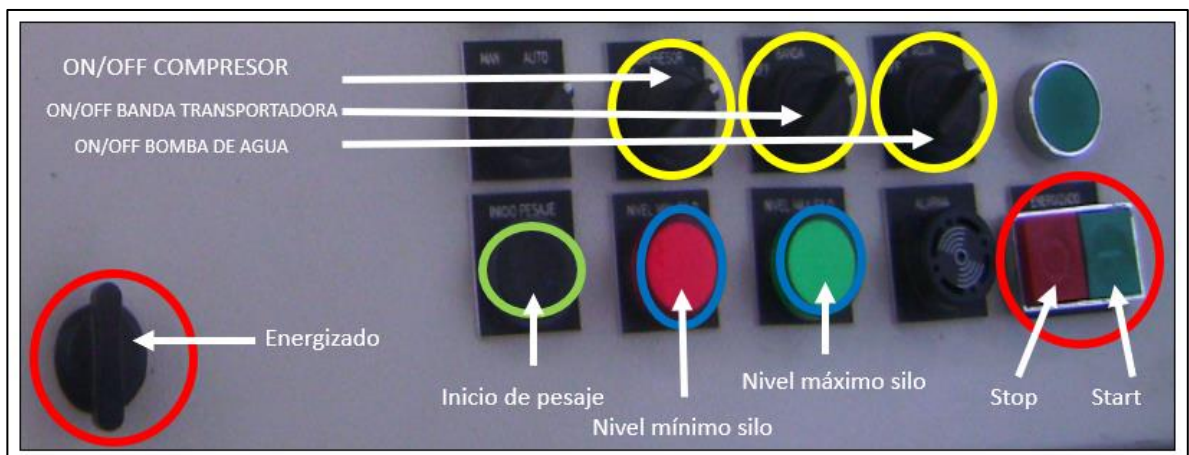
La inspección es netamente visual, cualquier problema en el encendido se debe comunicar con el fabricante.

7.1.2 Procedimiento de operación. Es importante que antes de poner en funcionamiento la máquina se identifiquen los componentes que la van a accionar. En este numeral se describen los procedimientos que llevan a poner en marcha el equipo.

7.1.2.1 Encendido. El tablero de mando cuenta con una muetilla de dos posiciones retenida la cual permite el paso, en posición ON de el voltaje de alimentación para la consola.

Para poder accionar los motores de la planta se requiere que el tablero este energizado, para lo cual cuenta con un pulsador doble lo cual energiza o des energiza los diferentes elementos de maniobra de la planta.

Figura 63. Encendido de la planta



Fuente. Elaboración propia

El tablero cuenta con una muetilla retenida la cual permite operar la planta ya sea en modo manual o en modo automático.

Se debe tener presente que una vez se energiza el tablero y la planta de concreto para iniciar el proceso de producción se deben encender los motores de la banda transportadora, la bomba de agua y el compresor.

7.1.2.2 Abastecimiento de materia prima. El proceso de abastecimiento de materia prima lo realiza un operario con ayuda de un cargador de pala que deposita los agregados al interior de las tolvas respectivamente, como se evidencia en la figura 62.

7.1.2.3 Dosificación. Para empezar a producir se requiere que el compresor, la banda y la bomba de agua estén en operación. El proceso de dosificación se inicia con la apertura de la compuerta por medio de un interruptor desde las tolvas de agregados que contienen arena y gravilla de diferentes tamaños, a las tolvas de pesaje; el control se ejerce por medio de celdas de carga las cuales envían la información que se evidencia en el display para cada una de las tolvas de pesaje, como se observa en la figura. Simultáneamente se está pesando el cemento de la misma forma que los agregados.

Figura 64. Control de pesaje de materias prima



Fuente. elaboración propia

Figura 65. Display de control de pesaje



Fuente. elaboración propia

El agua se controla igual que la dosificación de agregados o de cemento con la diferencia de que este no se maneja por peso sino por caudal.

Una vez pesados los agregados se descargan a la banda transportadora la cual lo lleva directamente al mixer para el posterior mezclado y transporte del concreto. En el caso del cemento la descarga después de pesado se hace directamente al mixer. En el proceso de medición de agua esta llega directamente al mixer desde el principio del proceso.

7.2 MANUAL DE INSTALACIÓN

Como se muestra en la figura 66 y 67, el procedimiento de instalación de las tolvas se debe llevar a cabo con los elementos de seguridad necesarios y siguiendo los pasos que posteriormente se mencionaran.

Los operarios deben usar las siguientes herramientas y elementos de protección personal:

Herramientas y elementos de protección personal:

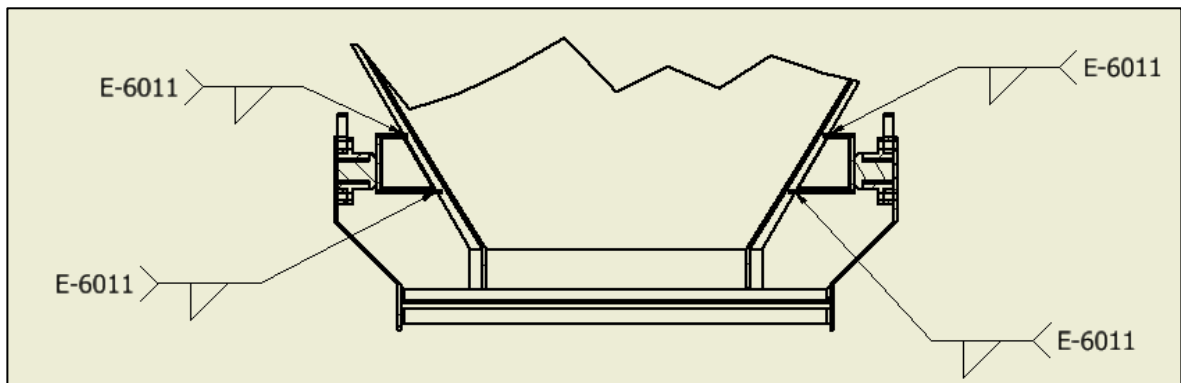
- ✓ Botas punta de acero, gafas, guantes
- ✓ Máquina de soldar, Electrodo E 6011 1/8, careta fotosensible, guantes en carnaza, extensión (220V o 110V), escalera

NOTA: Se sugiere que la estructura este bien anclado

7.2.1 Procedimiento de instalación de la compuerta

1. Tomar la estructura de la compuerta y ubicarla cerca de la boca de salida de la tolva. Luego situarse de tal manera que se ajuste los soportes para proceder a soldar. Ver figura 66

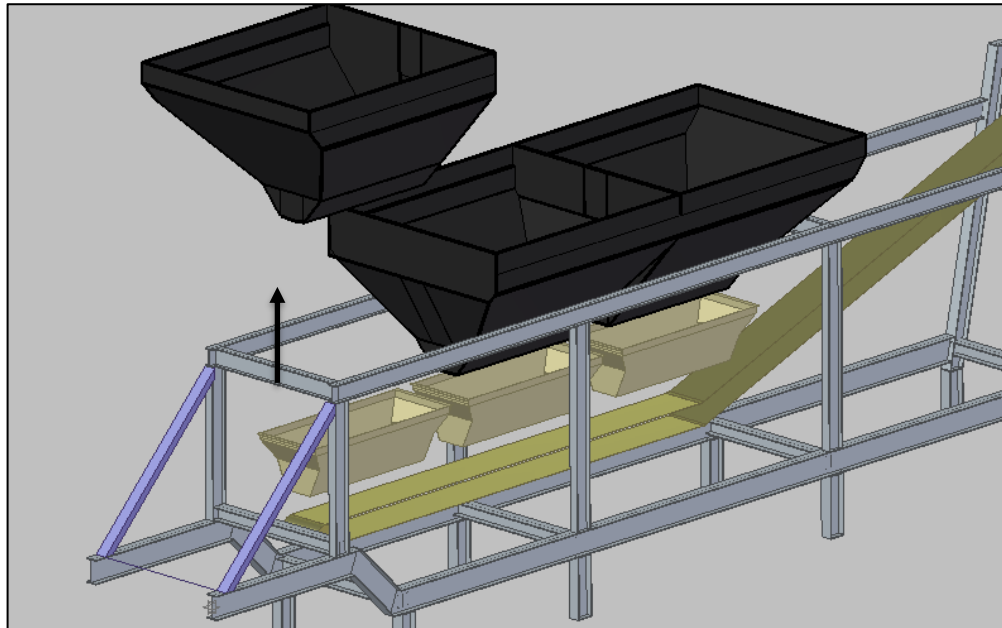
Figura 66. Soldadura de la estructura de la compuerta con la tolva



Fuente. elaboración propia

7.2.2 Procedimiento de instalación. La máquina se instala en dos pasos, primero se retira la tolva de acopio de arena que es la que será sustituida por la tolva cónica ver figura 67.

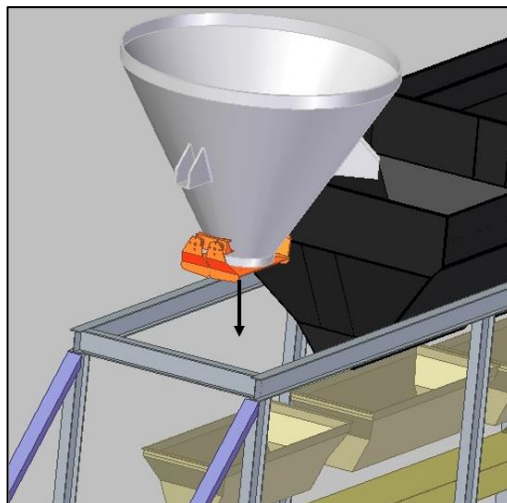
Figura 67. Expulsión de la tolva de arena.



Fuente. elaboración propia

Segundo paso se verifica que la nueva tolva de acopio tenga soldada la compuerta ver figura 68.

Figura 68. Instalación de la tolva cónica

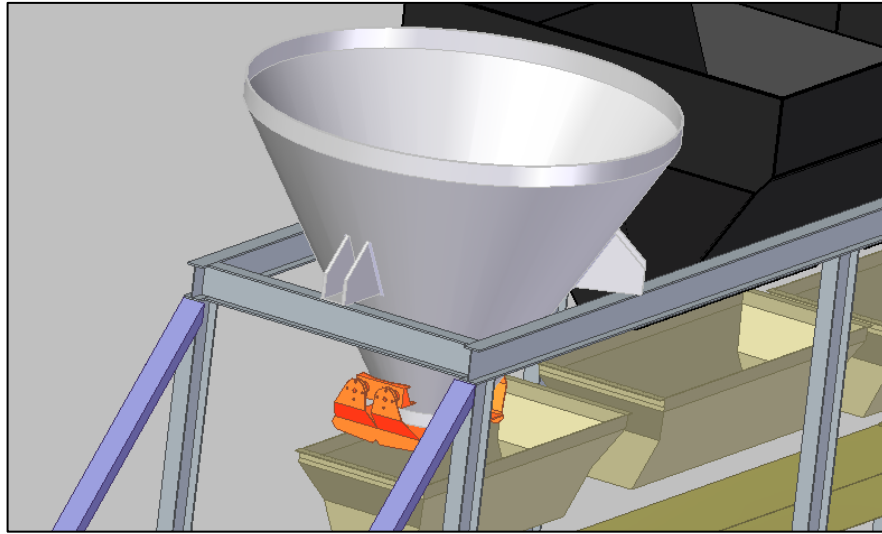


Fuente. elaboración propia

7.2.3 Procedimiento de instalación de la tolva

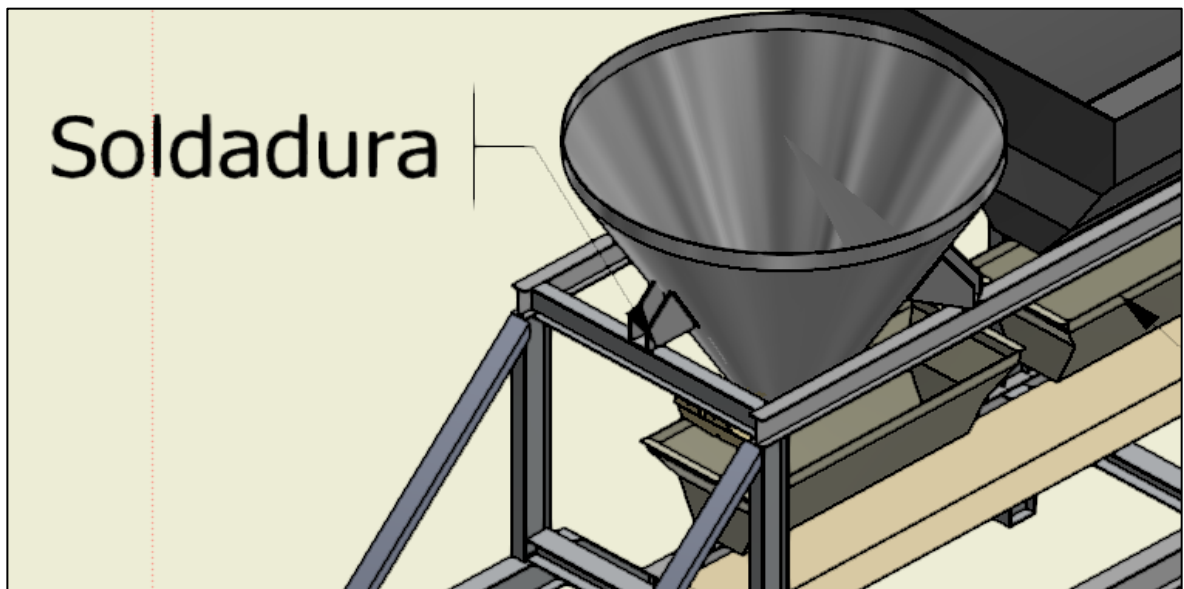
1. Tome la estructura de la tolva con la grúa y coloque sobre el chasis en el cual anclará la tolva como se evidencia en la figura 69. Luego situarla de tal manera que los soportes queden dispuestos para aplicar la soldadura ver figura 70.

Figura 69. Ubicación de la tolva cónica



Fuente. elaboración propia

Figura 70. ubicaciones las soldaduras



Fuente. elaboración propia

Las soldaduras se aplican en las caras externas de los tres anclajes de la tolva de acopio, seguido se realiza un recubrimiento con anticorrosivo para proteger la soldadura del ambiente.

7.3 MANUAL DE MANTENIMIENTO

En este capítulo se define y describe detalladamente las actividades destinadas a garantizar un óptimo funcionamiento del sistema de dosificación, estas labores de mantenimiento se basan en inspeccionar y mantener limpios los elementos que componen el mecanismo de dosificador. La buena práctica de esos procedimientos periódicamente garantiza que la maquina tenga una vida útil prolongada y un eficiente funcionamiento.

Los siguientes cuadros detallan el manual de mantenimiento, en ellos se destacan las labores que se le deben realizar a cada uno de los elementos claves del dosificador, también se define la herramienta que se debe emplear y el procedimiento a seguir para realizarlo de forma correcta.

El funcionamiento de la máquina consta de 2 sistemas;

- ✓ Alimentación: Este sistema corresponde al lugar donde se vierte la arena
- ✓ Dosificación: Una vez se recibe el producto en la tolva de alimentación este pasa a la compuerta posteriormente a la celda de pesaje

Cuadro 11. Actividades de mantenimiento

Sistema	Sub sistema	Actividad	Instrumento	Frecuencia
Alimentación	Tolva de alimentación	Inspección	Visual	Diario
		Inspección	Tintas penetrantes	Semestral
		Limpieza	Cepillo	Diario
	Cilindros hidráulicos	Inspección	Visual	Diario
		Limpieza	Cepillo blando	Semanal
		Lubricación	Aceitera	Semestral
	Compresor	Inspección	Visual	Semanal
Dosificación	Compuerta	Inspección	Visual	Diario
		Limpieza	Cepillo	Semanal
	Celda de carga	Calibración	Empresa externa	Anual

Fuente: elaboración propia.

Posterior a las actividades de mantenimiento del equipo y los tiempos en los cuales se deben realizar, se describen los procedimientos a efectuar por el operario de la máquina.

Cuadro 12. Actividad de inspección

Sub sistema	Descripción
Tolva de alimentación	Verificar que la tolva no contenga en su interior acumulación de arena; observar estado de las soldaduras.
Cilindros hidráulicos	Verificar que no haya residuos de arena en el cilindro.
Compuerta	Inspeccionar que no queden residuos de material en las juntas.

Fuente: elaboración propia

Cuadro 13. Actividad de limpieza

Sub sistema	Descripción
Tolva de alimentación	Limpiar cualquier tipo de residuo dejado por la arena que se encuentre al interior de la tolva.
Cilindros hidráulicos	Limpiar el cilindro teniendo cuidado para no afectar su integridad.
Compuerta	Realizar limpieza de todo tipo de residuo que se encuentre en sus juntas.

Fuente: elaboración propia

Cuadro 14. Actividad de lubricación

Sub sistema	Descripción
Cilindro hidráulico	Lubricar con aceite hidráulico limpio las juntas, conectores y racores.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15. Actividad de tintas penetrantes

Sub sistema	Descripción
Tolva de alimentación	Realizar este ensayo no destructivo para identificar discontinuidades o futuras fallas

Fuente: elaboración propia

El objetivo de este manual está enfocado en la disminución de los tiempos de funcionamiento al hacer más eficiente la máquina y la prevención de fallas graves que conllevan a paros no programados, los cuales pueden causar pérdidas económicas y de producción.

8. IMPACTO AMBIENTAL

En el proceso de dosificación de materias primas es necesario identificar los aspectos ambientales y a partir de estos determinar los impactos al medio ambiente, los cuales pueden afectar los ecosistemas alrededor de la empresa o en el lugar donde funcionan las máquinas. Se tendrá en cuenta la recolección de la arena, el transporte y finalmente la descarga en las tolvas de dosificación. Este proceso está sujeto a las siguientes etapas: diseño, fabricación, operación y mantenimiento.

Cuadro 16. Balance de materias para identificar las entradas y salidas del proceso

Entradas	Procesos	Salidas
Tintas	Diseño	Planos
Papel		
Soldadura	Fabricación	Máquina
Insumos		Emisiones
Electricidad	Operación	Emisiones
Transporte		Residuos sólidos
Arena		Residuos sólidos
Limpieza de la tolva	Mantenimiento	Residuos sólidos

Fuente: elaboración propia

8.1 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

Los impactos ambientales fueron calificados según los criterios de evaluación: magnitud, probabilidad, reversibilidad, importancia e incidencia.

En el siguiente cuadro se muestran los impactos ambientales que genera el sistema de dosificación.

Cuadro 17. Impactos ambientales en el proceso

Proceso	Aspecto ambiental	Impacto ambiental
Diseño	Uso de papel	Disminución de recursos naturales
Operación	Generación de residuos de arena	Contaminación del espacio de trabajo y suelo
Operación	Consumo energético	Racionamiento de energía
Operación	Llenado de tolvas	Ruido
Fabricación	Emisión de gases, partículas solidas	Contaminación del aire
Fabricación	Generación de residuos metálicos	Contaminación del suelo
Mantenimiento	Generación de aceite usado	Contaminación química del suelo

Fuente: elaboración Propia

Se definieron diferentes valores para la calificación de los impactos ambientales los cuales fueron dados por los autores;

Cuadro 18. Parámetros del impacto ambiental

Valoración	Calificación	Acción
Baja	1-8	Se continua con el proceso actual, hasta un posible cambio potencial
Media	9-24	Implementar alternativas para reducir impacto ambiental
Alta	>25	Se debe cambiar totalmente el proceso debido a los altos impactos que generan

Fuente: elaboración Propia

Se definen los criterios de evaluación que calificarán los impactos ambientales mencionados en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Criterios de evaluación

Nomenclatura	Criterio de evaluación	Descripción
REV	Reversibilidad	Capacidad de recuperación
PRO	Probabilidad	Incidencia con la que se genera el impacto
INC	Incidencia	Influencia del impacto sobre el medio
MAG	Magnitud	Extensión geográfica del impacto
IMP	Importancia	Nivel de daño que sufre el entorno

Fuente: elaboración Propia

8.2 MATRIZ DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

Establecidos los diferentes procesos y los criterios de evaluación, se realiza la matriz de evaluación ambiental. Se puede observar que dos impactos ambientales fueron de calificación alta lo cual quiere decir que se debe minimizar el impacto ambiental generado.

Se obtuvo dos aspectos ambientales con calificación alta, el primero con un resultado de 44 que es la generación de residuos de arena, su impacto ambiental son las emisiones difusas de material particulado, debido a que se trabaja por largas jornadas, esos residuos se acumulan ocasionando polvo o afectaciones en la salud de los operarios ; El segundo aspecto obtuvo un resultado de 34 es el llenado de las tolvas, su impacto ambiental es la generación de ruido causando un deterioro en el medio ambiente sonoro y una reducción auditiva en los operarios.

Las medidas de prevención que se deben tomar para reducir estos dos aspectos son establecer y cumplir el plan de mantenimiento del sistema de dosificación, se capacitará el personal acerca de los riesgos en el trabajo y las medidas de seguridad que deberían tomar para evitar la exposición a sílice, tecnologías y equipos para tratamiento de material particulado como: Ciclones, separadores y filtros de mangas; se usarán implementos de seguridad como tapa oídos tienen como finalidad prevenir enfermedades laborales de los operarios de la máquina y minimizar cualquier tipo de impacto negativo.

Tabla 6. Matriz ambiental

Proceso	Aspecto Ambiental	Impacto ambiental	Criterios de evaluación					Total	Calificación
			REV	PRO	INC	MAG	IMP		
Diseño	Uso de papel	Disminución de recursos naturales	9	4	4	3	2	22	Media
Operación	Generación de residuos de arena	Emisiones difusas de material particulado	5	10	14	3	12	44	Alta
Operación	Consumo energético	Racionamiento de energía	4	2	5	6	3	20	Media
Operación	Llenado de tolvas	Generación de Ruido	8	10	10	3	3	34	Alta
Fabricación	Emisiones de gases, partículas solidas	Contaminación del aire	5	3	2	4	3	17	Media
Fabricación	Generación de residuos metálicos	Contaminación del suelo	2	1	2	1	2	8	Baja
Mantenimiento	Generación de aceite usado	Contaminación química del suelo	1	1	4	1	6	13	Media

Fuente: elaboración propia

9. EVALUACIÓN FINANCIERA

El presente capítulo está enfocado en el estudio financiero para determinar la viabilidad de este proyecto, para lo cual se comparó el costo de garantía actual con el proyecto realizado.

9.1 INVERSIÓN

9.1.1 Costos de ingeniería. Hace referencia a la inversión en tiempo y dinero que se estima para el diseño e ingeniería del proyecto, teniendo diferentes ítems que se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 7. costos de ingeniería

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	V.UNITARIO	V. TOTAL
Ingeniería	Horas	1335	\$7,000	\$9.345.000
Otros (papel, tinta, viajes)			\$500,000	\$500,000
			TOTAL	\$9.845.000

Fuente: Elaboración propia

9.1.2 Costos de materiales de fabricación. En el siguiente cuadro se especifica el costo de cada uno de los materiales que son necesarios para la construcción de la tolva cónica.

Tabla 8. Costos de materiales

CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	MATERIAL	V.UNIDAD	V.TOTAL
1	Mts	Lamina (2.44X6.10)	A-36	\$2.503.000	\$2.503.000
20	Kg	Soldadura (6013 1/8)	E-6013	\$11.995	\$239.900
				TOTAL	\$2.742.900

Fuente: elaboración propia

9.1.3 Costos de fabricación. A continuación, se mostrarán todos los costos de fabricación de la tolva.

Tabla 9. Costos de fabricación

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	V.UNIDAD	V.TOTAL
	Kg	371.487	\$1.200,000	\$445.784,40
Laminación rolado cilindro 24000 mm	Kg	43.549	\$600	\$26.129,40
Laminación rolado cilindro 550mm	Kg	6.542	\$600	\$3.925,20
Pintura Gris Anticorrosiva	Galón	3	\$ 39.900	\$ 119.700
Montaje	Día	1	\$200.000	\$200.000
			TOTAL	\$795.539

Fuente: elaboración propia

9.1.4 Costos de operario. A continuación, se muestra el costo de los operarios.

Tabla 10. Costos de operación

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	V.UNIDAD	V.TOTAL
Soldador	\$/días	5	\$60.000	\$300.000
Ayudante	\$/días	5	\$30.000	\$150.000
			TOTAL	\$450.000

Fuente: elaboración propia

9.1.5 Costos de mantenimiento. En el siguiente cuadro se describen los costos de mantenimiento.

Tabla 11. Costos de mantenimiento

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR
Mano de obra	\$	\$150.000
Insumos	\$	\$100.000
	TOTAL	\$250.000

Fuente: elaboración propia

9.1.6 Costos de automatización. A continuación, se muestra el costo de automatización del sistema.

Tabla 12. Costos de automatización

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	V.UNIDAD	V.TOTAL
Cilindro neumático	-	4	\$715.450,01	\$2.861.800,04
Electroválvula 5/2 biestable	-	4	\$153.273,12	\$613.092,48
Final de carrera	-	8	\$35.511,08	\$ 284.088,64
Racor T ¼ *6mm	-	4	\$18.478	\$73.912
Manguera neumática	m	15	\$11.593	\$173.895
			TOTAL	\$4.006.788,16

Fuente: elaboración propia

9.1.7 Costos totales. Se hace un cuadro con todos los valores para la fabricación de la tolva.

Tabla 13. Costos totales

COSTOS	V.TOTAL
Costos de materiales	\$ 2.742.900
Costos de fabricación	\$795.539
Costos de ingeniería	\$9.845.000
Costos de mantenimiento	\$ 450.000
Costos de automatización	\$4.006.788,16
TOTAL	\$17.840.227,16

Fuente: elaboración propia

9.1.7 Costos de garantía. Se realizan el análisis de los costos que tiene la empresa por el fallo en el sistema de dosificación de la arena, como se muestra a continuación.

Tabla 14. Costos de garantía

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	V.UNIDAD	V.TOTAL
Transporte	\$	2	\$100.000	\$ 200.000
Alimentación	\$/día	5	\$36.000	\$ 180.000
Hospedaje	\$/día	5	\$40.000	\$ 200.000
Costo operario	\$/día	5	\$50.000	\$ 250.000
			TOTAL	\$ 830.000

Fuente: elaboración propia

A continuación, se relaciona los costos por enviar el operario a revisiones por garantía mensual

Tabla 15. Costos de garantía mensual

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	V.UNIDAD	V.TOTAL
Costos por garantía	\$/mes	2	\$830.000	\$ 1.660.000

Fuente: Elaboración propia

9.2 ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero evalúa la viabilidad del proyecto, teniendo en cuenta el valor de la inversión y el tiempo de recuperación, para este caso se adopta el método del valor presente neto, con una tasa de interés de los certificados de depósito a término de 90 días (DTF). El banco de la república establece que para el 2019 es de 4,59% EA¹⁸

$$TIO = DTF + 2\%$$

$$TIO = 4,59\% + 2\% = 6,59\% EA$$

Se convierte la TIO a una tasa mensual

$$(1 + i_{Anual})^n = (1 + i_{Mensual})^m$$

$n=m$ =Número de capitalización con base a la tasa i

i_{Anual} = Tasa efectiva anual

$i_{Mensual}$ = Tasa mensual

$$(1 + 0,0659)^1 = (1 + i_{Mensual})^{12}$$

$$i_{Mensual} = 0,005332 = 0,533 \%$$

Una vez definida la tasa que se empleará se procese a hallar la viabilidad del proyecto mediante el valor presente neto

¹⁸ <http://www.banrep.gov.co/es/tasas-captacion-semanales-y-mensuales>

$$VPN = -s_0 \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Donde:

S_0 = Inversión inicial del proyecto

S_t = Flujo de efectivo

i = Tasa interna de oportunidad

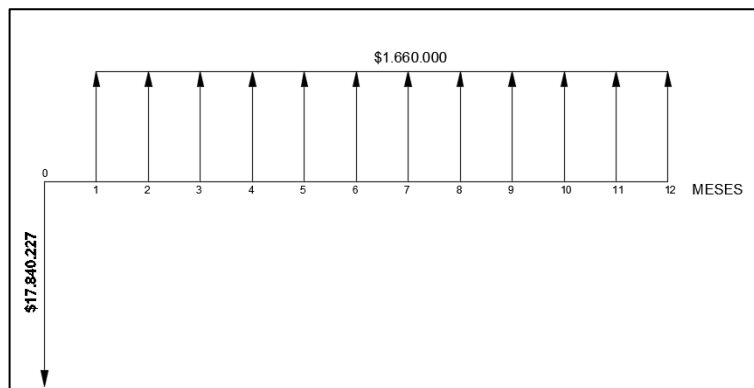
VPN = Valor presente neto

$$\begin{aligned} VPN = & -17.840.227,16 + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^1}\right) + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^2}\right) + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^3}\right) \\ & + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^4}\right) + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^5}\right) + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^6}\right) \\ & + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^7}\right) + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^8}\right) + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^9}\right) \\ & + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^{10}}\right) + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^{11}}\right) + \left(\frac{1.660.000}{(1+0,005332)^{12}}\right) \end{aligned}$$

$$VPN = 1.406.226,444$$

A continuación, se muestra el flujo de efectivo que tiene la empresa para los catorce periodos y la inversión inicial.

Figura 71. Flujo de efectivo gastos por garantía

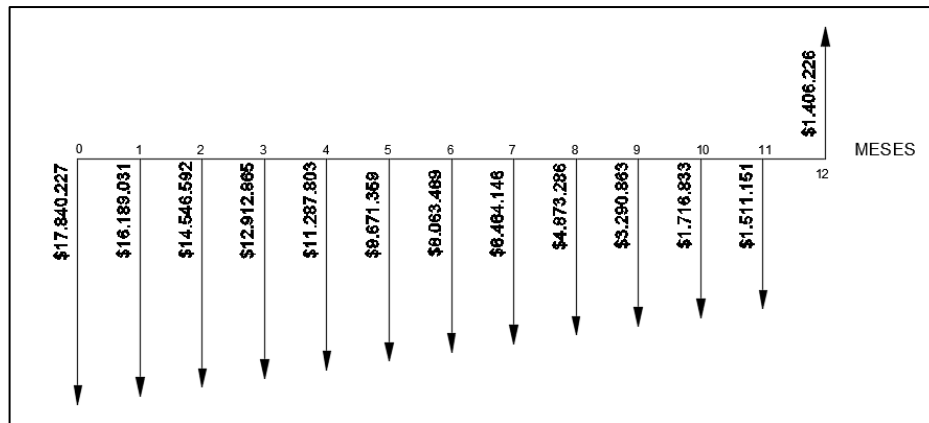


Fuente: elaboración propia

La figura 71 muestra el flujo de gastos mes a mes de \$1.660.000 pesos que la empresa debe pagar por enviar el operario a realizar la verificación del sistema de

dosificación; teniendo en cuenta que el planteamiento es hecho durante un periodo de 12 meses con una inversión inicial del proyecto de \$17.840.227 pesos.

Figura 72. Flujo de efectivo



Fuente: elaboración propia

La figura 72 se puede observar que en el periodo de los 12 meses la máquina mes a mes solventa de manera exitosa los gastos generados por el envío del operario y que además aporta ganancias significativas a la empresa. Es necesario mencionar que el estudio fue hecho con una sola máquina.

Se observa que la inversión inicial se retorna en el periodo doce generando una ganancia de \$1.406.226 a partir de ese periodo la empresa observa utilidades elocuentes.

10. CONCLUSIONES

- ✓ En el sistema de dosificación de materias primas se realiza el diagnóstico dando como resultado un exitoso funcionamiento de las celdas de carga y una deficiencia en la tolva de acopio; el proyecto centra su estudio en el sistema de una tolva cónica que solucione los problemas de atasco de los agregados
- ✓ La empresa dentro de sus requerimientos establece parámetros como son: tipo de grava, agregado fino, asentamiento y contenido de agua; en proporciones de Kg/m³ y litros. Finalmente se obtiene un concreto de 3.000 PSI
- ✓ Evaluando el proceso de dosificación de la arena se tomó como punto de partida el sistema de acopio y el sistema de dosificación, dando como resultado respectivamente un flujo de tipo másico y apertura por compuerta reduciendo el tiempo del proceso entre 30 seg y 1 min
- ✓ El planteamiento de alternativas para el sistema de dosificación presentó como mejor opción la implementación de una tolva cónica, ya que ofrece las mejores condiciones para la dosificación del material, eliminando los atascos que se generaban debido a la geometría de la tolva y permitiendo flujo continuo del material en el momento de inyección, dando un valor ponderado de 136 en la matriz de scoring
- ✓ El proceso de dosificación consta de varias etapas, se realizó el diseño de una tolva cónica con un espesor de lámina de 6.35 mm que resista la carga de 3.273,5614 kgf/m² que genera la arena en las paredes internas de la misma.
- ✓ A partir del análisis por el método de elementos finitos y con ayuda del software Autodesk Inventor Professional 2019, se concluye que los elementos estructurales y el espesor de pared de la tolva logran soportar las cargas a las que están sometidas ya que se obtiene como resultado una tensión máxima de 96,47 MPa, la cual no sobrepasa el límite de fluencia del acero A36 que es de 250MPa. Adicionalmente, con los resultados obtenidos en el software de simulación se evidenció que la estructura actual soporta la nueva tolva para el sistema de dosificación
- ✓ En el proceso de dosificación de materias primas, el impacto ambiental es más notable en el lugar de funcionamiento de las máquinas. El proyecto fue cualificado de acuerdo con criterios de magnitud, probabilidad, importancia e incidencia dando resultados positivos como: disminución de los recursos

naturales, menos contaminación del espacio de trabajo, reducción de la contaminación química del suelo, entre otras

- ✓ La fabricación e instalación de la tolva es viable, como arroja el análisis financiero, teniendo en cuenta que la inversión total fue de 17.840.227,16 y que esta inversión se va a recuperar fácilmente en el tiempo proyectado de 12 meses; el indicador económico como el VPN es mayor a 0

11. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar una actualización total de sistema neumático
- ✓ Se debe realizar un estudio detallado de las demás tolvas para garantizar su buen funcionamiento
- ✓ Para mejorar el estudio de la respuesta a esfuerzos de la tolva se recomienda realizar un estudio dinámico que permita evaluar la resistencia de la tolva al impacto del material.

BIBLIOGRAFÍA

CONTRERAS GUTIERREZ, Luis. Producción de concreto Premezclado y su Comercialización. Tesis de Grado. Lima Perú 1996

CONESA, Vicente. Guía Metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Madrid. Ediciones Mundi Prensa. 1997.

GRAY, W.S. Reinforced Concrete, water, tower, bunkers, silos & Gantries. London: Concrete Publication, 1953.

HIBBELER. R. C et al. Mecánica de materiales. Octava edición México: Pearson educación, S.A, 1997. 754 páginas.

INSTITUTO COLOMBINO DE NORMAS TÉCNICAS Y CETIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: el instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

INSTITUTO COLOMBINO DE NORMAS TÉCNICAS Y CETIFICACIÓN. Concretos, producción de concreto. NTC-3318. Bogotá D.C.: El instituto 2008.

Imcyc (2004) Para hacer un buen concreto. Conceptos CB básicos, 1, 4-6

MOOT, Robert L., et al. Diseño De Elementos De Maquinas. México: Pearson educación, S.A, 2006

NORMA EUROPEA EXPERIMENTAL. Eurocodigo 1. Bases de proyecto y acciones en estructuras. Acciones en silos y depósitos. Parte 4. marzo 1998.

Norton R. L., "Diseño de Máquinas", 4ª edición. Editorial Pearson 621.7 NOR dis

Noticreto (2014). Revista sobre el concreto. Edición 127 Diseño y concepción de estructuras de concreto.

RÍOS MIÑANO, Paolo. Planta de Concreto Premezclado Aplicación planta de Aguaytía- Tesis de Titulación Ingeniero Civil. Lima, Perú 2005

SHIGLEY. Diseño en ingeniería mecánica. Octava edición. México. Editorial McGraw-Hill. 2008. 1059 páginas.

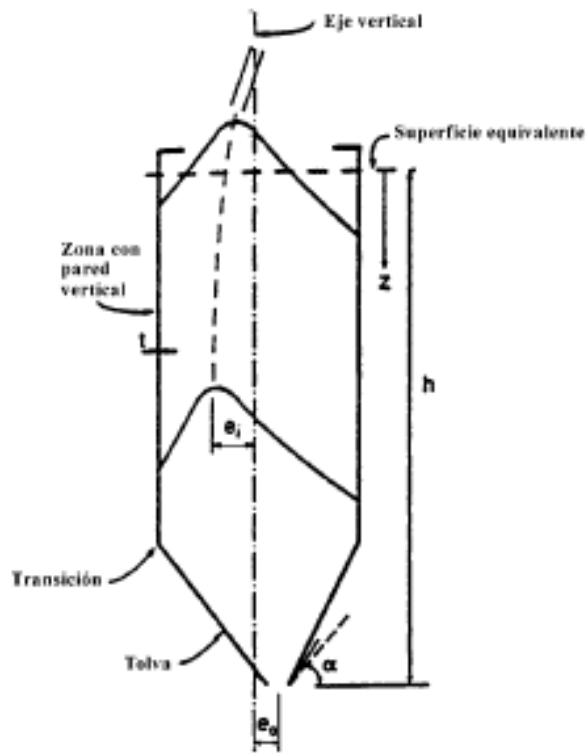
Spotts M. F., "Design of Machine Elements", 8th edition. Editorial Pearson

UNIVERSIDAD DE SAN PEDRO. (2011). Lima, Perú Concreto y Agregados. Recuperado de <http://es.slideshare.net/erick15/concreto-y-agregado>.

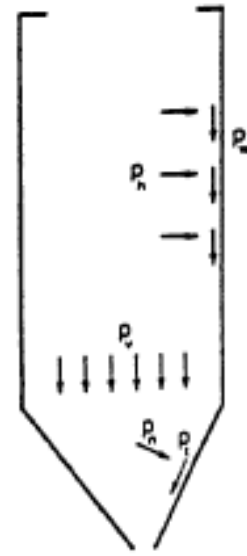
UNIVERSIDAD DE LA SALLE. Diseño, modelamiento y simulación de maquina dosificadora de alimento granulado para animales. Sitio Web: <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/16483/00781358.pdf?sequence=1>.

ANEXOS

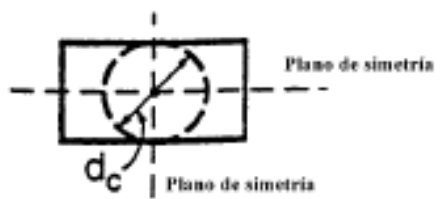
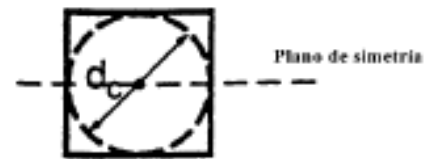
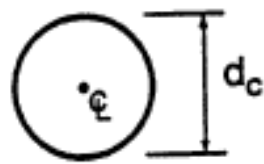
ANEXO A
PROCEDIMIENTO CÁLCULO EURO CÓDIGO 1 PARTE 4



Geometría



Presiones



ϵ : Eje vertical

2 CLASIFICACIÓN DE LAS ACCIONES

- (1)P Las cargas debidas a materiales almacenados se clasifican como acciones variables, véase ENV 1991-1.
- (2)P Las cargas en depósitos se clasifican como acciones variables, véase ENV 1991-1.
- (3)P Las presiones locales durante los procesos de llenado y vaciado de silos se clasifican como acciones libres.
- (4)P Las presiones debidas a explosiones de polvo se clasifican como acciones accidentales.

3 SITUACIONES DE PROYECTO

- (1)P Se aplica el formato general dado en la ENV 1991-1 para los procedimientos de proyecto.

NOTA – Esto no significa que los puntos y valores especificados para edificios en la ENV 1991-1 se puedan aplicar a silos y depósitos.

- (2)P Se considerarán las situaciones de proyecto seleccionadas y se identificarán las hipótesis críticas de carga. Para cada hipótesis crítica de carga se determinarán los valores de proyecto de los efectos de las acciones combinadas.
- (3)P Las reglas de combinación dependen de la comprobación considerada, y se identificarán de acuerdo a la ENV 1991-1 "Bases del proyecto", y de acuerdo al anexo A.
- (4) Más adelante se indica la disposición de las acciones en silos y depósitos para las hipótesis de carga de cada situación de proyecto.
- (5)P Los silos prefabricados se deben proyectar teniendo en cuenta las acciones durante la manipulación, transporte y colocación.
- (6) Se deben considerar las presiones provocadas por el máximo llenado posible.
- (7) Los esquemas de presiones para el llenado y el vaciado se pueden emplear en Estados Límite de Servicio y Últimos.
- (8) Si es necesario, deben considerarse las siguientes acciones y situaciones accidentales:
 - acciones debidas a explosiones;
 - acciones debidas al impacto de vehículos;
 - acciones sísmicas;
 - situaciones de fuego.
- (9) Los depósitos y silos se pueden emplear para el almacenamiento de líquidos y materiales granulados explosivos. En la tabla 7.1 se muestran algunos de los materiales que pueden provocar explosiones de polvo.
- (10) El daño potencial de una explosión de polvo debe limitarse o evitarse por medio de la adecuada elección de una o más de las medidas siguientes:
 - la incorporación de la suficiente superficie de expansión de presión;
 - el proyecto de la estructura para resistir la presión de la explosión.

- (11) La presión provocada por la explosión en un silo sin una adecuada superficie de expansión puede alcanzar un valor de 1 N/mm^2 .
- (12) En el proyecto se debe considerar la prevención de las explosiones de polvo por medio de la adecuada elección de una o más de las siguientes medidas:
 - la prescripción de un plan apropiado de mantenimiento y limpieza;
 - evitar la ignición por medio de la adecuada elección del equipamiento electrónico;
 - la utilización cuidadosa del equipo de soldadura.
- (13) Se debe limitar la fisuración en Estado Límite de Servicio para prevenir la entrada de agua cuando se proyecten silos para materiales sensibles al agua.
- (14) Se deben considerar los efectos de la fatiga en silos o depósitos sometidos a una media de más de un ciclo de llenado diario. Un ciclo de carga es igual a un llenado y un vaciado. También se considerará la fatiga en silos afectados por maquinaria vibratoria.
- (15)P Se tomarán en consideración las acciones sobre las estructuras adyacentes.

4 REPRESENTACIÓN DE LAS ACCIONES

- (1)P Se elegirá la forma estructural del silo de modo que sea poco sensible a las desviaciones de las cargas.
- (2)P Las presiones debidas a materiales granulados se calcularán para el llenado y para el vaciado. La magnitud y colocación de las cargas de proyecto dependen de la estructura del silo, de las propiedades del material almacenado y de los tipos de flujo que se produzcan durante el proceso de vaciado.
- (3) La variabilidad inherente de los materiales almacenados y las simplificaciones de los modelos de carga producen diferencias entre las presiones reales sobre el silo y las presiones definidas por las normas de proyecto en el capítulo 5. Por ejemplo, la distribución de presiones de vaciado varía a lo largo de la pared en función del tiempo, y no es posible predecir exactamente el valor medio de la presión, o su variación.
- (4) Se pueden emplear reglas simplificadas para la predicción de tipos de flujo (figura 5.1) en el cálculo de las presiones sobre silos.
- (5) No se deben emplear reglas simplificadas para la predicción de tipos de flujo (figura 5.1) en el proyecto de silos para flujo.

5 CARGAS EN SILOS DEBIDAS A MATERIALES GRANULARES

5.1 Generalidades

- (1) Las cargas debidas a materiales granulares dependen de:
 - las propiedades del material granular;
 - la variación en las condiciones de rozamiento de la superficie;
 - la geometría del silo;
 - los métodos de llenado y vaciado.

- (2) El tipo de flujo (flujo en masa o en embudo) se determinará según la figura 5.1.
- (3) Para la determinación del tipo de flujo, el ángulo de rozamiento de la pared se puede obtener bien por medio de ensayos, tal y como se describe en el apartado 5.5.2, o bien mediante la siguiente fórmula, empleando los valores aproximados del coeficiente de rozamiento dados en la tabla 7.1:

$$\varphi_w = \arctan \mu_w \quad (5.1)$$

- (4) Los valores característicos para las presiones de llenado y vaciado se definen para los siguientes tipos de silo:
- silos esbeltos;
 - silos cortos;
 - silos de homogeneización y silos de alta velocidad de llenado.
- (5) En el cálculo de las presiones se puede despreciar cualquier ayuda a las paredes del silo debida a la rigidez del material granulado. Esto significa que la interacción entre la deformación de la pared y la carga del material almacenado se considera despreciable.

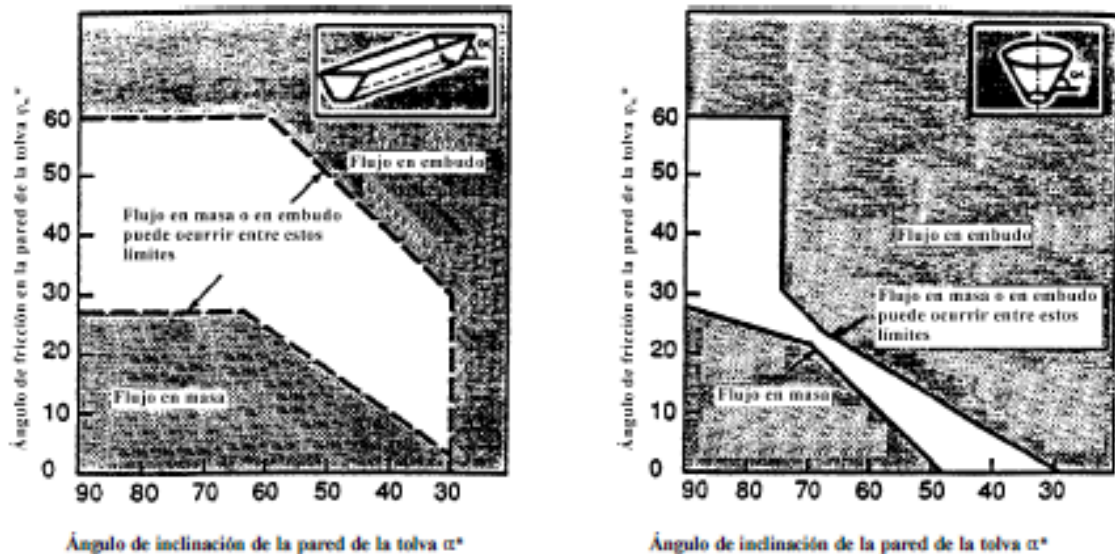


Fig. 5.1 - Límite entre el flujo en masa y en embudo en tolvas cónicas y en forma de cuña

5.2 Silos esbeltos

- (1) En el apartado 5.2.1 se dan normas detalladas para el cálculo de las presiones de llenado, y en el apartado 5.2.2 para las de vaciado. En el apartado 5.2.3 se dan normas simplificadas para el llenado y el vaciado.
- (2)P En el apartado 5.2.1 se dan las ecuaciones generales para el cálculo de las presiones sobre las paredes de un silo. Se deben utilizar como base para el cálculo de las siguientes cargas de proyecto:
- presiones de llenado sobre la sección de paredes verticales (5.2.1);
 - presiones de llenado sobre fondos planos (5.2.1);

- presiones de llenado sobre tolvas (5.2.1);
- presiones de vaciado sobre la sección de paredes verticales (5.2.2);
- presiones de vaciado sobre fondos planos y tolvas (5.2.2).

5.2.1 Presiones de llenado

- (1)P Tras el llenado, los valores de la presión de rozamiento sobre la pared (p_w), la presión horizontal (p_h) y la presión vertical (p_v), a cualquier profundidad, son:

$$p_w(z) = \gamma \frac{A}{U} C_x(z) \quad (5.2)$$

$$p_h(z) = \frac{\gamma A}{\mu U} C_x(z) \quad (5.3)$$

$$p_v(z) = \frac{\gamma A}{K_x \mu U} C_x(z) \quad (5.4)$$

donde

$$C_x(z) = 1 - e^{-(z/z_0)} \quad (5.5)$$

$$z_0 = \frac{A}{K_x \mu U} \quad (5.6)$$

donde

- γ es la densidad de la carga;
- μ es el coeficiente de rozamiento de la pared;
- K_x es la relación de presiones horizontal y vertical;
- z es la profundidad;
- U es el perímetro interior.

- (2)P La fuerza vertical resultante sobre una pared [$p_w(z)$] por unidad de longitud del perímetro actuando a una profundidad z es:

$$P_w(z) = \int_0^z p_w(z) dz = \gamma \frac{A}{U} [z - z_0 C_x(z)] \quad (5.7)$$

- (3) En el capítulo 7 se ofrecen métodos para la determinación de la densidad de los materiales granulares, el rozamiento de las paredes y las relaciones de presiones.

5.2.1.1 Sección de paredes verticales

- (1) La presión de llenado se compone de una presión fija y de una presión libre llamada carga local.
- (2)P La presión fija se calcula mediante las expresiones (5.2) y (5.3).

- (3) La presión local (p_p) se considera actuando sobre cualquier parte de la pared del silo, y se toma igual a:

$$p_p = 0,2 \beta p_{hr} \quad (5.8)$$

donde

$$\beta = 1 + 4 \frac{e_1}{d_c} \quad (5.9)$$

donde e_1 y d_c se definen en la figura 1.2.

- (4) En silos de hormigón, silos con rigidizadores y silos de sección transversal no circular, la presión local se considerará actuando sobre dos superficies cuadradas opuestas de lado s (figura 5.2) igual a:

$$s = 0,2 d_c \quad (5.10)$$

- (5) Generalmente, en los silos, se puede emplear una aproximación simplificada para la aplicación de la presión local. Se puede proyectar para los esquemas de carga más desfavorables aplicando la presión local a la altura media del silo y utilizando el incremento porcentual de la tensión en la pared a esa altura para incrementar la tensión de las paredes en todo el silo.
- (6) En silos circulares de pared delgada, la presión local se considerará actuando sobre una altura s , pero extendiéndose desde una presión máxima p_p hacia afuera en un lado, hasta una presión hacia dentro p_p en el lado opuesto (figura 5.2). La variación será:

$$p_{ps} = p_p \cos\theta \quad (5.11)$$

donde

θ es definido en la figura 5.2.

- (7) La fuerza horizontal total F_p debida a la presión local en silos de acero no rigidizados se obtiene de:

$$F_p = \frac{\pi}{2} s d_c p_p \quad (5.12)$$

- (8) Se puede utilizar un método simplificado para la aplicación de la presión local sobre silos circulares de pared delgada. La presión local se puede considerar actuando a una profundidad z_0 bajo la superficie equivalente, o a la mitad de la altura de la sección de paredes verticales, tomando la posición más alta de la carga.

5.2.1.3 Tolvas

(1)P Cuando $\alpha > 20^\circ$ (véase figura 5.3) la presión perpendicular a la pared inclinada de la tolva (p_n) se calcula como sigue:

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \frac{x}{I_h} \quad (5.15)$$

$$p_{n1} = p_{v0} (C_b \cos^2 \alpha + \text{sen}^2 \alpha) \quad (5.16)$$

$$p_{n2} = C_b p_{v0} \cos^2 \alpha \quad (5.17)$$

$$p_{n3} = 3,0 \frac{A}{U} \frac{\gamma K_s}{\sqrt{\mu}} \text{sen}^2 \alpha \quad (5.18)$$

donde

x es la longitud entre 0 y I_h (véase figura 5.3);

p_{n1}, p_{n2} es la presión debida al llenado de la tolva;

p_{n3} es la presión debida a la presión vertical sobre el material almacenado directamente por encima de la transición;

C_b es el coeficiente de mayoración de la presión sobre el fondo, tomado de la expresión (5.14);

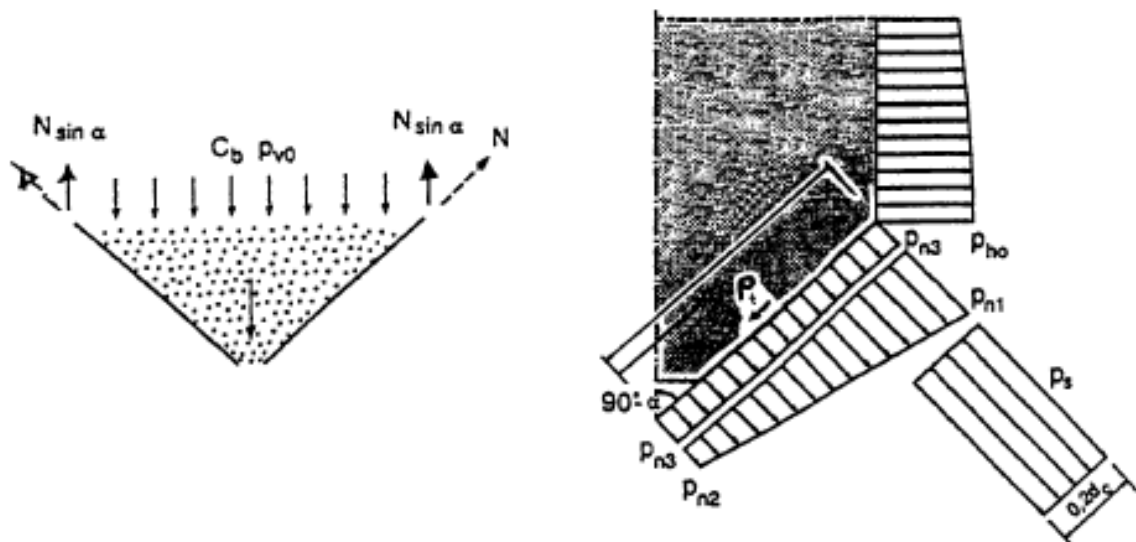
p_{v0} es la presión vertical actuante en la transición, calculada por medio de la expresión (5.4).

(2)P El valor de la presión de rozamiento sobre la pared p_t se obtiene mediante:

$$p_t = p_n \mu \quad (5.19)$$

donde

p_n se calcula por medio de la expresión (5.15).



- (3) Para el proyecto de silos puede ser necesario conocer la componente vertical de la fuerza de tracción sobre la parte superior de la tolva (por ejemplo, para el proyecto de los soportes del silo, o de un anillo de refuerzo en la zona de transición). La componente vertical se calculará por medio del equilibrio de fuerzas, añadiendo una sobrecarga vertical $C_v p_{v0}$ calculada en el nivel de transición más el peso del contenido de la tolva (figura 5.3).

5.2.2 Presiones de vaciado

5.2.2.1 Sección de paredes verticales

- (1)P Las presiones de vaciado se componen de una presión fija y de una presión libre llamada presión local.

- (2) Las presiones fijas p_{wf} , p_{hf} se obtienen de:

$$p_{wf} = C_w p_{wf} \quad (5.20)$$

$$p_{hf} = C_h p_{hf} \quad (5.21)$$

donde

C_w y C_h son los coeficientes de mayoración de la presión, obtenidos en las expresiones (5.22) y (5.23).

En silos que no se carguen desde la parte superior (sin flujo):

$$C_w = C_h = 1,0 \quad (5.22)$$

En el resto de silos esbeltos, los coeficientes de mayoración de la presión sobre las paredes y de la presión horizontal serán:

$$C_w = 1,1 \quad \text{y} \quad C_h = C_0 \quad (\text{véase 7.1}) \quad (5.23)$$

- (3) La magnitud de la presión local de vaciado p_p es:

$$p_p = 0,2 \beta p_{hf} \quad (5.24)$$

donde

p_{hf} calculada con la expresión (5.21);

β depende de la mayor de las excentricidades de llenado o de vaciado, y es:

$$\beta = 1 + 4 e / d_s \quad (5.25)$$

- (4) Para el cálculo de las presiones locales de vaciado se puede utilizar lo expuesto para el cálculo de las presiones locales de llenado [5.2.1.1 (4) a (8)].

ANEXO B
PLANOS