



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y SEPARACIÓN DE
ROCA POR MEDIO DEL RECONOCIMIENTO DE IMÁGENES,
EN LA EMPRESA CALINA LTDA**

Autor
Daniel Sánchez Valencia

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica
Medellín, Colombia
2019



Diseño de un sistema de detección y separación de roca por medio del reconocimiento de imágenes, en la empresa Calina Ltda

Autor.

Daniel Sánchez Valencia

Informe de práctica como requisito para optar al título de:

Ingeniero Mecánico.

Asesor Interno.

Carlos Alberto Mejía Blandón

MSc. en Ingeniería Mecánica

Asesor Externo.

Andrés David Hernández Gallego

Ingeniero Electrónico



Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica.

Medellín, Colombia

2019

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	9
2	INTRODUCCIÓN	10
3	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
4	MARCO TEÓRICO	11
5	ESTADO DEL ARTE.....	13
5.1	Especificaciones de la caliza 40mm-80mm apta para el proceso de calcinación.....	13
5.2	Separación de rocas con presencia de sílice (Cuarcita).....	14
5.3	Efectos de la presencia de sílice en el proceso de calcinación.....	14
5.4	Procesos y máquinas similares	15
6	OBJETIVOS.....	17
6.1	Objetivo general	17
6.2	Objetivos específicos.....	17
7	METODOLOGÍA	18
8	CRONOGRAMA	19
9	PROCESOS DE DISEÑO	19
9.1	Análisis funcional	19
9.2	Diseño preliminar.....	20
9.3	Diseño conceptual	22
9.3.1	Etapa 1: Sistema de alimentación	22
9.3.2	Etapa 2: Sistema de distribución	23
9.3.3	Etapa 3: Sistema de visión	23
9.3.4	Etapa 4: Sistema de expulsión	23
9.4	Alternativas de diseño.....	23
9.5	Análisis de alternativas	26
9.5.1	Sistema de alimentación.....	26
9.5.2	Sistema de distribución	26
9.5.3	Sistema de visión.....	27
9.5.4	Sistema de expulsión.....	28
9.5.5	Ubicación sistema de expulsión	29
9.6	Criterios y selección de alternativas	29
9.7	Consideraciones y lista de requerimientos	31
10	SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL	32
10.1	Visión artificial	32
10.1.1	Iluminación.....	33
10.1.2	Análisis de imágenes digitales.....	33

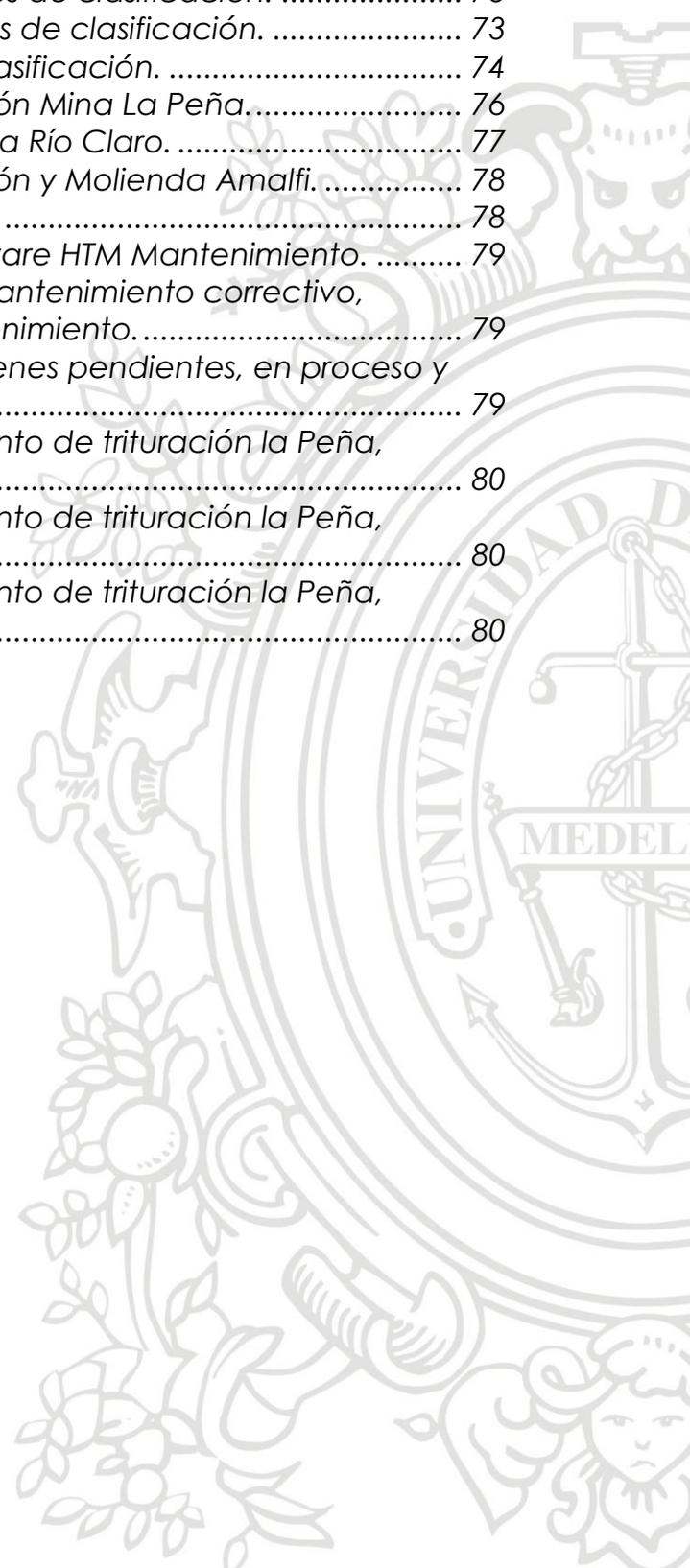
10.2	Rayos UV.....	34
10.2.1	Fluorescencia en la Calcita	34
10.2.2	Fluorescencia en la Cuarcita.....	35
10.2.3	Pruebas de fluorescencia.....	35
10.2.4	Resultados.....	37
10.3	Escala de grises	37
10.3.1	Sistema de color RGB.....	37
10.3.2	Caliza y sílice en escala de grises	38
10.3.3	Pruebas.....	39
10.3.4	Resultados.....	42
10.3.5	Equipo seleccionado	43
11	SISTEMA DE EXPULSIÓN.....	43
11.1	Generalidades.....	43
11.2	Cálculos.....	50
11.3	Modelo 3D.....	59
11.3.1	CAD Sistema de Alimentación y Apoyos.....	59
11.3.2	CAD Sistema de Distribución y Estructura Soporte	59
11.3.3	CAD Cubierta Sistema de Visión Artificial.....	60
11.3.4	CAD Sistema de Expulsión y Soporte	60
11.3.5	CAD Ducto de Rechazo.....	61
11.3.6	CAD Canal Conductor de Roca Admitida	61
11.4	Instructivo de montaje	61
12	RESULTADOS Y ANÁLISIS	69
13	OTRAS ACTIVIDADES.....	76
13.1	Modelo 3D de plantas producción.....	76
13.1.1	Modelo 3D Planta de Trituración Mina La Peña	76
13.1.2	Modelo 3D Planta de Molienda Río Claro	77
13.1.3	Modelo 3D Planta de Trituración y Molienda Amalfi.....	77
13.2	Software HTM Mantenimiento.....	78
13.3	Formatos de producción Planta de Trituración La Peña	80
14	CONCLUSIONES	81
15	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
16	ANEXOS.....	85

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1. Caliza sin presencia de bandas de sílice.	14
Ilustración 2. Caliza con presencia de bandas de sílice.	14
Ilustración 3. Máquina Tomato Sniper.	15
Ilustración 4. Esquema de funcionamiento sistema de rechazo mecánico. ...	16
Ilustración 5. Sistema de expulsión por dedos o paletas.	17
Ilustración 6. Análisis funcional máquina clasificadora.	19
Ilustración 7. Esquema preliminar global máquina clasificadora.	20
Ilustración 8. Esquema preliminar sistema de distribución.	21
Ilustración 9. Esquema preliminar sistema de clasificación.	21
Ilustración 10. Esquema preliminar etapa de detección y rechazo.	22
Ilustración 11. Izquierda: Calcita (rosácea) y willemita (azul-verdosa); Derecha: Calcita fluorescente en color rosa bajo luz UV.	34
Ilustración 12. Muestra #1 bajo luz UV.	35
Ilustración 13. Muestra #2 bajo luz UV.	36
Ilustración 14. Muestra #3 bajo luz UV.	36
Ilustración 15. Muestra #4 bajo luz UV.	36
Ilustración 16. Muestra #5 bajo luz UV.	36
Ilustración 17. Muestra #6 bajo luz UV.	36
Ilustración 18. Muestra #7 bajo luz UV.	37
Ilustración 19. Modelo RGB.	37
Ilustración 20. Caliza de buena calidad.	38
Ilustración 21. Caliza de buena calidad.	38
Ilustración 22. Caliza de mala calidad con contenido de sílice.	38
Ilustración 23. Caliza de mala calidad con contenido de sílice.	39
Ilustración 24. Rocas admisibles con cantidad despreciable de sílice.	39
Ilustración 25. Configuración sistema de visión.	40
Ilustración 26. Roca para prueba escala de grises # 1.	41
Ilustración 27. Roca para prueba escala de grises # 2.	41
Ilustración 28. Resultado del filtro prueba #2.	41
Ilustración 29. Identificación del color oscuro de la sílice y sombra considerable en la parte derecha por falta de iluminación en 2 direcciones en la prueba #3.	42
Ilustración 30. Especificaciones sistema de visión IS7900C-363-50.	43
Ilustración 31. Flujo de señales y componentes de un sistema de control electroneumático.	44
Ilustración 32. Aplicaciones de los actuadores neumáticos.	45
Ilustración 33. Cilindro de doble efecto (a) y simbología (b).	45
Ilustración 34. Cilindros compactos ADN. Fuente: FESTO.	45
Ilustración 35. Especificaciones cilindro ADN-20-25-A-P-A Festo.	46
Ilustración 36. Horquilla SG-M8 Festo.	47
Ilustración 37. Dimensiones rodamiento SKF 634.	47
Ilustración 38. Tipos de montajes (anclajes).	48
Ilustración 39. Especificaciones fijación por pies HNA-20.	48
Ilustración 40. Solenoide (izquierda) y simbología (derecha).	49

Ilustración 41. Especificaciones electroválvula MHE2-MS1H-5/2-M7-K de Festo.	49
Ilustración 42. Esquema de expulsión.	50
Ilustración 43. Peso de muestra #1 (a), muestra #2 (b) y muestra #3 (c).	51
Ilustración 44. Diagrama de cuerpo libre para la roca.	51
Ilustración 45. Esquema trayectoria de las rocas.	52
Ilustración 46. Diagrama esquemático de cuerpo libre de paleta.	53
Ilustración 47. Modelo paleta en 3D.	53
Ilustración 48. Peso de la paleta y ubicación del centro de gravedad.	54
Ilustración 49. Compresor Atlas Copco AR-5-80H-208 / 230-1.	58
Ilustración 50. Especificaciones compresor Atlas Copco AR-5-80H-208 / 230-1.	58
Ilustración 51. CAD Sistema de alimentación.	59
Ilustración 52. CAD Sistema de distribución y estructura soporte.	59
Ilustración 53. CAD Cubierta sistema de visión artificial.	60
Ilustración 54. CAD Sistema de expulsión.	60
Ilustración 55. CAD Sistema de expulsión y soporte.	60
Ilustración 56. CAD Ducto de rechazo.	61
Ilustración 57. CAD Canal conductor de roca admitida.	61
Ilustración 58. CAD Estructura principal.	62
Ilustración 59. Ensamble de soporte sistema de distribución sobre estructura principal.	62
Ilustración 60. Ensamble ducto de rechazo en soporte sistema de distribución.	63
Ilustración 61. Ensamble de canal conductor de rocas admitidas en soporte sistema de distribución y ducto de rechazo.	63
Ilustración 62. Ensamble sistema de distribución sobre su soporte.	64
Ilustración 63. Ensamble soporte sistema de expulsión sobre estructura principal.	64
Ilustración 64. Ensamble cilindro, pies de fijación y horquilla.	65
Ilustración 65. Ensamble paleta y rodamiento.	65
Ilustración 66. Ensamble cilindro-paleta.	66
Ilustración 67. Ensamble cilindro de expulsión, paleta, electroválvula y placa inferior de fijación.	66
Ilustración 68. Ensamble de 6 cilindros de expulsión, paletas, electroválvulas y placa inferior de fijación.	66
Ilustración 69. Ensamble cilindro de expulsión, paleta, soporte y pasador para pivotamiento	67
Ilustración 70. Ensamble de los 6 soportes y pasadores para pivotamiento. ...	67
Ilustración 71. Ensamble sistema de expulsión con placa frontal y cubierta. .	67
Ilustración 72. Ilustración 63. Ensamble sistema de expulsión sobre soporte. ...	68
Ilustración 73. Ensamble cubierta de sistema de visión artificial sobre sistema de distribución y estructura que lo soporta.	68
Ilustración 74. Ensamble final con sistema de alimentación.	69
Ilustración 75. Producción mensual de clasificación manual y automática. .	70
Ilustración 76. Producción mensual de 40mm-80mm con clasificación manual y automática.	71

Ilustración 77. Aumento mensual de 40mm-80mm implementando clasificación automática.	71
Ilustración 78. Ingresos con los diferentes tipos de clasificación.	73
Ilustración 79. Utilidad con los diferentes tipos de clasificación.	73
Ilustración 80. Gasto anual de nómina de clasificación.	74
Ilustración 81. Modelo 3D planta de trituración Mina La Peña.	76
Ilustración 82. Modelo 3D Planta de Molienda Río Claro.	77
Ilustración 83. Modelo 3D Planta de Trituración y Molienda Amalfi.	78
Ilustración 84. Software HTM Mantenimiento.	78
Ilustración 85. Captura de indicadores Software HTM Mantenimiento.	79
Ilustración 86. Captura de estadísticas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo software HTM Mantenimiento.	79
Ilustración 87. Captura de indicador de ordenes pendientes, en proceso y terminadas Software HTM Mantenimiento.	79
Ilustración 88. Captura formato de rendimiento de trituración la Peña, Consolidado de rendimiento.....	80
Ilustración 89. Captura formato de rendimiento de trituración la Peña, Consolidado tiempos sin procesar.....	80
Ilustración 90. Captura formato de rendimiento de trituración la Peña, Toneladas por hora promedio del mes.	80



Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones de caliza apta para la calcinación.	13
Tabla 2. Cronograma de actividades.	19
Tabla 3. Alternativas sistema de alimentación.	23
Tabla 4. Alternativas sistema de distribución.	24
Tabla 5. Alternativas sistema de visión.	24
Tabla 6. Alternativas sistema de expulsión.	25
Tabla 7. Alternativas ubicación sistema de expulsión.	25
Tabla 8. Criterios de selección sistema de expulsión.	29
Tabla 9. Criterios de selección sistema de distribución.	30
Tabla 10. Criterios de selección sistema de visión.	30
Tabla 11. Criterios de selección sistema de expulsión.	30
Tabla 12. Criterios de selección ubicación sistema de expulsión.	31
Tabla 13. Selección de alternativas.	31
Tabla 14. Lista de requerimientos.	32
Tabla 15. Rango de longitud de onda ultravioleta.	35
Tabla 16. Elementos a utilizar en pruebas por escala de grises.	40
Tabla 17. Elementos a utilizar prueba 1.	40
Tabla 18. Elementos a utilizar prueba 2.	41
Tabla 19. Elementos a utilizar prueba 3.	42
Tabla 20. Especificaciones rodamiento SKF 634.	47
Tabla 21. Pesos de muestras.	50
Tabla 22. Comportamiento de R , R_x y R_y en función de θ	52
Tabla 23. Resultados para cilindro ADN-20-25-A-P-A.	57
Tabla 24. Análisis de producción clasificación manual y automática.	70
Tabla 25. Costos e Ingresos Clasificación Manual.	72
Tabla 26. Costos e Ingresos Clasificación Automática.	72
Tabla 27. Estimación de inversión máquina clasificadora.	75

1 RESUMEN

Calcáreos Industriales y Agrícolas Ltda (Calina Ltda) es una empresa que se encarga de la explotación, procesamiento y comercialización de minerales calcáreos para el sector industrial y agrícola. Cuenta con una sede administrativa ubicada en Envigado, una planta de trituración y molienda en Amalfi, una planta de trituración y otra de molienda en Río Claro.

Desde las canteras se explota Carbonato de Calcio (Mármol Calcítico o Caliza) y Carbonato de Magnesio (Mármol Dolomítico o Dolomita), por lo que las plantas cuentan con un proceso productivo que consiste en la reducción y clasificación de tamaño de los rajones de caliza y dolomita. Para ello cuenta con modernos equipos de trituración primaria y secundaria, con clasificadores de tamaño por vibración y equipos de tamizado, que permiten separar las diferentes granulometrías solicitadas por los clientes. Es así como Calina Ltda., en sus minas, explota determinadas piedras que tienen aplicaciones en los diferentes tipos de industria, de modo que sean clasificadas según las aplicaciones requeridas por sus socios y/o clientes. Los productos que se manejan varían desde rajones de caliza y dolomita, triturados y molidos.

El proyecto se llevó a cabo en el área de producción de la planta de Río Claro ubicada en la Mina la Peña, donde se realizó el diseño de un sistema de detección y separación de roca por medio del reconocimiento de imágenes, que se encarga de separar la roca apta para el proceso de calcinación de la que no lo es, ya que actualmente la separación se ejecuta manualmente por seleccionadores, donde el producto en el cual se enfocó el proyecto es la caliza triturada de 40mm-80mm (malla 40 mm – malla 80mm), la cual debe cumplir con unas especificaciones establecidas para la satisfacción del cliente.

2 INTRODUCCIÓN

En la industria minera debido a la ubicación de las canteras de las empresas dedicadas a la explotación procesamiento y comercialización de minerales calcáreos, se encuentran diferentes tipos de minerales que pueden ser nocivos o indeseables en aplicaciones del sector industrial y/o agrícola; por esta razón es necesario la separación de los minerales que pueden afectar los procesos productivos de acuerdo a su aplicación. La empresa Calina Ltda no es la excepción, desde sus canteras ubicadas en la Mina La Peña de Río Claro se explota Carbonato de Calcio (Mármol Calcítico o Caliza) y Carbonato de Magnesio (Mármol Dolomítico o Dolomita), por lo que las plantas cuentan con un proceso productivo que consiste en la reducción y clasificación de tamaño de los rajones de caliza y dolomita, pero además se tiene la etapa de detección y rechazo de Mineral de Sílice, debido a que éste es adverso para la mayoría aplicaciones excepto para el área de la construcción. Su presencia, se debe a factores geológicos de la zona donde se encuentra la mina. Los productos que se manejan varían desde rajones de caliza y dolomita, triturados y molidos.

El producto en el cual se centró el proyecto es la caliza triturada de 40mm-80mm (malla 40mm – malla 80mm), que es destinada para el proceso de calcinación, donde el contenido de sílice no debe superar el 1%, debido a que la caliza está compuesta del mineral llamado calcita cuyo punto de fusión es de 1098 K (825 °C) [1], el cual es bajo en comparación con el de la sílice que tiene un valor de 1986 K (1713 °C) [2], por lo que la caliza se calcina sin ningún problema, pero la sílice es nociva para este proceso; ya que, en vez de calcinarse, se convierte en un tipo de pasta que no solo sale sin calcinar junto con el producto terminado bajando su calidad, si no, que también se adhiere a las paredes del horno, obstruyendo los ductos de transferencia de calor, alterando enormemente su buen funcionamiento. La sílice geológicamente se halla en forma de bandas intercaladas que logran diferenciarse por su tono oscuro que resalta en la roca triturada, por ello se busca automatizar parcial o totalmente la separación que en la actualidad se ejecuta de forma manual por seleccionadores en dos etapas, a través de una clasificación primaria y una secundaria, cada una compuesta por 3 personas, quienes detectan visualmente la cuarcita (nombre técnico de la roca que contiene sílice), para apartarlas del proceso.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el área de producción de la planta de Río Claro ubicada en la Mina la Peña, donde se lleva a cabo el proceso productivo de reducción y clasificación de tamaño de rajones de Caliza y Dolomita, suministrados por el proceso de minería, se requiere del diseño una etapa mecánica controlada por un sistema de reconocimiento de imágenes que se encargue de la separación de roca apta para el proceso de calcinación de la que no lo es, reemplazando parcial o totalmente la intervención de personal que actualmente selecciona de forma manual identificando a través de una inspección visual la caliza triturada de 40mm-80mm (malla 40mm – malla 80mm) que es nociva para el horno en el cual se calcina la roca. Éste, al igual que los demás productos terminados y suministrados por Calina Ltda., son certificados en sus propios laboratorios, lo cual garantiza que el producto cuente con las especificaciones físicas, químicas y demás requisitos exigidos por los clientes.

4 MARCO TEÓRICO

En la zona de Río Claro, Antioquia, las rocas más abundantes son las rocas metamórficas (mármoles calcínicos y dolomíticos, esquistos y cuarcitas), y en menor medida se presentan las rocas ígneas (monzonitas, diques y silos), las cuales representan menos del 5% de las rocas encontradas. También se hallan depósitos cuaternarios, que son principalmente aluviales. El foco de interés en este caso se centra en el mármol calcínico que es denominado así porque es una roca metamórfica formada a partir de calizas. En la zona el tamaño de grano de los mármoles calcínicos varía desde grueso a fino. Parece haber una relación entre el tamaño de grano del mármol y la cantidad de grafito presente, ya que el grafito inhibe el fácil crecimiento de los cristales de calcita, pues es la norma general que los mármoles oscuros tienen tamaño de grano fino, son masivos y el color varía en toda la gama de grises de blanco a gris oscuro, que depende de la cantidad de grafito presente, así, a mayor cantidad de grafito más oscuro es el mármol. Los mármoles calcínicos usualmente se hallan intercalados con bandas y láminas de cuarcita (sílice). Para el proceso de calcinación al que es destinado el mármol calcínico triturado entre 40mm-80mm (malla 40mm – malla 80mm), es nociva la presencia de sílice por encima del 1% ya que ocasiona daños en el horno que inclusive pueden llevar a la necesidad de apagarlo generando pérdidas para el cliente, por lo que debe ser removida la mayor cantidad de roca con alto contenido visible de sílice, acción que se realiza de forma manual por personal calificado.

En la actualidad el uso de tecnologías para el control y monitoreo de procesos industriales, aparatos, dispositivos o máquinas, que funcionen automáticamente reduciendo la intervención humana vienen en alza. En el caso de los sistemas de visión artificial utilizados para el reconocimiento y manipulación de objetos por medio de sistemas mecánicos, labor que antes se realizaban de manera visual y manual, se dispone de un sistema de visión artificial donde se tienen las etapas de adquisición de la imagen, iluminación de la escena a capturar, procesamiento a partir de la imagen digitalizada donde se determinan y extraen las características de interés, realizando un reconocimiento para posteriormente enviar una señal de mando que accionará el sistema de clasificación o separación [3].

En la industria donde se emplea la visión basada en sistemas de clasificación automatizados, para objetos grandes, tales como frutas o verduras enteras o materiales extraños de tamaño similar (piedras, terrones de tierra, etc.) el rechazo mecánico es el más adecuado para desviar los objetos. El dispositivo se conforma comúnmente de un banco de accionadores mecánicos tales como los dedos o paletas [4]. Normalmente los accionadores de rechazo mecánicos se encuentran ubicados a lo ancho del medio conductor que lleva el flujo de producto entrante. Cuando una decisión de aceptación/rechazo se toma en base a los resultados de exploración óptica, se envía una señal a uno o más de los accionadores de rechazo mecánicos, en respuesta a esto, el correspondiente accionador se activará y expulsará el producto.

Los sistemas electroneumáticos son utilizados frecuentemente en máquinas e instalaciones, debido a la gran velocidad de transmisión de las señales ya que en una línea eléctrica la distancia no tiene consecuencia en el tiempo de respuesta, a diferencia de una línea neumática. Su principal aplicación se encuentra en aquellos casos en los que el aire comprimido se usa como fuente de energía con ayuda de los actuadores [5].

Visión artificial: la también llamada visión asistida por computadora, es uno de los subcampos de la inteligencia artificial, cuyo propósito es realizar la programación de un computador para que este logre “entender” las características de una imagen o escena [3].

Neumática: es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos [6].

Aire comprimido: es una determinada masa de aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor [6].

Actuadores neumáticos: su función es transformar la energía neumática en trabajo mecánico y movimiento rectilíneo que consta de avance y carrera de retroceso [6].

Electroneumática: la energía eléctrica substituye a la energía neumática como el elemento natural para la generación y transmisión de las señales de control que se ubican en los sistemas de mando [6].

Electroválvulas: pueden ser usadas como elementos intermedios de control cuando se acude a ellas para accionar los actuadores que ejercerá el trabajo necesario para un proceso, también se pueden usar como elementos finales de control cuando ellas mismas son el elemento que actúa sobre el proceso [6].

5 ESTADO DEL ARTE

Las empresas de la industria minera que cuentan con plantas donde se lleva a cabo un proceso productivo que consiste en la reducción y clasificación de tamaño de rajones de minerales calcáreos que además cuentan con la presencia de minerales indeseables para determinadas aplicaciones del sector industrial y/o agrícola deben realizar la separación de los mismos. Es el caso de la caliza triturada de 40mm-80mm (malla 40 mm– malla 80mm) que va sobre una banda transportadora, donde se aparta la roca apta para el proceso de calcinación de la que no lo es, debido a que este producto debe cumplir con unas especificaciones establecidas para la satisfacción del cliente.

5.1 Especificaciones de la caliza 40mm-80mm apta para el proceso de calcinación

La caliza cuyo nombre técnico es mármol calcítico, es rica en calcio y se considera de buena calidad y apta para el proceso de calcinación si cumple con los siguientes requerimientos:

Tabla 1. Especificaciones de caliza apta para la calcinación.

Componente	Porcentaje
Calcio	> 54%
Sílice	< 1%
Residuos insolubles	< 1,5%

5.2 Separación de rocas con presencia de sílice (Cuarcita)

El principal motivo por el cual se realiza la separación de la roca, es que la zona donde se encuentra ubicada la mina (en el SE del departamento de Antioquia, en jurisdicción del municipio de Sonsón, la cual se halla aproximadamente a unos 160Km de Medellín, capital del departamento de Antioquia), cuenta con la alta presencia de sílice contenida en el mármol calcítico (caliza), que geológicamente se halla en forma de bandas intercaladas que logran diferenciarse por su tono oscuro que resalta en la roca triturada, por lo que actualmente la separación se ejecuta manualmente por seleccionadores en dos etapas, a través de una clasificación primaria y una secundaria, cada una compuesta por 3 personas, quienes detectan visualmente la cuarcita (nombre técnico de la roca que contiene sílice), para apartarlas del proceso.



Ilustración 1. Caliza sin presencia de bandas de sílice.



Ilustración 2. Caliza con presencia de bandas de sílice.

5.3 Efectos de la presencia de sílice en el proceso de calcinación

Debido a que la caliza está compuesta del mineral llamado calcita cuyo punto de fusión es de 1098 K (825 °C) [1], el cual es bajo en comparación con el de la sílice que tiene un valor de 1986 K (1713 °C) [2], por lo que la caliza se calcina sin ningún problema, pero la sílice es nociva para este proceso, ya que, en vez de calcinarse, se convierte en un tipo de pasta que se adhiere al horno, alterando enormemente su buen funcionamiento, por lo que en ocasiones debe ser apagado para ser removida.

5.4 Procesos y máquinas similares

La visión artificial trata de simular los procesos visuales del hombre y analizarlos por medio de un cerebro al igual que los seres humanos, de tal manera que, si los hombres pueden transmitir imágenes tomadas por medio de la vista y analizarlas utilizando pulsos enviados al cerebro, una máquina puede utilizando una cámara web, captar imágenes y enviarlas a un procesador, listo para analizarlas de tal manera que la máquina pueda examinar el color y la forma de ciertos objetos. En la actualidad se han llevado a cabo un sin número de avances en lo que a la visión artificial respecta y a los sistemas de procesamiento de imágenes, debido a que es un campo de un alto potencial.

La tarea de identificar desde la cámara un objeto específico con el procesador para que sea clasificado por un mecanismo, constituye una aplicación muy frecuente de un sistema de visión artificial, que, al estar articulado con un seleccionador de productos, permite seleccionar el objeto en forma y color, que requiere sea elegido con el fin de automatizar procesos de producción. En la industria se conocen múltiples sistemas de visión artificial que se encargan de inspeccionar objetos y controlar la manipulación de sistemas mecánicos, encargados de rechazar piezas que no cumplen con ciertas características. Lo que se busca es proporcionar una identificación más exacta de los objetos con una alta precisión de expulsión y la máxima eficiencia de clasificación, como es el caso de un sistema de visión artificial bastante interesante que posee gran similitud a lo que se busca con este proyecto que es el de la máquina **"Tomato Sniper"** o franco tirador de tomate [7], que es un clasificador electrónico que proporciona una identificación eficaz del objeto con una gran velocidad de expulsión. El dispositivo es capaz de distinguir correctamente los tomates verdes, así como los terrones de tierra y piedras. El sistema de expulsión puede alcanzar una frecuencia máxima de rechazo de hasta 35 disparos/segundo, el cual cuenta con actuadores neumáticos (de diámetro 20 mm) con dedos o paletas acopladas que se suministran con aire lubricado a baja presión (4 bar) (**Ilustración 3**). Los cilindros están apenas estresados y, por lo tanto, son duraderos; Las válvulas solenoides son de conmutación rápida.



Ilustración 3. Máquina Tomato Sniper.

En sistemas de clasificación automatizados para objetos grandes desde frutas, verduras hasta materiales extraños de tamaño similar como en el caso de escombros o rocas, el rechazo mecánico es el más utilizado y adecuado para desviar los objetos a través de bancos de accionadores.

El mecanismo de expulsión en general se compone de una paleta acoplada a un cilindro impulsor que mueve un eje con soporte de rodamiento que impulsa la paleta y una falda para proteger el rodamiento (**Ilustración 4**), donde la paleta se encarga de golpear selectivamente uno o más objetos tales como escombros, rocas, comestibles inmaduros y maduros para clasificar; el pistón, que incluye un eje de accionamiento que se extiende desde el cilindro a través de un cojinete para enganchar y accionar dicha paleta; la falda cilíndrica alargada que tiene una sección que se desliza a lo largo y cubre el exterior de dicho cilindro alargado y una porción de diámetro reducido que se acopla a dicho eje de transmisión, por lo que cuando se genera el movimiento hacia atrás y hacia adelante, la falda se mueve con el eje para cubrir continuamente el exterior de dicho cilindro alargado [8].

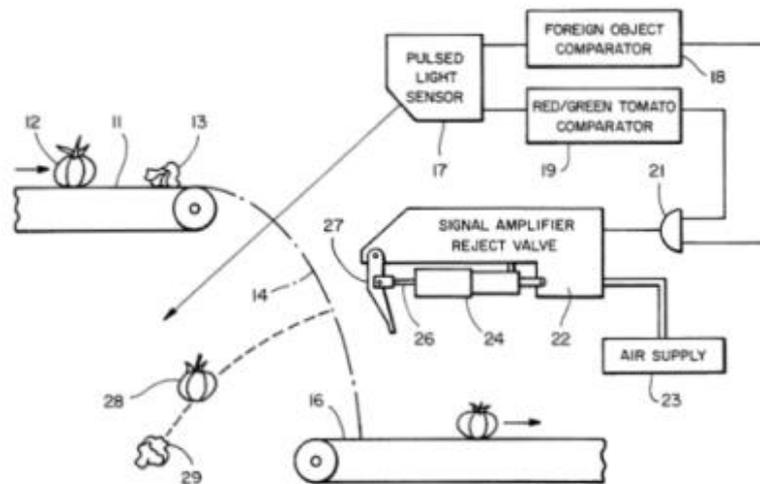


Ilustración 4. Esquema de funcionamiento sistema de rechazo mecánico.

En la industria alimentaria o de otro tipo donde se requiere expulsar artículos de un alto flujo de productos que caen en grandes volúmenes a altas velocidades, la clasificación por dedos o paletas (**Ilustración 5**) es frecuentemente utilizada. En el caso de la clasificación de tomates, se les hace fluir frente a un detector óptico en una máquina de este tipo para separar los elementos de calidad inferior del producto estándar, que tenga características indeseables o a elementos no deseados como coágulos de suciedad, tallos y hojas. Por ejemplo, los tomates verdes se pueden eliminar de un lote de tomates que son principalmente de color rojo, o viceversa. El término puede aplicarse a colores de productos o longitudes diferentes u otras calidades que sean perfectamente aceptables, pero que no estén dentro de los límites estándar de calidad establecidos para productos estándar aceptables para clasificación particular [9].

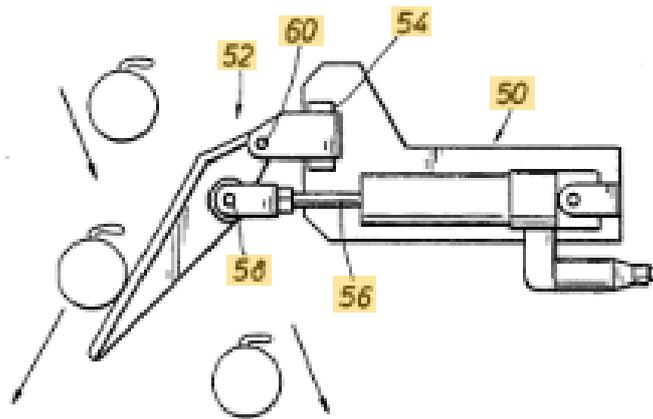


Ilustración 5. Sistema de expulsión por dedos o paletas.

También pueden encontrarse mecanismos de rechazo mecánico con distintas ubicaciones en máquinas que cuentan con superficies inclinadas a través de las cuales se mueven por gravedad los objetos a clasificar, en donde una sección acoplada a un accionador hace cambiar de trayectoria los objetos rechazados, dirigiéndolos a un depósito de recolección [10].

6 OBJETIVOS

6.1 Objetivo general

Diseñar sistema mecánico controlado por un sistema de reconocimiento de imágenes para la separación de roca de la empresa Calina Ltda.

6.2 Objetivos específicos

- Automatizar parcial o totalmente el proceso de separación de roca.
- Mejorar la eficiencia del proceso de separación, a través de la disminución de la cantidad de roca de baja calidad que llega al cliente.
- Aumentar el rendimiento de toneladas/hora de roca clasificadas, conservando un alto nivel de detección, empleando un sistema mecánico de respuesta rápida para el rechazo.

7 METODOLOGÍA

Para el diseño de la etapa mecánica controlada por un sistema de reconocimiento de imágenes para la separación de roca se realizarán las siguientes actividades:

- Realización del Estado del arte, en donde se detallarán las generalidades que rodean la separación de roca además de la investigación y recopilación de información, acerca de máquinas que realizan el proceso de clasificación de elementos a partir de la visión artificial. Búsqueda en bases de datos y aplicaciones industriales.
- Investigación de mecanismos de respuesta rápida utilizados para el rechazo de objetos en grandes volúmenes luego de ser detectados a través del procesamiento de imágenes.
- Determinación de los requerimientos de la máquina, realizando las mediciones de la cantidad de rocas/segundo que se tendrían para clasificar, al aumentar la velocidad de trituración llegando a las toneladas/hora que se espera que opere la máquina.
- Diseño preliminar en donde se comenzará a identificar las funciones que deberá realizar la máquina, planteando una idea inicial según el objetivo que se quiere llevar a cabo que es la clasificación.
- Diseño conceptual en donde se generan las posibles etapas que se tendrán en cuenta para el planteamiento de alternativas que llevarán al diseño final de acuerdo a las especificaciones, requisitos y necesidades planteadas.
- Planteamiento, selección y análisis de alternativas de acuerdo a las etapas definidas en el diseño conceptual buscando obtener la mejor opción para satisfacer la necesidad específica que requiere el proceso de separación de roca.
- Determinación de los equipos a utilizar en el sistema de visión artificial que logren identificar de manera de manera correcta y rápida las rocas, logrando diferenciar un mineral de otro, de la mano de pruebas que corroboren su funcionamiento. Paralelamente se realizará el diseño de la etapa mecánica a partir de las alternativas elegidas, en donde se incluyen cálculos, selección de componentes, modelo 3D y elaboración de plano de ensamble.

8 CRONOGRAMA

Tabla 2. Cronograma de actividades.

ETAPA	ACTIVIDAD	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY
1	Identificación del problema						
	Revisión bibliográfica						
	Estado del arte						
2	Mediciones para establecer requerimientos						
	Elaboración de diseño conceptual						
	Diseño preliminar y alternativas						
	Selección de alternativa						
	Análisis y modificaciones de diseño conceptual						
3	Cálculos de ingeniería						
	Elaboración de partes de la máquina (CAD)						
	Ensamble de la máquina						
	Elaboración de plano de ensamble						

9 PROCESOS DE DISEÑO

9.1 Análisis funcional

Para realizar el proceso de clasificación de caliza triturada de 40mm-80mm (malla 40-malla 80) en donde es removida la roca con contenido de sílice que no es apta para la calcinación, se plantearán diferentes alternativas de diseño enfocados en los principales componentes que intervienen cada etapa del proceso, para lo que se utilizará un diagrama de análisis funcional de caja transparente, para determinar la mejor solución con base a requerimientos y especificaciones.

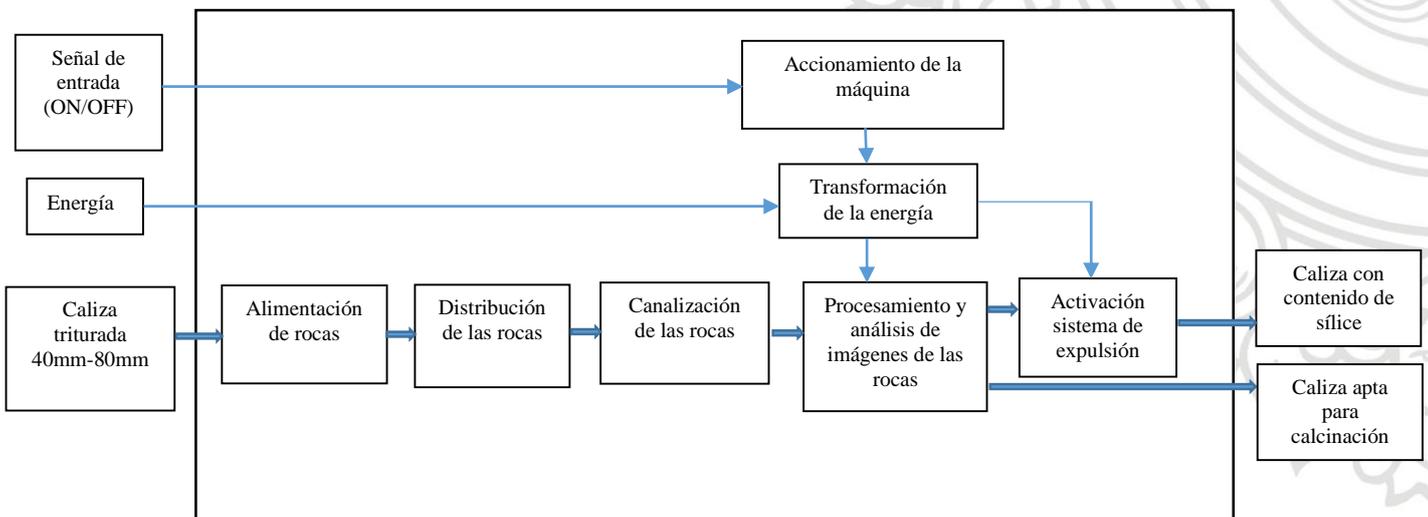


Ilustración 6. Análisis funcional máquina clasificadora.

En este análisis se tuvo en cuenta las etapas principales que conformarían el proceso de clasificación los cuales son alimentación, distribución, canalización, procesamiento y análisis de imágenes de las rocas y activación o no del sistema de expulsión de acuerdo a la calidad de la roca para la posterior salida tanto de la caliza con contenido de sílice como la caliza apta para el proceso de calcinación, ambas por separado. Los requerimientos de la energía van ligados a sistemas que transformen la energía para dar movimiento o activación a las diferentes etapas del proceso tales como el proceso de visión artificial, las señales de activación del sistema de expulsión y la señal que controle el accionamiento de la máquina.

9.2 Diseño preliminar

Inicialmente, la roca caerá a un sistema de alimentación (**Ilustración 7.a**), que consistirá en una tolva encargada de guiar las rocas hacia el sistema de distribución (**Ilustración 7.b**), que constará de un primer elemento de guiado superior (**Ilustración 8.a**), que dirigirá las rocas hacia dos elementos de guiado inferiores (**Ilustración 8.b**), que tendrán la función de repartir las rocas sobre 5 canales que se encuentran ubicados en el sistema de clasificación (**Ilustración 7.c**), que lo integrarán tres carriles de alivio (**Ilustraciones 9.b, 9.c y 9.d**) y otros dos carriles (**Ilustraciones 9.a y 9.d**) donde se realizará el procesamiento de imagen de las rocas y se generará el rechazo de la roca no deseada.

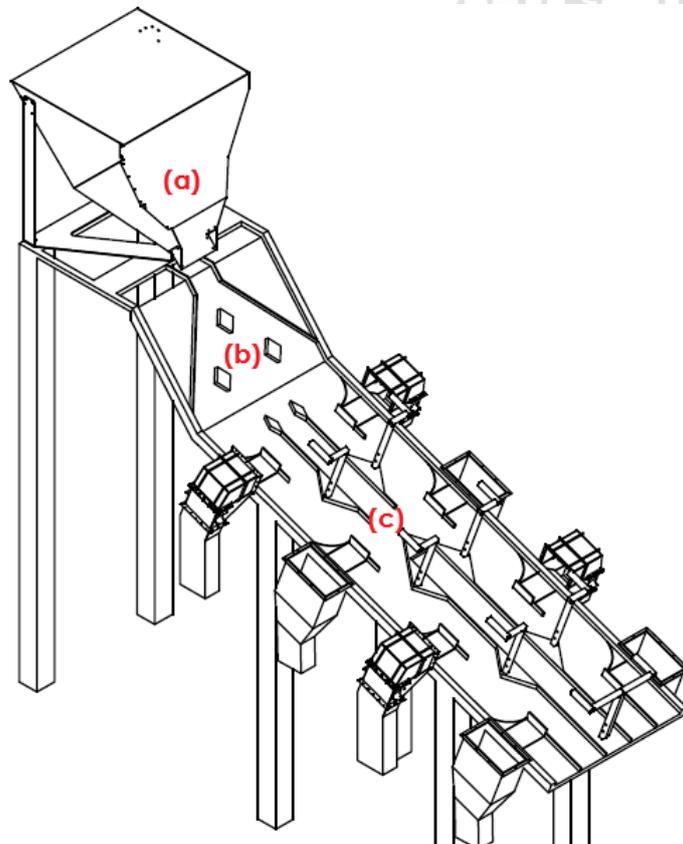


Ilustración 7. Esquema preliminar global máquina clasificadora.

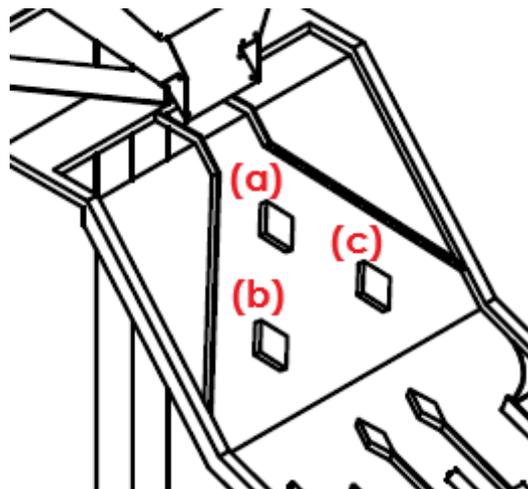


Ilustración 8. Esquema preliminar sistema de distribución.

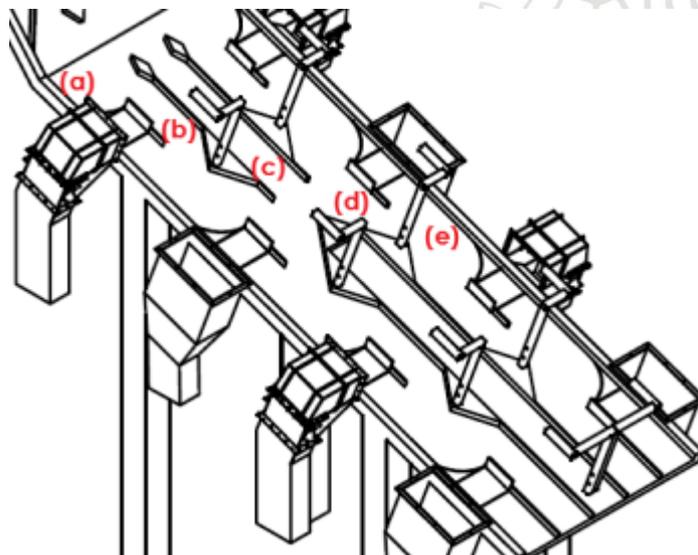


Ilustración 9. Esquema preliminar sistema de clasificación.

El objetivo de la configuración de los canales ubicados sobre una superficie inclinada es que se guíen las rocas que se transportan por efectos de gravedad, hacia el sistema de clasificación donde se tienen las etapas de detección y retirada (**Ilustración 10**), que está compuesto por cámaras que se encargarán del procesamiento de las imágenes e irán ubicadas sobre los respectivos soportes (**Ilustración 10.d**), y por último, se tendrán los mecanismos de rechazo neumático/mecánico, ubicados en los canales de los extremos (**Ilustración 10.b**), de modo que las rocas sean analizadas y seleccionadas mientras se mueven de forma descendente debido a la gravedad como se mencionaba anteriormente. La variación de la trayectoria viene ligada al momento donde se detecta y se expulsa la roca de mala calidad, ya que cuando se descubre y se rechaza, se levanta una guía (**Ilustración 10.a**) que direcciona las rocas que continúan entrando al sistema hacia los canales de alivio de los extremos que se encargan de llevar las rocas a los demás sistemas de detección y retirada, mientras vuelve a su lugar el mecanismo de rechazo.

Se contará con un tercer canal de alivio ubicado en la parte central (**Ilustración 9.c**), que transporta la roca desde el momento entran desde el sistema de distribución y se mantendrán allí hasta un desvío central que guiará las rocas hacia los sistemas de detección y retirada posteriores. Las rocas apartadas serán conducidas hacia una serie de bajantes (**Ilustración 10.c**) que llevarán al apilamiento de las mismas.

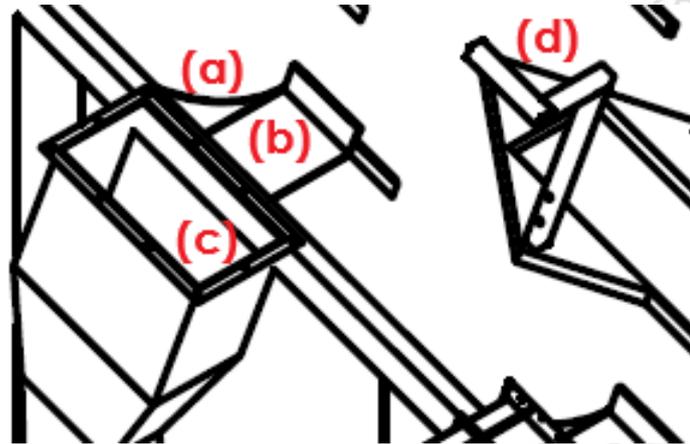


Ilustración 10. Esquema preliminar etapa de detección y rechazo.

Cabe resaltar que, en el sistema de visión de la máquina, la etapa de adquisición de imagen estaría aislada por una cubierta y contará con iluminación artificial. Básicamente la idea con esta máquina de visión es que debido a la alta cantidad de rocas que se tendrán constantemente para la clasificación, se contará con alivijs que eviten la saturación del sistema, además de contar con varias etapas de detección y retirada, por lo que una misma roca podrá ser evaluada varias veces logrando captar varios perfiles, lo que aumentaría eficiencia del proceso, la calidad del producto, permitiría un ahorro a largo plazo, recuperando la inversión realizada.

9.3 Diseño conceptual

Teniendo en cuenta tanto el diseño preliminar como que la máquina estará al final luego de la banda transportadora por donde cae constantemente la roca triturada 40mm-80mm, el sistema debe ser de respuesta inmediata a la hora de separar dependiendo de la calidad de la roca, por lo que se plantea que se tengan varias etapas constituidas por diferentes sistemas:

9.3.1 Etapa 1: Sistema de alimentación

Se encargará de llevar las rocas desde la caída de la banda generando una repartición previa a lo largo del sistema de distribución para que el flujo de las mismas no se concentre en una sola zona.

9.3.2 Etapa 2: Sistema de distribución

Sobre este caerán las rocas que vienen del sistema de alimentación, contando con cierto grado de inclinación permitiendo que las rocas circulen por efectos de gravedad. La idea es que en este sistema se distribuyan las rocas hacia diferentes zonas de análisis y expulsión, logrando previamente canalizar las rocas de tal forma que descendan una tras otra quedando a su vez centradas para que el sistema de expulsión actúe de forma precisa.

9.3.3 Etapa 3: Sistema de visión

Disponer de un sistema de visión artificial donde se tengan las etapas de adquisición de la imagen, iluminación de la escena a capturar, procesamiento a partir de la imagen digitalizada donde se determinarán y extraerán las características de interés, realizando un reconocimiento para posteriormente enviar una señal de mando que accionará el sistema de clasificación o separación. Todo el sistema de visión se encontrará en un ambiente controlado, asilado de las condiciones ambientales con luz artificial que asegure una buena iluminación.

9.3.4 Etapa 4: Sistema de expulsión

Tendrá la función de activarse cuando se reciba la señal del sistema de visión al ser detectada una roca con presencia de sílice para ser evacuada del proceso.

9.4 Alternativas de diseño

Tabla 3. Alternativas sistema de alimentación.

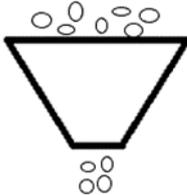
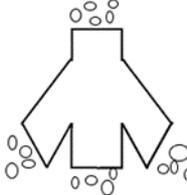
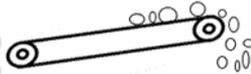
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN			
Alternativa	Nº1	Nº2	Nº3
Opción	Tolva de un ducto	Tolva de dos o más ductos	Alimentación directa de la banda
Esquema			
Descripción	Dirigir las rocas hacia una zona específica del sistema de distribución en donde elementos guía se encarguen de esparcir las rocas a través de éste.	Proporcionar una repartición inicial de las rocas a través de varios ductos para tener que al llegar al sistema de distribución sean recibidas por elementos guías o canales logrando un mayor esparcimiento a través de este.	Tener una alimentación directa de las rocas de la caída de la banda al sistema de distribución teniendo menor control sobre la zona de caída de las rocas y el lugar indicado en donde deberían estar los elementos guías.

Tabla 4. Alternativas sistema de distribución.

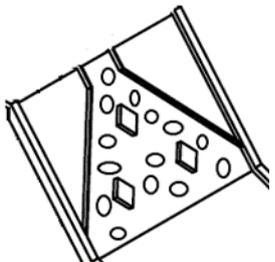
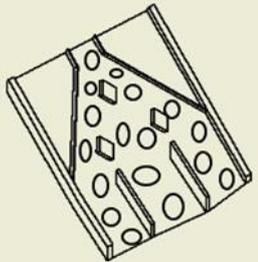
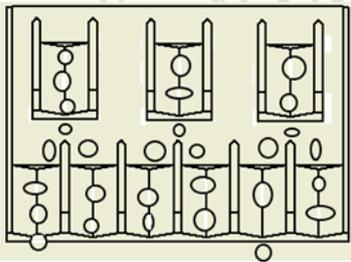
SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN			
Alternativa	Nº1	Nº2	Nº3
Opción	Plano inclinado con elementos de guiado	Plano inclinado con elementos guías y canales	Plano inclinado con configuración de canales en V
Esquema			
Descripción	Plano inclinado en el cual se tengan elementos guías que cumplan la función de repartir las rocas hacia varias zonas de detección y procesamiento de imagen que estarán ubicadas al final del sistema de distribución.	Plano inclinado en el que se cuente con elementos guías que conduzcan las rocas hacia canales ubicados al final del sistema de distribución en donde se realizará la detección y procesamiento de imagen.	Plano inclinado con un primer grupo de canales en donde caerán inicialmente las rocas dirigiéndolas hacia los extremos puntiagudos del segundo grupo de canales. Dichos extremos puntiagudos funcionarán como elementos guías para repartir las rocas sobre los canales que están ubicados al final del sistema de distribución y serán la zona de detección y procesamiento de la imagen. Al ser canales en V, se asegura que las rocas sigan la trayectoria deseada.

Tabla 5. Alternativas sistema de visión.

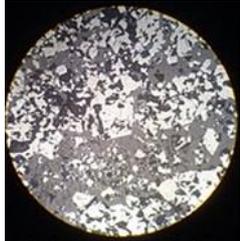
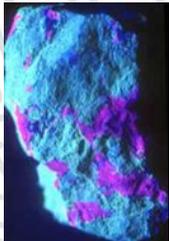
SISTEMA DE VISIÓN			
Alternativa	Nº1	Nº2	Nº3
Opción	Escala de grises	Rayos X	Rayos UV
Esquema			
Descripción	Procesamiento de la imagen digitalizada donde se determinará y extraerá la característica de interés en las rocas que es la tonalidad de grises, diferenciando un mineral del otro.	Análisis de las rocas a través de rayos X por medio del procesamiento de imágenes de radiografías tomadas a través de cámaras ópticas, proporcionando información no solo sobre la superficie del material sino también sobre la estructura interna de las rocas.	Distinción de un mineral del otro a través de su reacción frente a la luz ultravioleta facilitando el reconocimiento por parte del sistema de visión artificial.

Tabla 6. Alternativas sistema de expulsión.

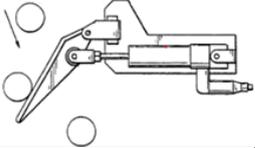
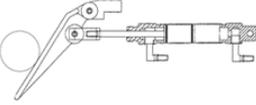
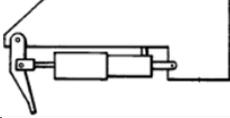
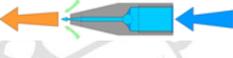
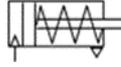
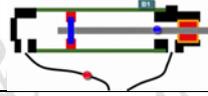
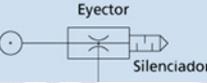
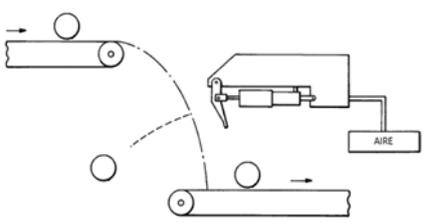
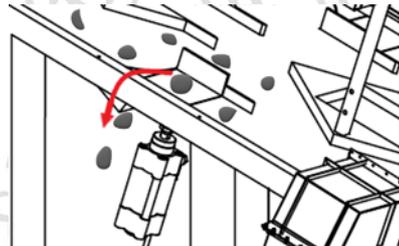
SISTEMA DE EXPULSIÓN				
Alternativa	Nº1	Nº2	Nº3	Nº4
Opción	Actuador neumático de simple efecto con paleta acoplada	Actuador neumático de doble efecto con paleta acoplada	Actuador eléctrico con paleta acoplada	Chorro de aire
Esquema				
Representación				
Descripción	Sistema de expulsión con actuador de simple efecto con paleta acoplada que a través de una articulación y de su accionamiento golpeará las rocas que serán evacuadas del proceso.	Mecanismo de expulsión que incluye un cilindro neumático de doble efecto para mover un eje con soporte de rodamiento que impulsa la paleta en caso de recibir la señal de rechazo.	Sistema de rechazo en donde la paleta es accionada por un cilindro eléctrico que incluye un conjunto de eje de pistón soportado por un sello y un rodamiento. El eje impulsa una paleta que golpea las rocas para ser removidas.	Sistema de expulsión de roca basado en eyección de chorro de aire a través de una boquilla que se encargará de cambiar la trayectoria de las rocas malas hacia la zona de rechazo.

Tabla 7. Alternativas ubicación sistema de expulsión.

UBICACIÓN SISTEMA DE EXPULSIÓN		
Alternativa	Nº1	Nº2
Opción	Evacuación de las rocas durante caída	Evacuación de las rocas durante el trayecto sobre zonas de expulsión.
Esquema		
Descripción	Luego de ser escaneadas ópticamente las rocas, en caso de ser tomada una decisión de rechazo las rocas son removidas en el aire por un banco de accionadores al caer del sistema de distribución.	Luego de pasar por el sistema de distribución las rocas pasan al sistema de clasificación compuesto por canales de análisis en los extremos que tendrán varias zonas de detección y rechazo en donde los cilindros levantan la sección encargada de desviar las rocas de su trayectoria normal hacia un conducto de rechazo.

9.5 Análisis de alternativas

9.5.1 Sistema de alimentación

9.5.1.1 Alternativa N°1: Tolva de un ducto

Al tener una tolva en donde las rocas se depositen luego de la caída de la banda transportadora concentrándolas hacia un solo ducto de salida se corre el riesgo de atascamiento debido al alto flujo de roca y a una posible acumulación posterior de las mismas, además de que se dirigen las rocas hacia una cierta zona del sistema de distribución.

9.5.1.2 Alternativa N°2: Tolva de dos o más ductos

Con una tolva de dos o más ductos se garantiza una primera repartición de las rocas que caen de la banda transportadora y se proporciona un mayor esparcimiento sobre varias zonas del sistema de distribución, en donde se tendría la siguiente etapa de división previa de las rocas hacia varias zonas de análisis y detección a través del sistema de visión.

9.5.1.3 Alternativa N°3: Alimentación directa de la banda

Se desperdiciaría una etapa previa controlada de repartición que podría lograrse con el sistema de alimentación debido a que las rocas vienen esparcidas de forma impredecible por la banda transportadora y se dificultaría saber el lugar ideal de colocación de los elementos guías sobre el sistema de distribución para el esparcimiento de las rocas sobre este para enviarlas a diferentes zonas de detección y análisis.

9.5.2 Sistema de distribución

9.5.2.1 Alternativa N°1: Plano inclinado con elementos de guiado

Al contar con un sistema de distribución sobre un plano inclinado las rocas descenderían por gravedad sin necesidad de un medio adicional como vibración, contando con elementos de guiado con los que se lograría un esparcimiento de las rocas sobre este, pero se dificultaría tener zonas definidas para ubicar el sistema de visión para realizar sobre este sistema el análisis y la detección debido a que las rocas caerían de manera desordenada, trasladando la acción de canalización, detección y análisis del producto al sistema de clasificación.

9.5.2.2 Alternativa N°2: Plano inclinado con elementos guías y canales

Tener un sistema de distribución con inclinación en donde las rocas descieran por efectos de gravedad las cuales son esparcidas a través de elementos de guiado para ser canalizadas al final en donde se tendrá el sistema de visión y serán evaluadas las rocas. Con ayuda de los canales se sabrá dónde debe ir el respectivo sistema de expulsión que en caso de recibir una señal de rechazo será más preciso al golpear la roca.

9.5.2.3 Alternativa N°3: Plano inclinado con configuración de canales en V

Luego del sistema de alimentación de dos o más ductos las rocas caerían a una configuración de canales en V compuestos por dos etapas. La primera etapa se encarga de recibir las rocas del sistema de alimentación y conducir las hacia los extremos puntiagudos del segundo grupo de canales que funcionan como elementos guías para dividir las en estos. Sobre este segundo grupo de canales estará dentro de una cubierta el sistema de visión, por lo que allí estará la etapa de detección y rechazo. Una ventaja de los canales en V es que la roca se mantiene centrada y es dirigida con mayor precisión hacia el lugar deseado, en especial hacia mecanismo de expulsión para que este actúe con mayor exactitud y acierto para remover las rocas de baja calidad.

9.5.3 Sistema de visión

9.5.3.1 Alternativa N°1: Escala de grises

Continuar con la identificación de las rocas de mala calidad tal como se hace actualmente, en donde se diferencian los minerales a través de las tonalidades de grises, ya que la sílice se diferencia de la caliza por su tono oscuro que resalta en la roca triturada. La diferencia es que la separación ya no se realizaría manualmente, sino que se aprovecharía esta característica de escala de grises que presenta la roca a través de un sistema de visión, donde luego de la captura y el procesamiento de la imagen se generaría una decisión de aceptación o rechazo según sea la calidad de la roca. El sistema estaría en un ambiente controlado, con iluminación artificial aislado de las condiciones ambientales.

9.5.3.2 Alternativa N°2: Rayos X

Realizar la identificación de la composición de la roca para diferenciar entre los minerales de caliza y sílice a través de rayos X requiere equipos especializados y de tiempos considerables para lograr la identificación ya que

no sería inmediata y no se alcanzaría a cubrir la necesidad que es un sistema de visión ágil.

9.5.3.3 Alternativa N°3: Rayos UV

Facilitar la identificación de la caliza y la sílice a través de las propiedades de fluorescencia que pueden presentar algunos minerales debido a la presencia de impurezas llamadas activadores. Con esto, el sistema de visión a través de filtros para las cámaras y lámparas de luz UV para la iluminación, podrían ayudar a una identificación más rápida y eficaz.

9.5.4 Sistema de expulsión

9.5.4.1 Alternativa N°1: Actuador neumático de simple efecto con paleta acoplada

Los cilindros de simple efecto son aquellos que solo realizan un trabajo cuando se desplaza su elemento móvil (vástago) en un único sentido; es decir, realizan el trabajo en una sola carrera de ciclo. El retorno se produce por muelle, lo que devuelve al vástago a su posición de partida por lo que debido a la alta frecuencia a la que trabajaría el pistón podría provocar un gran desgaste del cilindro debido al impacto producido en el retroceso.

9.5.4.2 Alternativa N°2: Actuador neumático de doble efecto con paleta acoplada

Los cilindros de doble efecto son capaces de producir trabajo útil en dos sentidos, ya que disponen de una fuerza activa tanto en avance como en retroceso, es decir que el aire comprimido genera los dos movimientos de entrada y salida del vástago. Para el sistema de expulsión lo ideal es implementar un actuador neumático de este tipo y debido a que la velocidad de expulsión es bastante alta se debería implementar un banco de varios actuadores para que puedan trabajar secuencialmente o por etapas.

9.5.4.3 Alternativa N°3: Actuador eléctrico con paleta acoplada

Para la expulsión por medio de actuador eléctrico es posible garantizar la velocidad debido a la alta frecuencia que demandaría el alto flujo de rocas y la fuerza que puede alcanzarse con un actuador removería sin problema las rocas, pero al ser un elemento eléctrico se debe garantizar un alto grado de protección IP, asimismo en el caso de que el vástago resulte golpeado es difícil la consecución de este repuesto.

9.5.4.4 Alternativa N°4: Chorro de aire

Con el sistema de expulsión por soplo o chorro de aire posiblemente se tenga una demanda de altos consumos de aire y por consiguiente un alto consumo energético del compresor, teniendo en cuenta que se tendrían varios mecanismos de expulsión y que la frecuencia es bastante alta, además de que las rocas son de peso considerable por lo que debe asegurarse siempre un soplo de aire con caudal alto para la desviación garantizando un suministro de aire muy robusto y con sistemas de tanques pulmón grandes.

9.5.5 Ubicación sistema de expulsión

9.5.5.1 Alternativa N°1: Evacuación de las rocas durante caída.

Tener el sistema de expulsión actuando durante la caída de las rocas luego del sistema distribución hace que este sea más compacto y ocupe menos espacio ya que la expulsión sería inmediata en caso de que la roca sea de mala calidad. Que el sistema de distribución finalice en canales en V, facilitaría que las rocas bajen alineadas por lo que el mecanismo de expulsión actuaría con mayor acierto al impactar la roca que debe ser removida.

9.5.5.2 Alternativa N°2: Evacuación de las rocas durante el trayecto sobre zonas de expulsión.

Los sistemas de visión y de expulsión vendrían ubicados en varias zonas a lo largo de los canales de los extremos del sistema de expulsión que contaría con un grado de inclinación de tal forma que las rocas descieran a través de este por gravedad, lo que implicaría que un mayor espacio ocupado por la máquina y mayor probabilidad de atascamientos.

9.6 Criterios y selección de alternativas

A continuación, se muestra los criterios de selección y asignación de valores cuantitativos para elegir la alternativa adecuada para cada sistema, con calificación de 1 a 5, siendo 1 menos aconsejado y 5 muy aconsejable.

Tabla 8. Criterios de selección sistema de expulsión.

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN			
Criterio	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3
Principio de funcionamiento	3	4	3
Distribución de las rocas	2	5	3
Atascamiento de rocas	2	4	5
Facilidad de montaje	4	4	5
Direccionamiento de las rocas	3	5	3
Total	14	22	19

Tabla 9. Criterios de selección sistema de distribución.

SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN			
Criterio	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3
Esparcimiento de las rocas	3	4	5
Control de la trayectoria	2	3	5
Facilidad de montaje	4	4	3
Atascamiento de las rocas	4	4	4
Control de posicionamiento de sistemas de expulsión	1	3	5
Total	14	18	22

Tabla 10. Criterios de selección sistema de visión.

SISTEMA DE VISIÓN			
Criterio	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3
Velocidad de detección	4	1	4
Extracción de características	4	5	5
Costos	1	2	1
Mantenimiento	3	2	3
Obtención de repuestos	4	4	3
Total	16	14	16

Tabla 11. Criterios de selección sistema de expulsión.

SISTEMA DE EXPULSIÓN				
Criterio	Alternativa N°1	Alternativa N°2	Alternativa N°3	Alternativa N°4
Costos	4	4	3	3
Consumo de aire	5	5	5	1
Grado de protección de componentes	4	4	1	4
Expulsión de rocas	5	5	4	2
Alta frecuencia de expulsión	5	5	5	5
Facilidad de montaje	5	5	4	4
Operación prolongada	3	4	3	4
Mantenimiento	1	4	3	4
Total	32	36	28	27

Tabla 12. Criterios de selección ubicación sistema de expulsión.

UBICACIÓN SISTEMA DE EXPULSIÓN		
Criterio	Alternativa N°1	Alternativa N°2
Sistema compacto	5	3
Facilidad de montaje	5	2
Espacio requerido	5	2
Atascamientos	5	3
Total	20	10

Una vez realizada la evaluación cuantitativa de las alternativas, se eligen las que tuvieron mayor puntaje. Éstas, se muestran a continuación:

Tabla 13. Selección de alternativas.

Etapa	Alternativa elegida	
Sistema de alimentación	N°2: Tolva de dos o más ductos.	
Sistema distribución	N°3: Plano inclinado con configuración de canales en V.	
Sistema de visión	N°3: Rayos UV.	Nota: En caso de que los minerales no presenten fluorescencia se elegirá la alternativa N°1.
	N°1: Escala de grises.	
Sistema de expulsión	N°2: Actuador neumático de doble efecto con paleta acoplada.	
Ubicación sistema de expulsión	N°1: Evacuación de las rocas durante la caída.	

9.7 Consideraciones y lista de requerimientos

Según las necesidades de la empresa Calina Ltda, se especifican aquellos requisitos y expectativas sobre lo que se espera obtener con la máquina. Además, de acuerdo a mediciones de campo realizadas en la banda de salida por donde se transporta la roca triturada de 40mm-80mm, se encontró que se pueden llegar a tener hasta 40 rocas por segundo con pesos de hasta 800gr, por lo que tanto el sistema de visión artificial como el de expulsión deben ser de respuesta inmediata.

Tabla 14. Lista de requerimientos.

LISTA DE REQUERIMIENTOS		
Parte	Descripción	Requerimientos
Roca	Geometría	(40-80)mm
Máquina		Alto: (1500-2300)mm
		Ancho: (500-1500)mm
		Largo: (1000-1800)mm
Roca	Cantidad	Hasta 40 rocas/segundo distribuidas en varias zonas de análisis y expulsión
Máquina	Cinemática	Expulsión: (10-20) ciclos/seg
Máquina	Presión	Presión de trabajo: (3-8)Bar
Roca	Materiales	Caliza (Mármol calcítico)
Máquina		Estructurales: Acero estructural
		Paleta de expulsión: Acero inoxidable
Máquina	Producción	(20-35)Ton/hora
Máquina	Operación	Automática o parcialmente automática
Máquina	Condiciones ambientales	Ambiente abrasivo, alta cantidad de material particulado.
Máquina	Seguridad	Indicadores de zonas peligrosas, paro de emergencia, redondeo de aristas.
Roca	Calidad	Contenido de sílice < 1%
Máquina	Mantenimiento	Reducción de tiempos de mantenimiento, minimizar número de sistemas de ensamble y desensamble fácil por sistemas modulares de fácil acceso y mínimo de herramientas necesarias.
Máquina	Ergonomía	Botones, controles y sensores visibles y accesibles.
Máquina	Presupuesto	\$150'000.000-\$300'000.000

10 SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL

10.1 Visión artificial

La visión artificial que es conocida como "Visión por Computadora", se define como el conjunto de todas aquellas técnicas y modelos que nos permiten la adquisición, procesamiento, análisis y explicación de cualquier tipo de información espacial del mundo real obtenida a través de imágenes digitales. Por lo anterior, es la ciencia que estudia, utilizando computadores digitales, los procesos de obtención, caracterización, interpretación de la información procedentes de imágenes tomadas de un mundo tridimensional [11].

La necesidad de ver artificialmente evoluciona a medida que el ser humano es capaz de estudiar su propio cuerpo y demostrar que cerca del 60% de la corteza cerebral del hombre se dedica a procesar la información visual. Los sistemas de visión artificial han evolucionado poco a poco a medida que la tecnología ha evolucionado y ha permitido la creación de sensores, computadoras y algoritmos de procesamiento más potentes. De forma básica un sistema de visión artificial está conformado por varios subsistemas capaces de realizar dos funciones básicas [11]:

1. Captar la información de la escena real mediante la proyección en una imagen.
2. Analizar las imágenes para extraer la información que contienen.

10.1.1 Iluminación.

La iluminación de una escena es uno de los puntos sensibles en un sistema de visión. Las fuentes de luz se deben escoger en función de la aplicación que se desea realizar, una fuente mal escogida puede traer consigo un sin número de anomalías difíciles de eliminar como son el caso de las sombras, las reflexiones y el bajo contraste. Es por ello que el conocimiento del tipo de iluminación a utilizar se debe tener muy en cuenta [11].

10.1.2 Análisis de imágenes digitales.

Una vez captada la imagen por el sensor y transmitida al dispositivo donde será procesada, el paso siguiente es realizar la extracción de la información explícita que encierra dicha imagen, por ejemplo, posición de los objetos, forma, textura, etc. Las técnicas utilizadas para realizar la extracción de esta información se dividen en cuatro grupos fundamentales [11]:

10.1.2.1 Pre procesado.

Este grupo de funciones se especializa en realizarle mejoras a la imagen captada, es decir, resalta un sin número de características que conllevan a elevar la calidad de la imagen a la hora de ser analizada. Dentro de las funciones más comunes se encuentra la eliminación del ruido, el cambio de contraste y brillo, las transformaciones geométricas entre otras [11].

10.1.2.2 Segmentación.

La clasificación de la escena en sus partes u objetos es a lo que se le llama segmentación de la imagen. Estas técnicas se basan en encontrar donde se encuentran grupos de pixels que conformen un ente a clasificar (objeto), para ello estas técnicas se basan en los principios de discontinuidad y similitud [11].

10.1.2.3 Descripción.

Estas técnicas se basan en extraer del ente a estudiar, las características que lo diferencian de los demás. Para realizar esta extracción de características es necesario realizar un estudio del objeto a analizar y extraer con cuidado las características invariantes que posea. Estas deben ser, generalmente, independientes a rotaciones, escalamientos, corrimientos de dicho objeto. Dentro de estas características podemos mencionar, área, perímetro, circularidad, patrones de textura, rasgos de formas, etc [11].

10.1.2.4 Reconocimiento.

Una vez obtenidas las características que describen el objeto a estudiar, se pasa al reconocimiento del mismo. Esto, no es más que la clasificación, utilizando cualquier técnica conocida, llámese inteligencia artificial, búsquedas deductivas en base de datos, comparación con patrones, etc. Dentro de las técnicas más utilizadas se encuentra la utilización de redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos y métodos estadísticos avanzados [11].

10.2 Rayos UV

10.2.1 Fluorescencia en la Calcita

La mayoría de los minerales no son fluorescentes cuando son puros, debiendo sus propiedades a la presencia de impurezas llamadas "activadores". Diferentes activadores pueden conferir a un mismo mineral diferentes colores y las cantidades y tipos de activadores varían de un mineral a otro. La calcita es frecuentemente fluorescente presentando diversas tonalidades en función de los activadores presentes [12].

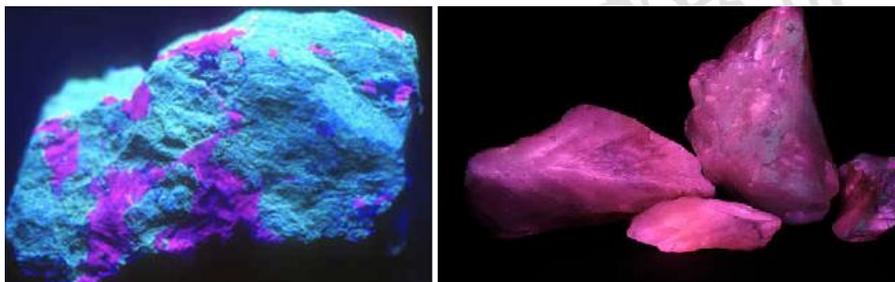


Ilustración 11. Izquierda: Calcita (rosácea) y willemita (azul-verdosa); Derecha: Calcita fluorescente en color rosa bajo luz UV.

Por lo general los minerales fluorescentes muestran un solo color. Otros minerales tienen múltiples colores de fluorescencia. La calcita puede presentar fluorescencia de color rojo, azul, blanco, rosado, verde y naranja. Algunos minerales son conocidos para exponer varios colores de fluorescencia en una sola muestra. Estos pueden ser bandas minerales que presentan varias etapas de crecimiento con composiciones que cambian. Muchos minerales

fluorescentes presentan un color bajo luz UV de onda corta y otro color bajo luz ultravioleta de onda larga [13].

Tabla 15. Rango de longitud de onda ultravioleta.

	Longitud de la onda	Abreviaciones
Onda Corta	100-280 nm	SW/UVC
Onda Media	280-315 nm	MW/UVB
Onda Larga	315-400 nm	LW/UVA

La calcita en onda larga (365 nm) a menudo presenta colores rosas, aunque puede llegar a presentar colores como blanco, blanco azulado, blanco amarillento, blanco rosado, amarillo, amarillo anaranjado, naranja, rojo, violeta, rosa salmón, amarillo verdoso, azul, blanco verdoso y azul violáceo. En onda media (320 nm), la calcita suele presentar fluorescencia roja, aunque puede verse de color blanco, blanca azulado, blanco amarillento, rojo anaranjado, verde amarillento y azul verdoso. En onda corta (254 nm) la calcita presenta fluorescencia azul; además puede presentar colores como blanco, blanco azulado, blanco amarillento, blanco rosado, amarillo claro, amarillo anaranjado, naranja, rojo, rosa, rosa salmón, verde, verdoso, azulado, blanco verdoso y amarillento [14].

10.2.2 Fluorescencia en la Cuarcita

La cuarcita presenta una gran transparencia cuando no presenta impurezas; al tenerlas se obtienen diferentes grados de diafanidad (desde totalmente transparente a opaca). Cuando es transparente, no sólo lo es por la luz visible, sino que también lo es para la radiación ultravioleta de onda larga. En ningún caso presenta fluorescencia bajo luz ultravioleta [15].

10.2.3 Pruebas de fluorescencia

Se tomaron muestras de caliza con diferentes cantidades de sílice, que fueron analizadas bajo luz ultravioleta de onda corta en la Universidad Nacional para observar si se presentaba algún tipo de fluorescencia que lograra diferenciar un mineral del otro. A continuación, se mostrarán tanto la muestra enumerada como el resultado luego de ser expuesta a luz UV.



Ilustración 12. Muestra #1 bajo luz UV.

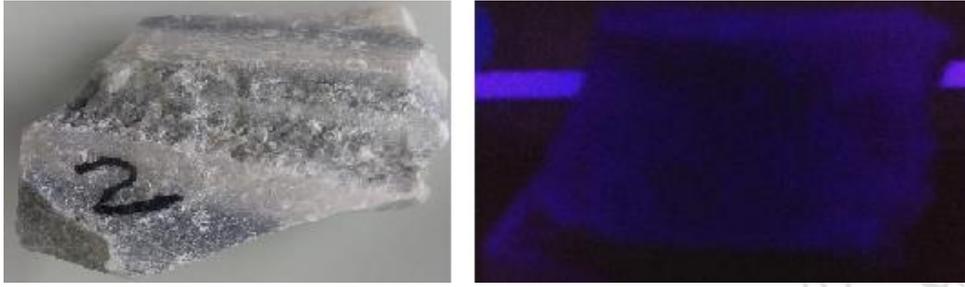


Ilustración 13. Muestra #2 bajo luz UV.

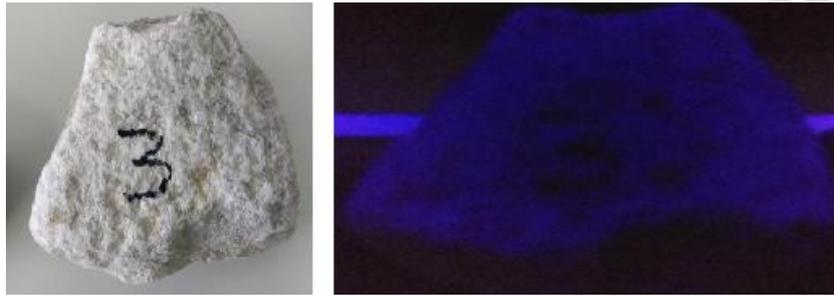


Ilustración 14. Muestra #3 bajo luz UV.

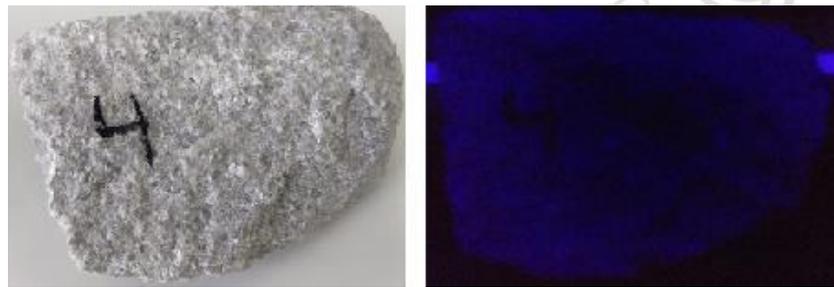


Ilustración 15. Muestra #4 bajo luz UV.



Ilustración 16. Muestra #5 bajo luz UV.



Ilustración 17. Muestra #6 bajo luz UV.



Ilustración 18. Muestra #7 bajo luz UV.

10.2.4 Resultados

Luego de observar los resultados ilustrados anteriormente donde fueron analizadas siete muestras de caliza bajo luz ultravioleta de onda corta, se encuentra que se tiene presencia de fluorescencia en pequeñas zonas en las muestras 4, 5 y 6. Gran parte de los minerales fluorescentes deben esa cualidad a elementos ajenos a los que constituyen su fórmula química típica (excepto unos pocos que son intrínsecamente fluorescentes, como la scheelita, algunos de Pb y otros), alojados en sustitución atómica en algunos puntos de la estructura cristalina. La presencia de estos elementos activadores de la fluorescencia no garantiza el efecto fluorescente ya que existen otros elementos capaces de “desactivar” a los primeros, anulando el efecto [16].

Por lo anterior, se explica por qué no pudo apreciarse fluorescencia considerable y debido a que es difícil realizar pruebas con lámparas de onda larga porque que deben ser importadas, además de que en caso de necesitar repuestos los tiempos de espera serían largos, se descarta la posibilidad de utilizar rayos UV y se procede a elegir la alternativa de escala de grises.

10.3 Escala de grises

10.3.1 Sistema de color RGB

Un espacio de color es un rango de colores definido. El sistema de color RGB es un espacio de color es el formado por los colores primarios luz, Rojo, Verde y Azul. De hecho, RGB son las siglas en inglés de los colores Red, Green and Blue tal y como se observa en la **Ilustración 19**. Este sistema es el más adecuado para representar imágenes que serán mostradas en monitores y que, finalmente, serán impresas en impresoras de papel fotográfico. Las imágenes RGB utilizan tres colores para reproducir en pantalla hasta 16,7 millones de colores [17].

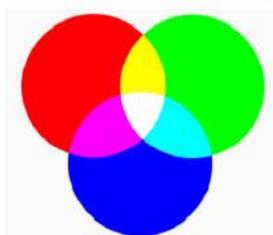


Ilustración 19. Modelo RGB.

El modo RGB asigna un valor de intensidad a cada píxel que oscila entre 0 (negro) y 255 (blanco) para cada uno de los componentes RGB de una imagen en color. Cuando los valores de los tres componentes son idénticos, se obtiene un matiz de gris. Si el valor de todos los componentes es de 255, el resultado será blanco puro y será negro puro si todos los componentes tienen un valor 0 [17]. Por lo anterior, en el modelo RGB se pueden identificar las diferentes tonalidades de grises tanto la caliza y como de la sílice.

10.3.2 Caliza y sílice en escala de grises

El color de la caliza (calcita) varía en toda la gama de grises (de blanco a gris oscuro) (**Ilustraciones 20 y 21**), por lo que la caliza oscura no debe confundirse con la sílice que presenta un tono mucho más oscuro (**Ilustraciones 22 y 23**) por lo que se puede diferenciar de manera visual de la caliza a través de la tonalidad de grises. Para esto, se realizarán pruebas con ayuda del proveedor Sentronic S.A.S empresa encargada de brindar soluciones de automatización. También se pueden presentar rocas con poca presencia de sílice que pueden admitirse en el proceso y no es necesario apartarlas (**Ilustración 24**).



Ilustración 20. Caliza de buena calidad.



Ilustración 21. Caliza de buena calidad.



Ilustración 22. Caliza de mala calidad con contenido de sílice.



Ilustración 23. Caliza de mala calidad con contenido de sílice.



Ilustración 24. Rocas admisibles con cantidad despreciable de sílice.

10.3.3 Pruebas

Las pruebas en laboratorio están orientadas a poder reconocer la sílice en las rocas por una única "cara".

Se parametrizan las pruebas de la siguiente forma:

- Tamaño de las rocas: 40mm-80mm.
- Velocidad máxima de la línea: 40 rocas por segundo = 1 Roca cada 25 ms.
- Muestras: 11 rocas en total. 6 "buenas" y 5 "malas".
- Inspección de la roca desde la parte superior.
- Fondo de la imagen: Blanco.
- Resolución imagen: 800x600 (por defecto a menos que la prueba lo especifique).
- Lente: 12,5 mm (por defecto a menos que la prueba lo especifique).

La disposición de los elementos en la prueba se describe en la **Ilustración 25** y su correspondiente descripción en la **tabla 16**.



Ilustración 25. Configuración sistema de visión.

Tabla 16. Elementos a utilizar en pruebas por escala de grises.

	Referencia	Descripción
Sistema de visión	Cambia respecto a cada prueba	Sensor o sistema de visión COGNEX usado para capturar y procesar las imágenes.
Iluminación 1	MR-130-WIR-LK	Modular RINGLIGHT. Iluminando directamente el objeto.
Iluminación 2	TSPOT4-WHI	Spotlight. 4 Leds difuso. Iluminando un lado del objeto.
Iluminación 3	ODL300-WHI	Barlight. 12 Leds en línea. Iluminando un lado del objeto.

Se realizan pruebas con diferentes equipos y configuraciones. Las más relevantes se muestran a continuación:

10.3.3.1 Prueba 1

Tabla 17. Elementos a utilizar prueba 1.

	Referencia	En uso
Sistema de visión	IS2000-130C	Si
Iluminación 1	MR-130-WIR-LK	Si
Iluminación 2	TSPOT4-WHI	No
Iluminación 3	ODL300-WHI	No

En las pruebas se trató de saturar al máximo la imagen para que la cámara identificara solo los tonos más oscuros, sin embargo, se evidenció que con una sola iluminación se creaban sombras por la morfología variada de las rocas, las cuales eran identificadas como sílice y por lo tanto arrojando error en esta prueba.



Ilustración 26. Roca para prueba escala de grises # 1.

10.3.3.2 Prueba 2

Tabla 18. Elementos a utilizar prueba 2.

	Referencia	En uso
Sistema de visión	IS7010-130C	Si
Iluminación 1	MR-130-WIR-LK	Si
Iluminación 2	TSPOT4-WHI	Si
Iluminación 3	ODL300-WHI	Si

Para esta prueba se usa un sistema de visión con mejores prestaciones y herramientas que el sensor de visión IS2000. También se adiciona iluminación para disminuir el efecto sombra de algunas rocas debido a su morfología.



Ilustración 27. Roca para prueba escala de grises # 2.

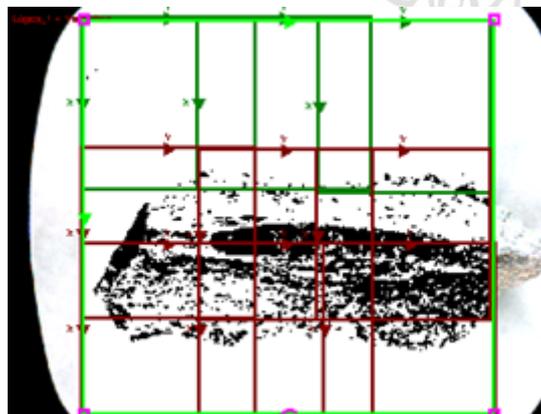


Ilustración 28. Resultado del filtro prueba #2.

En la **ilustración 28** se puede diferenciar el resultado al iluminar 2 caras de la roca con equipos diferentes. Por un lado, la iluminación 3 elimina, en mayor medida las sombras de la roca, y, por otro lado, la iluminación 2 no posee las características indicadas para reducir las sombras.

El tiempo de procesamiento de cada imagen es de aproximadamente 40 ms, esto sumado al tiempo de adquisición de la imagen no ofrece margen para procesar a la frecuencia de paso de las rocas que sería alta.

10.3.3.3 Prueba 3

Tabla 19. Elementos a utilizar prueba 3.

	Referencia	En uso
Sistema de visión	IS7802M-375-50-B	Si
Iluminación 1	MR-130-WIR-LK	Si
Iluminación 2	TSPOT4-WHI	Si
Iluminación 3	ODL300-WHI	Si

Para poder cumplir con una alta frecuencia de paso de las rocas se utilizó una IS7000 de segunda generación con un resultado en promedio de 20ms de procesamiento de la imagen, que deja un margen de 5ms tiempo suficiente para la adquisición de la imagen.

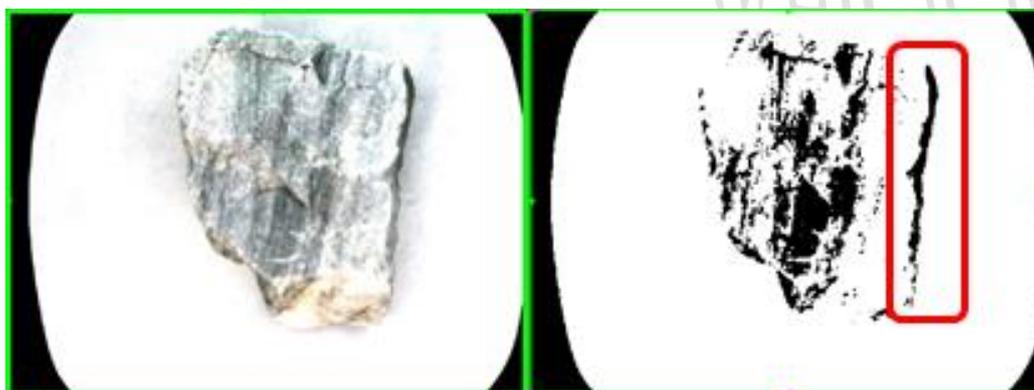


Ilustración 29. Identificación del color oscuro de la sílice y sombra considerable en la parte derecha por falta de iluminación en 2 direcciones en la prueba #3.

10.3.4 Resultados

En las pruebas 2 y 3 se logra identificar el color oscuro de la sílice en la roca por la cara respectiva, pero a su vez identifican las sombras como producto no deseado. Estas sombras son producto de la falta de iluminación en 2 direcciones, como se puede evidenciar en las siguientes imágenes, se tiene una sombra considerable en la parte derecha de la roca (**Ilustración 29**).

Excluyendo las sombras en las imágenes tenemos los siguientes resultados de las muestras tomando imágenes por todas sus caras:

- De las 11 rocas 10 fueron identificadas satisfactoriamente tomando muestras por todas sus caras.
- Rocas “buenas” identificadas: 5 de 6.
- Rocas “malas” identificadas: 5 de 5.

10.3.5 Equipo seleccionado

De acuerdo a las pruebas realizadas según los requerimientos de la aplicación, el equipo que cumple con las especificaciones mínimas es el IS7802M-375-50-B pero en definitiva se elige el IS7900C-363-50 [18] sugerido por el proveedor Sentronic ya que posee mejor factor de rendimiento.

IS7900M-373-50 - In-Sight 7900 (VGA) with PatMax and PatMax RedLine

Description:

In-Sight 7900

World's most flexible vision system

- Modular lighting and optics including Autofocus (accessories purchased separately)
- Resolution: VGA (640x480) / SVGA (800x600) software configurable
- IP rating: IP67
- Tool options: PatMax and PatMax RedLine enabled
- Gigabit Ethernet speed
- 217 fps VGA, 165 fps SVGA
- Supported firmware: 5.4
- Next generation of the IS5600



Ilustración 30. Especificaciones sistema de visión IS7900C-363-50.

11 SISTEMA DE EXPULSIÓN

11.1 Generalidades

El sistema de expulsión será de control electroneumático. Los controles electroneumáticos tienen las siguientes ventajas frente a los sistemas de control neumáticos:

- Alta fiabilidad (menos piezas móviles sujetas a desgaste).
- Menor esfuerzo de planificación y puesta a punto, en especial para controles complejos.
- Menores costes de instalación, en especial cuando se utilizan componentes modernos, tales como los terminales de válvulas.
- Fácil intercambio de información entre varios controles.

Un sistema de control electroneumático trabaja con dos formas de energía: Energía eléctrica en la sección de control de las señales y aire comprimido en la sección de potencia.

Un control puede ser dividido en las funciones de entrada de señales, procesamiento de las señales, salida de la señal y ejecución de las órdenes [19].

- ✓ Las señales de entrada se combinan con funciones lógicas (procesamiento de las señales). Las señales de entrada son de muy baja potencia, así como su procesamiento. Ambas funciones son parte de la sección de control de las señales.
- ✓ En la etapa de salida de la señal, las señales se amplifican de baja a alta potencia. La salida de la señal forma el enlace entre la sección de señales de control y la sección de potencia.
- ✓ La ejecución de la orden se realiza en nivel de potencia, es decir, para conseguir elevadas velocidades (por ejemplo, para la rápida expulsión de la pieza de una máquina) o para ejercer una elevada fuerza (por ejemplo, para un prensado). La ejecución de la orden pertenece a la sección de potencia de un sistema de control.

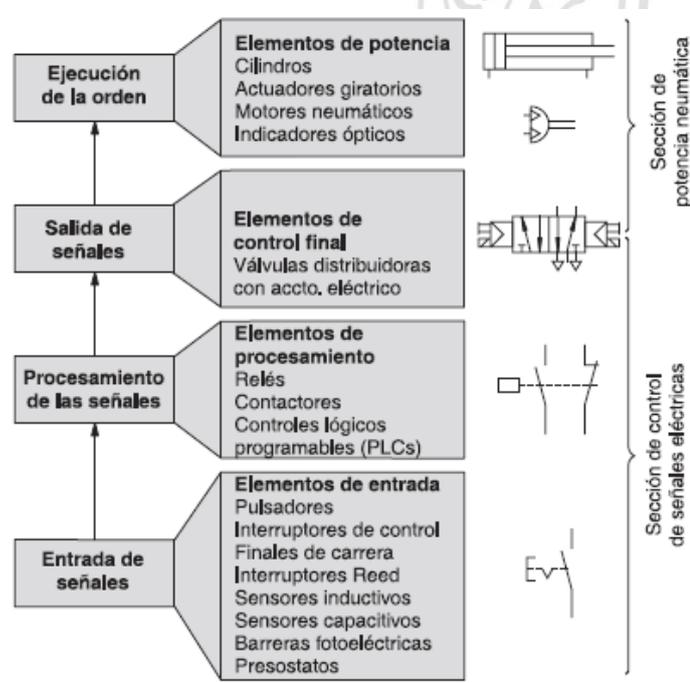


Ilustración 31. Flujo de señales y componentes de un sistema de control electroneumático.

En este caso el sistema de visión, se encargará de la entrada y procesamiento de señales, de la salida de señales los elementos de control que serán las válvulas de accionamiento eléctrico y de la ejecución de la orden estarán a cargo de los cilindros que son los elementos de potencia.

Cilindros de doble efecto

En general los cilindros son actuadores que proveen el movimiento y la potencia a las máquinas neumáticas en los sistemas automatizados. En este caso la aplicación para la cual serán empleados los cilindros será para expulsión.



Ilustración 32. Aplicaciones de los actuadores neumáticos.

Los cilindros de doble efecto son capaces de producir trabajo útil en dos sentidos, ya que disponen de una fuerza activa tanto en avance como en retroceso, es decir que el aire comprimido genera los dos movimientos de entrada y salida del vástago. Los cilindros de doble efecto permiten un mayor control de la velocidad [20].



Ilustración 33. Cilindro de doble efecto (a) y simbología (b).

Se utilizarán cilindros normalizados compactos marca Festo. Dentro de estos cilindros normalizados, se encuentran los cilindros compactos ADN los cuales a través de una amortiguación PPS presentan características entre las cuales se puede destacar: gran rendimiento con amortiguación integrada para amortiguar la energía residual generando gran duración mediante excelentes cualidades de amortiguación y mínimas fricciones, montaje sencillo mediante una amplia gama de accesorios apropiados para casi cualquier aplicación, en especial en aquellas en las que intervienen masas grandes y altas velocidades.

Cilindros compactos según ISO 21287

Cilindros compactos ADN ★



- Más variantes que en la norma
- Diámetro: 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125 mm
- Carrera: 1 ... 500 mm
- Fuerza: 51 ... 7 363 N
- Doble efecto
- Amortiguación fija / autorregulable

★ ADN

★ Gama básica

Ilustración 34. Cilindros compactos ADN. Fuente: FESTO.

Debido a que se requiere poca carrera para impulsar la paleta, se elige una carrera de 25mm y el diámetro del émbolo de 20mm, tomando como referencia el pistón ADN-20-25-A-P-A [21], cuyas características principales son: Doble efecto, diámetro del émbolo: 20mm, diámetro del vástago: 8mm y carrera: 25mm.

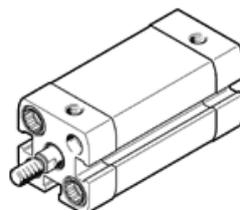
cilindro compacto ADN-20-25-A-P-A

Número de artículo: 536238

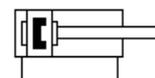
★ Gama básica

según ISO 21287, para la detección de posiciones,
con rosca exterior en el vástago.

Hoja de datos



FESTO



[PDF](#) Condiciones de servicio generales
[PDF](#) Hoja de datos

Característica	Valor
Fecha de envío	→ Indicación
Carrera	25 mm
Diámetro del émbolo	20 mm
Rosca del vástago	M8
Amortiguación	P: amortiguación por tope elástico/placa a ambos lados
Posición de montaje	indistinto
Corresponde a la norma	ISO 21287
Extremo del vástago	Rosca exterior
Detección de la posición	para sensores de proximidad
Variantes	vástago simple
Presión de funcionamiento	0,6 ... 10 bar
Modo de funcionamiento	de doble efecto
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energía del impacto en las posiciones finales	0,2 J
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	141 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	188 N
Masa móvil con carrera de 0 mm	30 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	21 g
Peso básico con carrera de 0 mm	131 g
Masa adicional por 10 mm de carrera	6 g
Tipo de fijación	a elegir: con taladro pasante con rosca interior con accesorios
Conexión neumática	M5
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Material de la culata	Aluminio anodizado
Material de las juntas	TPE-U(PUR)
Material del vástago	Acero de aleación fina
Material de la camisa del cilindro	Aleación forjable de aluminio Anodizado deslizando

Ilustración 35. Especificaciones cilindro ADN-20-25-A-P-A Festo.

Acople cilindro/paleta

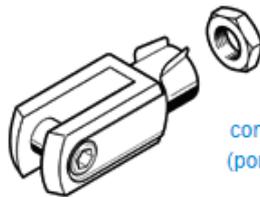
Se utilizará una horquilla SG-M8 [22] festo que se encargará de acoplar el cilindro con su respectiva paleta (**Ilustración 36**).

horquilla SG-M8

Número de artículo: 3111

★ Gama básica

Hoja de datos



FESTO

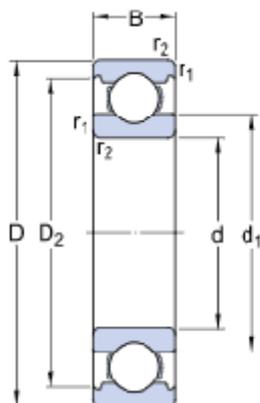
Condiciones de servicio generales
 Hoja de datos

con tuerca hexagonal, para fijación oscilante de cilindros (por el lado del vástago), según DIN ISO 8140.

Característica	Valor
Fecha de envío	→ Indicación
Tamaño	M8
Corresponde a la norma	DIN 71752 ISO 8140
Conexión roscada	Rosca interior M8
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1 - riesgo de corrosión bajo
Temperatura ambiente	-40 ... 150 °C
Peso del producto	53 g
Indicación sobre el material	Exento de cobre y PTFE Conforme con RoHS
Material del perno	Acero cincado
Material de la horquilla	Acero cincado
Material de las tuercas	Acero cincado

Ilustración 36. Horquilla SG-M8 Festo.

El rodamiento elegido encargado de enganchar y accionar las paletas cuando los cilindros son activado es el **SKF 634** [23], elegido de acuerdo a las dimensiones del pasador de la horquilla que es de 4mm.



Dimensión	Valor	Unidad
d	4	mm
D	16	mm
B	5	mm
d ₁	≈ 8.4	mm
D ₂	≈ 13.3	mm
r _{1,2}	min. 0.3	mm

Ilustración 37. Dimensiones rodamiento SKF 634.

Tabla 20. Especificaciones rodamiento SKF 634.

Especificaciones	Símbolo	Valor	Unidad
Capacidad de carga dinámica básica	C	1.11	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	0.38	kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.016	kN
Velocidad de referencia		95000	r/min
Velocidad límite		60000	r/min
Factor de cálculo	k _r	0.03	
Factor de cálculo	f ₀	8.4	
Rodamiento de masa		0.0054	kg

Montajes (anclajes) de los cilindros

Los cilindros pueden sujetarse a una pared o a una máquina de manera fija o articulada. Los puntos de sujeción pueden ser el cuerpo del cilindro o el extremo del vástago [24]. El tipo de montaje a utilizar será el tipo C (fijo) que puede apreciarse en la **Ilustración 38**.

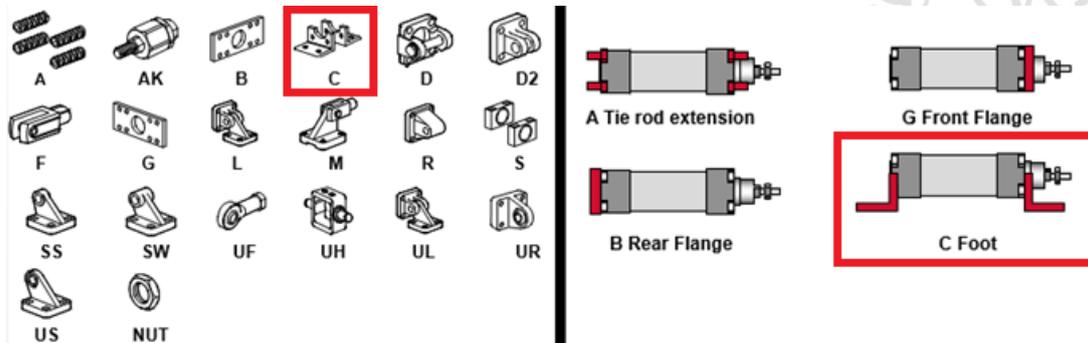


Ilustración 38. Tipos de montajes (anclajes).

Por lo anterior, se elige la fijación por pies de referencia HNA-20 [25] de festo.

fijación por pies HNA-20

Número de artículo: 537239



FESTO

[PDF](#) Condiciones de servicio generales

[PDF](#) Hoja de datos

Hoja de datos

Para cilindros compactos ADN y AEN y pinza lineal-giratoria CLR

Característica	Valor
Fecha de envío	→ Indicación
Tamaño	20
Basado en la norma	ISO 21287
Clase de resistencia a la corrosión KBK	1 - riesgo de corrosión bajo
Peso del producto	84 g
Indicación sobre el material	Exento de cobre y PTFE Conforme con RoHS
Material de la escuadra	Acero cincado

Ilustración 39. Especificaciones fijación por pies HNA-20.

Electroválvulas

Las válvulas distribuidoras accionadas eléctricamente (electroválvulas) forman la interface entre las dos partes de un control electroneumático. Son activadas por las señales de salida de la sección de control y distribuyen el aire en la sección de potencia. Las tareas más importantes de las electroválvulas distribuidoras son abrir y cerrar la alimentación del aire y controlar el avance y retroceso de los cilindros.

En las electroválvulas el accionamiento directo es eléctrico, el órgano de mando está directamente montado sobre la válvula y actúa sobre su sistema de apertura o cierre (corredera o émbolo). En este caso el **solenoide** es el mecanismo de mando, que básicamente es una bobina formada por un alambre enrollado en espiral sobre una armazón cilíndrica, que se emplea en

diversos aparatos eléctricos, y que crea un campo magnético cuando circula una corriente continua por su interior [26].

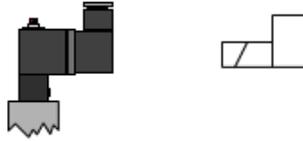


Ilustración 40. Solenoide (izquierda) y simbología (derecha).

Las electroválvulas pueden dividirse en dos grupos:

- 1) **Válvulas con retorno por muelle (monoestables):** sólo están activadas mientras fluye corriente a través del solenoide.
- 2) **Válvulas de doble bobina (biestables):** mantienen la última posición, aunque deje de fluir corriente por el solenoide.

Debido a que se necesitan electroválvulas de conmutación rápida, se elige una electroválvula de respuesta rápida MHE2-MS1H-5/2-M7-K [27], ya que presenta características como tiempos de conmutación de menores o iguales a 2 ms, una precisión de repetición menor o igual a 0,2 ms y funcionamiento ininterrumpido durante las 24 horas del día, con más de 500 millones de ciclos.

electrovalvula
MHE2-MS1H-5/2-M7-K
Número de artículo: 525115
Válvula individual, con conmutación rápida, con cable.

Hoja de datos

Característica	Valor
Fecha de envío	→ Indicación
Función de las válvulas	5/2 monoestable
Tipo de accionamiento	eléctrico
Ancho	10 mm
Caudal nominal normal	90 l/min
Presión de funcionamiento	-0.9 ... 8 bar
Construcción	Válvula de asiento con descarga
Tipo de reposición	muelle mecánico
Tipo de protección	IP65
Homologación	RCM Mark c UL us - Recognized (OL)
Diámetro nominal	2 mm
Patrón	14 mm
Función de escape	Estrangulable
Principio de hermetización	blando
Posición de montaje	indistinto
Accionamiento manual auxiliar	mediante pulsador
Tipo de control	directo
Sentido del flujo	no reversible
Superposición	Superposición negativa
Polos inconfundibles	Bipolar
Funciones adicionales	Supresión del arco voltaico Reducción de la corriente de parada Circuito protector
Frecuencia máx. de conmutación	300 Hz
Tiempo de conmutación a la desconexión	1,7 ms
Tiempo de conmutación a la conexión	1,9 ms
Tolerancia para tiempo de conmutación ON	+10%/-30%
Tolerancia para tiempo de conmutación OFF	+10%/-30%
Dispersión tiempo de conmutación a partir de 1 Hz	0,2 ms

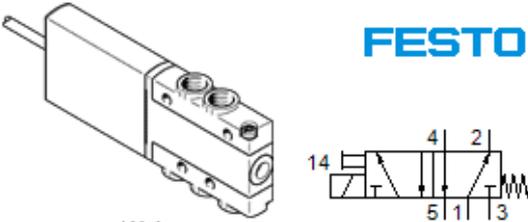



Ilustración 41. Especificaciones electroválvula MHE2-MS1H-5/2-M7-K de Festo.

Compresor

Encargado de convertir la energía mecánica, en energía neumática comprimiendo el aire. Para la elección del compresor, se deben tener en cuenta los parámetros como presión, el caudal (la cantidad de aire a presión atmosférica que un compresor es capaz de comprimir en una unidad de tiempo), potencia.

Caudal

El caudal es la cantidad de aire a presión atmosférica que un compresor es capaz de comprimir en una unidad de tiempo. El caudal se mide como volumen de aire libre por unidades de tiempo. Entre las unidades más usuales están los pies cúbicos normales por minuto (**scfm**) [28].

11.2 Cálculos

Teniendo en cuenta el siguiente esquema del sistema de expulsión a utilizar (**Ilustración 42**), se realizan los respectivos diagramas de cuerpo libre tanto para la roca como para la paleta teniendo en cuenta las respectivas fuerzas que actúan sobre cada cuerpo.

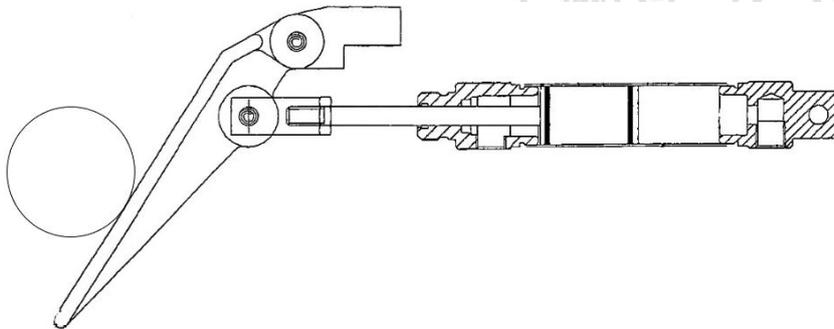


Ilustración 42. Esquema de expulsión.

Inicialmente, se toman 3 muestras de caliza con diferentes tamaños que se podrían tener en la etapa de clasificación, las cuales son pesadas en el laboratorio perteneciente a la empresa, ubicado en la planta de molienda. A continuación, se muestran los resultados:

Tabla 21. Pesos de muestras.

Muestra #	Peso [gr]
1	312
2	503,4
3	759,8

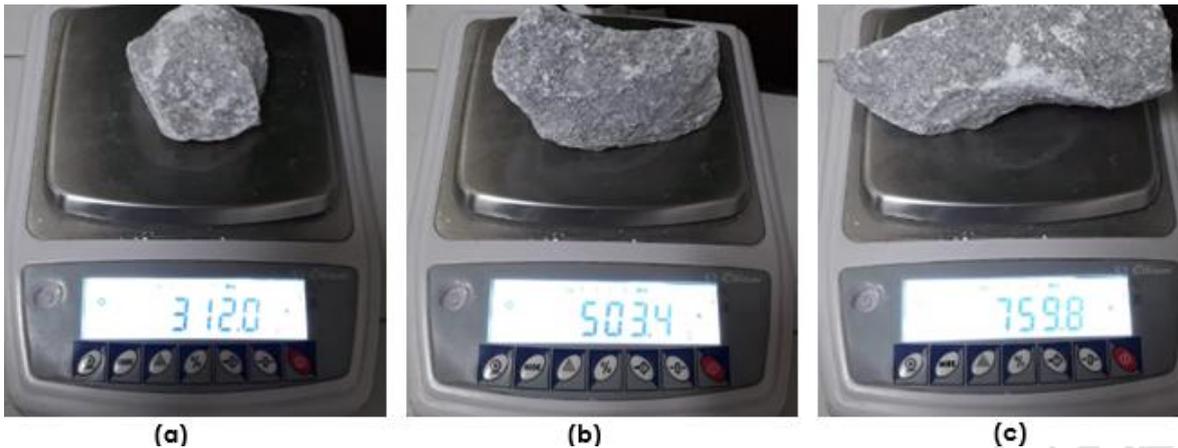


Ilustración 43. Peso de muestra #1 (a), muestra #2 (b) y muestra #3 (c).

Partiendo de los pesos obtenidos de las muestras obtenidos en el laboratorio, se toma el valor mayor (*Muestra #3 = 759,8gr ≈ 760gr*) para proceder con los cálculos.

$$M_{roca} = 760gr = 0,76 kg$$

$$W_{roca} = M_{roca} \times gravedad = 0,76kg \times 9,81m/s^2 \rightarrow W_{roca} = 7,4556N$$

Ahora, se realiza el diagrama de cuerpo libre para la roca, donde **R** es la fuerza que imprime el golpe de la paleta y θ es su ángulo respecto al eje **X**.

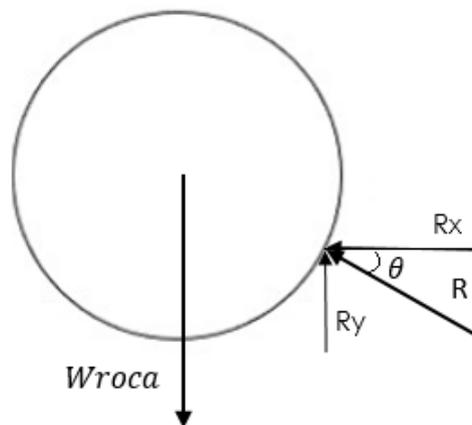


Ilustración 44. Diagrama de cuerpo libre para la roca.

Para hallar el valor la fuerza **R**, tenemos:

$$+\uparrow \sum Fy = 0 \rightarrow -W_{roca} + R \text{ Sen}\theta = 0 \rightarrow R = \frac{W_{roca}}{\text{Sen}\theta}$$

Para determinar seleccionar el ángulo θ , se realiza la siguiente tabla en donde se analiza el comportamiento de **R** y sus componentes **Rx** y **Ry** en función de dicho ángulo que varía de 0° a 90°:

Tabla 22. Comportamiento de R, Rx y Ry en función de θ .

Grados	Componente X	Componente Y	Peso roca	Fuerza paleta	Fuerza en X	Fuerza en Y
θ	$\text{Cos } \theta$	$\text{Sen } \theta$	$W_{roca}[\text{N}]$	$R[\text{N}]$	$R_x[\text{N}]$	$R_y[\text{N}]$
0	1	0	7,4556	∞	0	0
5	0,996	0,087155742	7,4556	85,54341721	85,2012435	7,4556
10	0,984807753	0,173648177	7,4556	42,93508938	42,2828089	7,4556
15	0,965925826	0,25881905	7,4556	28,80622582	27,8246775	7,4556
20	0,93969262	0,342020143	7,4556	21,79871611	20,4840927	7,4556
25	0,906307787	0,422618261	7,4556	17,64145255	15,9885858	7,4556
30	0,866025403	0,5	7,4556	14,9112	12,913478	7,4556
35	0,81915044	0,573576436	7,4556	12,99844194	10,6476794	7,4556
40	0,766044443	0,642787609	7,4556	11,59885458	8,88523809	7,4556
45	0,707106781	0,707106781	7,4556	10,54381064	7,4556	7,4556
50	0,642787609	0,766044443	7,4556	9,732594588	6,2559912	7,4556
55	0,573576436	0,81915044	7,4556	9,101624849	5,22047754	7,4556
60	0,5	0,866025403	7,4556	8,608985342	4,30449267	7,4556
65	0,422618261	0,906307787	7,4556	8,226344413	3,47660337	7,4556
70	0,342020143	0,93969262	7,4556	7,934083807	2,71361648	7,4556
75	0,25881905	0,965925826	7,4556	7,718605093	1,99772204	7,4556
80	0,173648177	0,984807753	7,4556	7,570614648	1,31462343	7,4556
85	0,087155742	0,996	7,4556	7,485542169	0,65240798	7,4556
90	0	1	7,4556	7,4556	0	7,4556

$$\text{Donde: } R = \frac{W_{roca}}{\text{Sen}\theta} ; R_x = R \text{Cos}\theta ; R_y = R \text{Sen}\theta$$

Debido a la trayectoria que las rocas realizarán tal como se esquematiza en la **Ilustración 45** donde el ángulo de la fuerza que se imprime en la paleta respecto al **eje X** es mayor a 0° ya que la expulsión no se puede dar con la paleta a 90° respecto a la horizontal y teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la **tabla 22**, se elige el valor crítico de $\theta = 20^\circ$, dónde:

$$|R| = 21,79871611 \text{ N} \approx 21,7987 \text{ N}, |R_x| = 20,4840927 \approx 20,4841 \text{ N} \text{ y } |R_y| = 7,4556 \text{ N}.$$

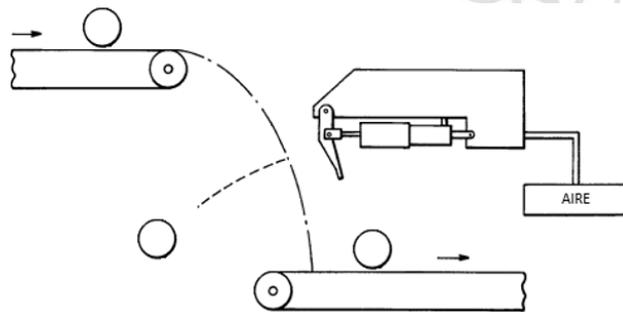


Ilustración 45. Esquema trayectoria de las rocas.

Con lo anterior, se realiza el diagrama de cuerpo libre para la paleta, donde $\theta = 20^\circ$, R es la fuerza que imprime el golpe de la roca, sus respectivas componentes R_x y R_y , el peso de la paleta W_p , la fuerza del pistón F_p y las reacciones del punto **A** debido a la articulación o pivote. También se incluyen las respectivas distancias en **mm**.

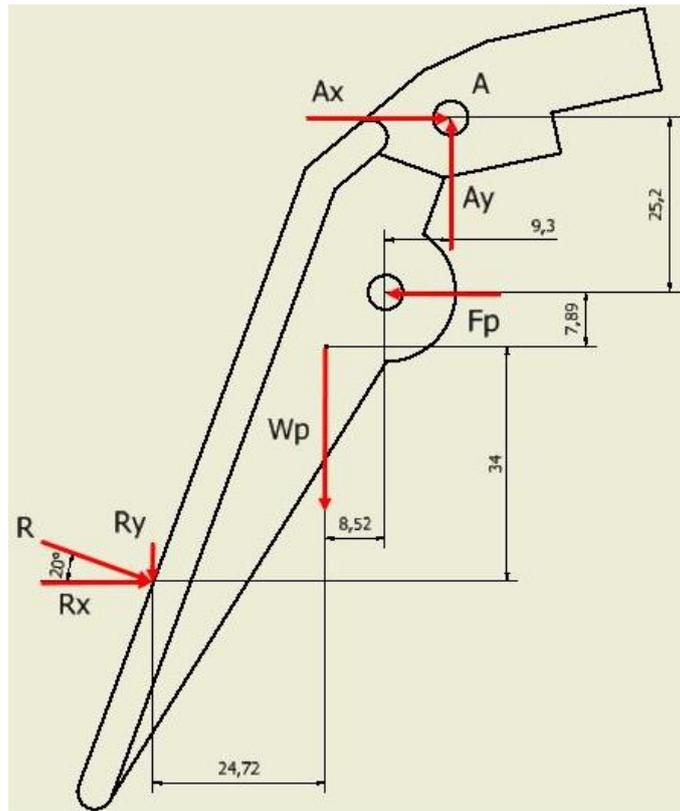


Ilustración 46. Diagrama esquemático de cuerpo libre de paleta.

Las distancias son sacadas a través del software inventor teniendo en cuenta que $\theta = 20^\circ$.

Para encontrar la masa y las coordenadas del centro de gravedad, se utilizó el software inventor donde se modeló la paleta en 3D y se le aginó como material el acero inoxidable.

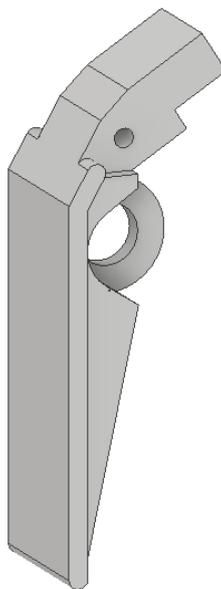


Ilustración 47. Modelo paleta en 3D.

Material
Acero inoxidable

Densidad: 8,000 g/cm³ Precisión solicitada: Baja

Propiedades generales

Masa	0,541 kg (Error rela		Centro de gravedad	
		X	35,673 mm (Error r	
Área	16039,071 mm ² (Y	63,149 mm (Error r
Volumen	67591,835 mm ³ (Z	-0,000 mm (Error r

Propiedades de inercia

Principal Global Centro de gravedad

Momentos principales

I1	661,208 kg mm	I2	73,229 kg mm ²	I3	637,767 kg mm
----	---------------	----	---------------------------	----	---------------

Rotación a principal

Rx	0,00 gr (Error r	Ry	0,00 gr (Error r	Rz	31,37 gr (Error
----	------------------	----	------------------	----	-----------------

Ilustración 48. Peso de la paleta y ubicación del centro de gravedad.

De lo anterior, se obtiene la masa de la paleta:

$$M_{paleta} = 0,541 \text{ Kg}$$

$$W_{paleta} = M_{paleta} \times \text{gravedad} = 0,541 \text{ kg} \times \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} \rightarrow W_{paleta} = W_p = 5,3072 \text{ N}$$

Ahora para hallar la fuerza del pistón (**F_p**) se plantean la siguiente ecuación:

$$+\cup \sum M_A = 0$$

$$R_y(0,04254 \text{ m}) + R_x(0,06709 \text{ m}) + W_p(0,01782 \text{ m}) - F_p(0,0252 \text{ m}) = 0$$

$$\frac{R_y(0,04254 \text{ m}) + R_x(0,06709 \text{ m}) + W_p(0,01782 \text{ m})}{(0,0252 \text{ m})} = F_p$$

$$F_p = \frac{7,4556 \text{ N} (0,04254 \text{ m}) + 20,4840927 \text{ N} (0,06709 \text{ m}) + 5,3072 \text{ N} (0,01782 \text{ m})}{(0,0252 \text{ m})}$$

$$F_p = 70,8735 \approx 71 \text{ N}$$

Presión mínima (p):

$$p_{min} = \frac{Fp}{A}, \text{ donde: } p(\text{presión}), Fp (\text{fuerza del pistón}) \text{ y } A(\text{área})$$

$$p_{min} = \frac{Fp}{\pi r^2} = \frac{71N}{\pi(0,01^2)m^2}$$

$$p_{min} = 226000 Pa \frac{1 Psi}{6894,76 Pa} = 32,7785 Psi = 2,26 Bar$$

Teniendo en cuenta el resultado anterior, la presión de trabajo (p) será **de 4 Bar**.

Para el cilindro elegido de referencia ADN-20-25-A-P-A, se utilizará la siguiente formulación que será introducida en una hoja de Excel, para que al introducir ciertos datos básicos se arrojen automáticamente los resultados:

Área y volumen internos sin contar el vástago:

$$\text{Área sin vástago} \rightarrow A = \pi \left(\frac{\phi_E}{2}\right)^2 [cm^2]$$

$$\text{Volúmen de avance} \rightarrow V_A = A * C_V = \pi \left(\frac{\phi_E}{2}\right)^2 C_V [cm^3]$$

Área y volumen internos contando el vástago:

$$\text{Área con vástago} \rightarrow A_V = \pi \left(\frac{\phi_E}{2}\right)^2 - \pi \left(\frac{\phi_V}{2}\right)^2 [cm^2]$$

$$\text{Volúmen de retroceso} \rightarrow V_R = (A - A_V)C_V = \left(\pi \left(\frac{\phi_E}{2}\right)^2 - \pi \left(\frac{\phi_V}{2}\right)^2\right) C_V [cm^3]$$

Fuerza teórica de avance: ejercida por el pistón para mover el vástago hacia el exterior de la camisa:

$$\text{Fuerza teórica de avance} \rightarrow F_{TA} = p * A [N]$$

Fuerza real avance: ejercida por el pistón para mover el vástago hacia el exterior de la camisa:

$$\text{Fuerza real de avance} \rightarrow F_{RA} = F_{TA} - (F_{rozamiento} + F_{fricción}) [N]$$

Donde $F_{rozamiento} + F_{fricción}$ se asumirá como un 5% de la $F_{Teórica Avance}$, ya que se puede suponer que estas fuerzas representan de un 3 a un 10% de la fuerza calculada.

$$F_{rozamiento} + F_{fricción} = 0,05 F_{RA} [N]$$

Fuerza teórica de retroceso: ejercida por el pistón para mover el vástago hacia el interior de la camisa:

$$\text{Fuerza teórica de retroceso} \rightarrow F_{TR} = P * A_V [N]$$

Fuerza real de retroceso: ejercida por el pistón para mover el vástago hacia el interior de la camisa:

$$\begin{aligned} \text{Fuerza real de retroceso} &\rightarrow F_{\text{Real Retroceso}} = F_{TR} - (F_{\text{rozamiento}} + F_{\text{fricción}}) \\ &\rightarrow F_{RR} = F_{TR} - 0,05 F_{TR} [N] \end{aligned}$$

Ciclos por minuto (n): se tendrán varias etapas de rechazo, por lo que se espera que un cilindro realice un máximo de 16 ciclos por segundo.

$$n = \frac{\text{Ciclos}}{\text{min}} = \frac{\text{Ciclos}}{\text{seg}} * \frac{60\text{seg}}{1\text{min}}$$

Tiempo en realizar un ciclo (t):

$$t = \frac{1s}{16 \text{ ciclos}} = 0,0625 [s]$$

Velocidad (v):

$$v = \frac{C_V}{t} [m/s]$$

Relación de compresión (R_c):

$$R_c = \left(\frac{101,3 + p}{101,3} \right), \text{ donde } p \text{ está en [kpa]}$$

Consumo o caudal de aire (Q): donde C_V es la longitud de carrera, A la superficie útil del émbolo, n el número de ciclos por minuto y R_c es la relación de compresión.

$$Q = C_V * n * R_c * (A + A_{\text{con vástago}}) \left[\frac{L}{\text{min}} \right]$$

Potencia del compresor (P):

$$P = p * C_A [Hp]$$

Ahora se procede a hallar los resultados para el cilindro ADN-20-25-A-P-A.

Datos: Diámetro émbolo (\emptyset_E): 2cm; Diámetro vástago (\emptyset_V): 0,8cm; Carrera vástago (C_V): 2,5cm; Presión (p): 58,0151 Psi (4 Bar); Ciclos/segundo (C_S): 16 y Cantidad de cilindros (C_C): 6.

Tabla 23. Resultados para cilindro ADN-20-25-A-P-A.

DATOS DE ENTRADA			
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Diámetro del émbolo	\emptyset_E	2	<i>cm</i>
Diámetro del vástago	\emptyset_V	0,8	<i>cm</i>
Carrera del vástago	C_V	2,5	<i>cm</i>
Presión	p	4	<i>Bar</i>
		58,0152	<i>Psi</i>
		400000,8804	<i>Pa</i>
Ciclos por segundo	n_s	16	<i>Ciclos/seg</i>
Ciclos por minuto	n	960	<i>Ciclos/min</i>
Tiempo en hacer un ciclo	t	0,0625	<i>seg</i>
Cantidad de cilindros	c	6	-
RESULTADOS PARA UN CILÍNDRIO			
Área y volumen internos sin contar el vástago			
Área sin vástago	A	3,141592654	<i>cm²</i>
Volúmen de avance	V_A	7,853981634	<i>cm³</i>
Área y volumen internos contando el vástago			
Área con vástago	A_V	2,638937829	<i>cm²</i>
Volúmen de retroceso	V_R	1,256637061	<i>cm³</i>
Volúmen muerto	V_M	0,455530935	<i>cm³</i>
Volúmen total	V_T	9,56614963	<i>cm³</i>
Masa teórica avance	M_{TA}	12,81446433	<i>kg</i>
Masa teórica retroceso	M_{TR}	10,76415003	<i>kg</i>
Fuerza teórica avance	F_{TA}	125,709895	<i>N</i>
Fuerza teórica retroceso	F_{TR}	105,5963118	<i>N</i>
Masa real avance	M_{RA}	12,17374111	<i>kg</i>
Masa real retroceso	M_{RR}	10,22594253	<i>kg</i>
Fuerza real avance	F_{RA}	119,4244003	<i>N</i>
Fuerza real retroceso	F_{RR}	100,3164962	<i>N</i>
Velocidad	v	0,4	<i>m/seg</i>
Relación compresión	R_C	4,948676015	-
Caudal			
Caudal aire de un cilindro	Q	68,65433413	<i>L/min</i>
		2,424508918	<i>Cfm</i>
Caudal requerido por todos los cilindros			
Caudal aire de c cilindros	Q_C	14,54705351	<i>Cfm</i>
		0,006865445	<i>m³/s</i>
Compresor			
Potencia	P	2746,183928	<i>W</i>
		3,682692675	<i>Hp</i>

Teniendo en cuenta los resultados anteriores se logra observar que el cilindro elegido cumple con las características necesarias para mover la paleta y evacuar rocas de hasta 800 gr, por lo que este trabajaría satisfactoriamente.

Adicionalmente con las especificaciones obtenidas de potencia, caudal y presión, se elige procede a elegir el compresor **Atlas Copco AR-5-80H-208 / 230-1** [29].



Ilustración 49. Compresor Atlas Copco AR-5-80H-208 / 230-1.

ESPECIFICACIONES	
Potencia: 5 Hp	Tipo de unidad: Transmisión por correa
CFM: 18.5 @ 100 PSI	Presión máxima (PSI): 175
PSI de funcionamiento: 175	Salida del tanque: 3/4
Tipo: Compresores de aire de pistón	Orientación del tanque: horizontal
Tipo de voltaje: compresores de aire monofásicos	Certificación de tanques: ASME
Tamaño del tanque: 80 galones	Material de la bomba: Hierro fundido híbrido y aluminio
LxWxH (pulgadas): 71 x 24 x 49	Cierre de bajo nivel de aceite: incluido
Tipo de motor: ODP	After Cooler: Incluye refrigerador posterior de doble paso
Voltaje: 208-230	Válvula de drenaje del tanque: Drenaje automático neumático incluido

Ilustración 50. Especificaciones compresor Atlas Copco AR-5-80H-208 / 230-1.

11.3 Modelo 3D

11.3.1 CAD Sistema de Alimentación y Apoyos

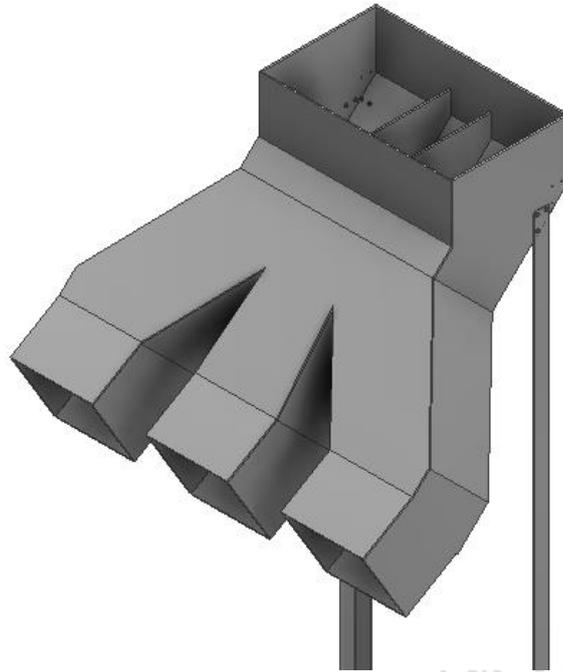


Ilustración 51. CAD Sistema de alimentación.

11.3.2 CAD Sistema de Distribución y Estructura Soporte

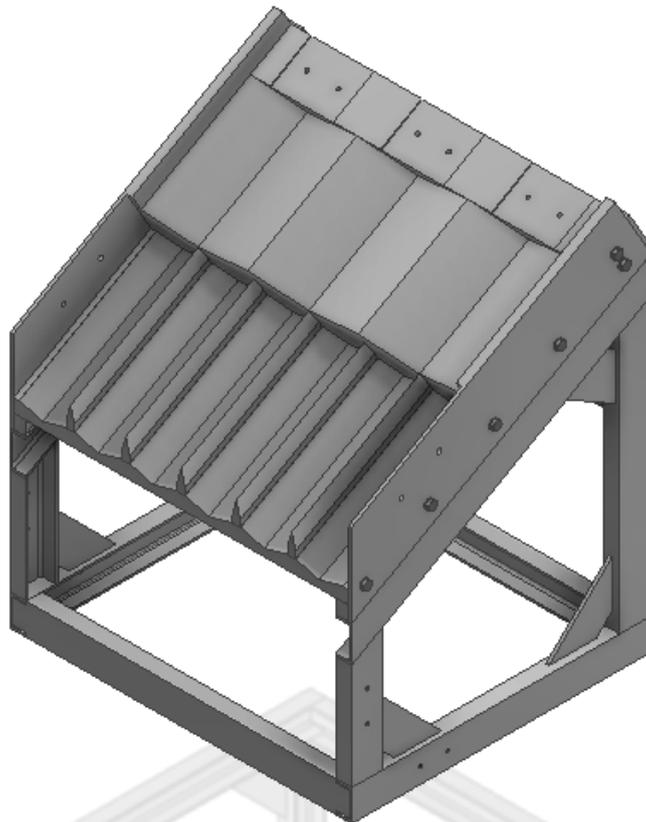


Ilustración 52. CAD Sistema de distribución y estructura soporte.

11.3.3 CAD Cubierta Sistema de Visión Artificial

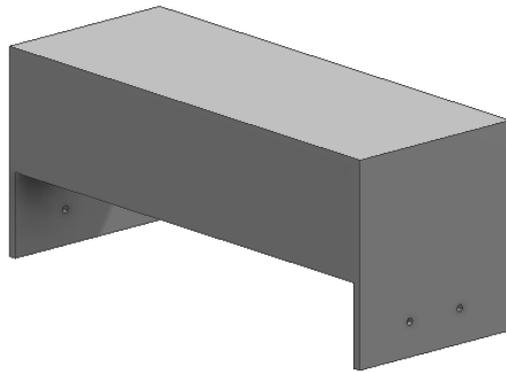


Ilustración 53. CAD Cubierta sistema de visión artificial.

11.3.4 CAD Sistema de Expulsión y Soporte

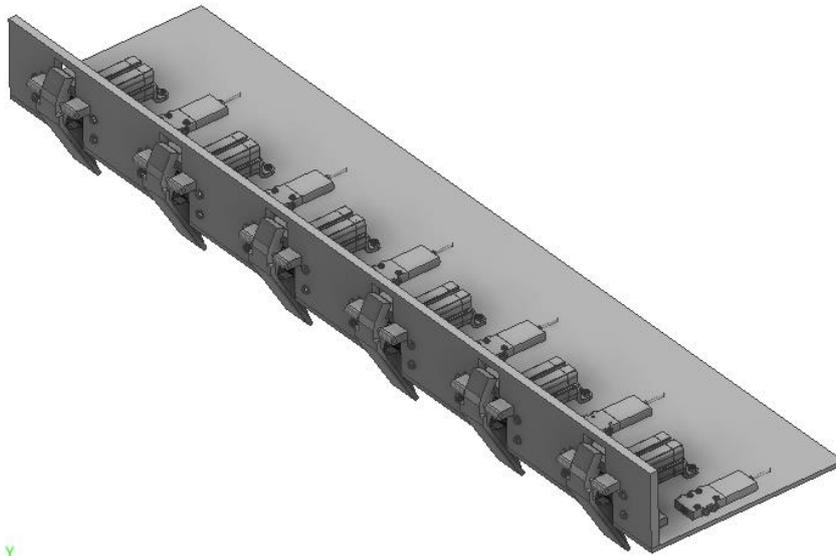


Ilustración 54. CAD Sistema de expulsión.



Ilustración 55. CAD Sistema de expulsión y soporte.

11.3.5 CAD Ducto de Rechazo

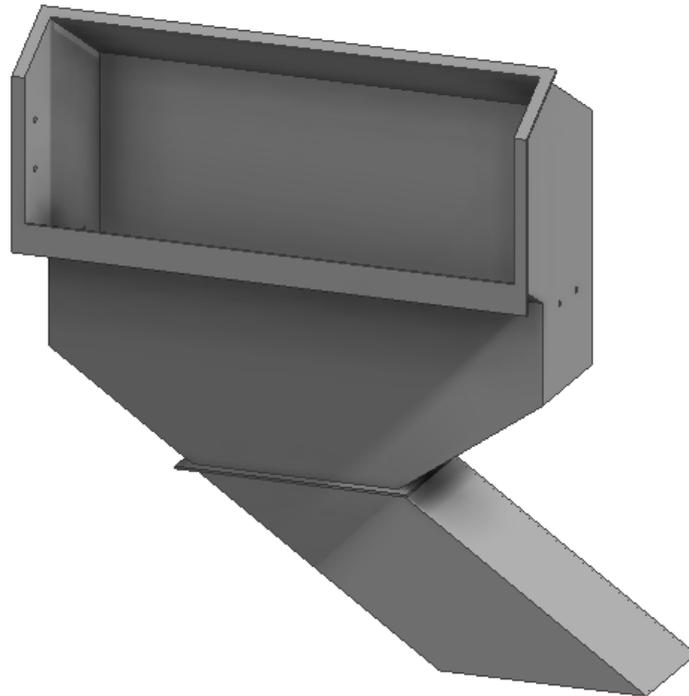


Ilustración 56. CAD Ducto de rechazo.

11.3.6 CAD Canal Conductor de Roca Admitida

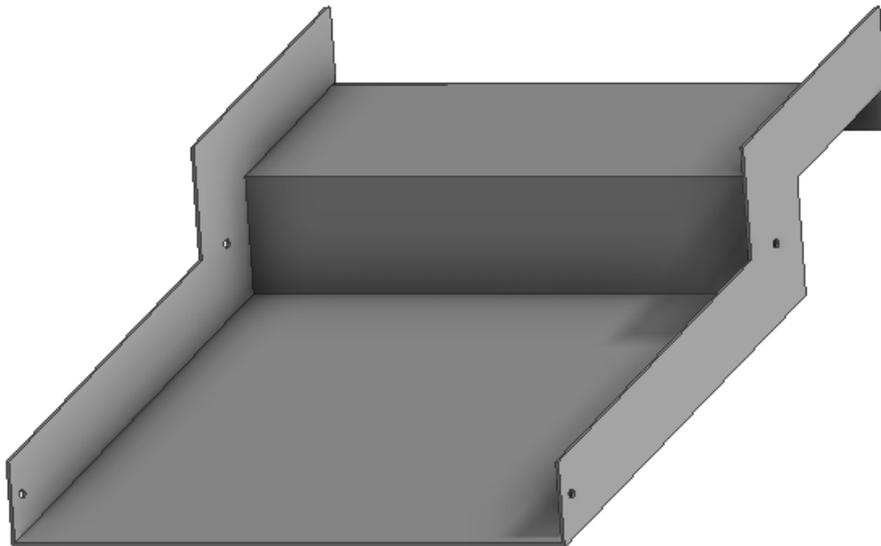


Ilustración 57. CAD Canal conductor de roca admitida.

11.4 Instructivo de montaje

Inicialmente debe ser ensamblada y fijada la estructura principal a través de soldadura compuesta por tubería de perfil rectangular sobre la cual se realizará el montaje de todos los elementos de la máquina.

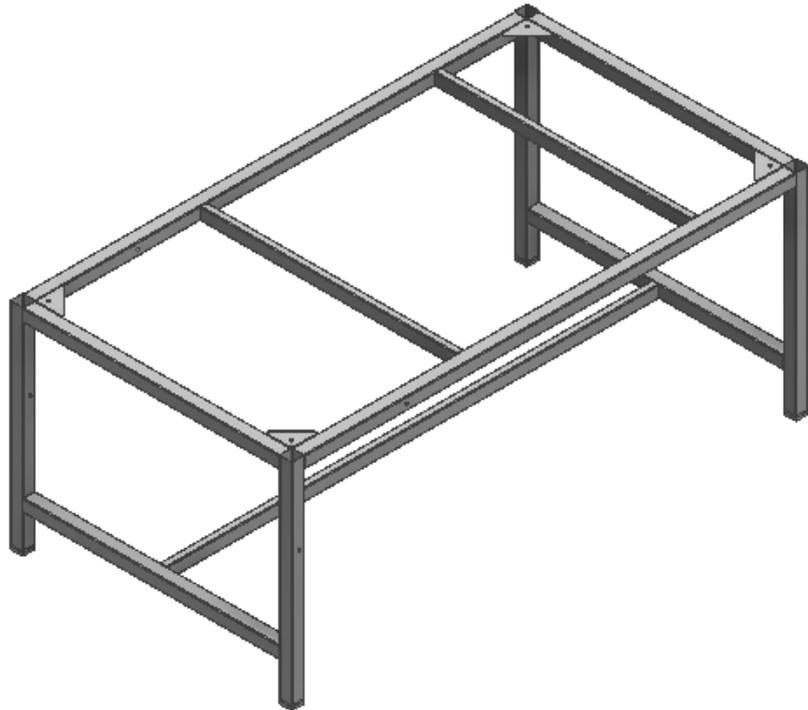


Ilustración 58. CAD Estructura principal.

Ahora se procede a encajar sobre la estructura principal, la estructura que soportara el sistema de distribución y se asegura a través de ángulos de fijación y soldadura.

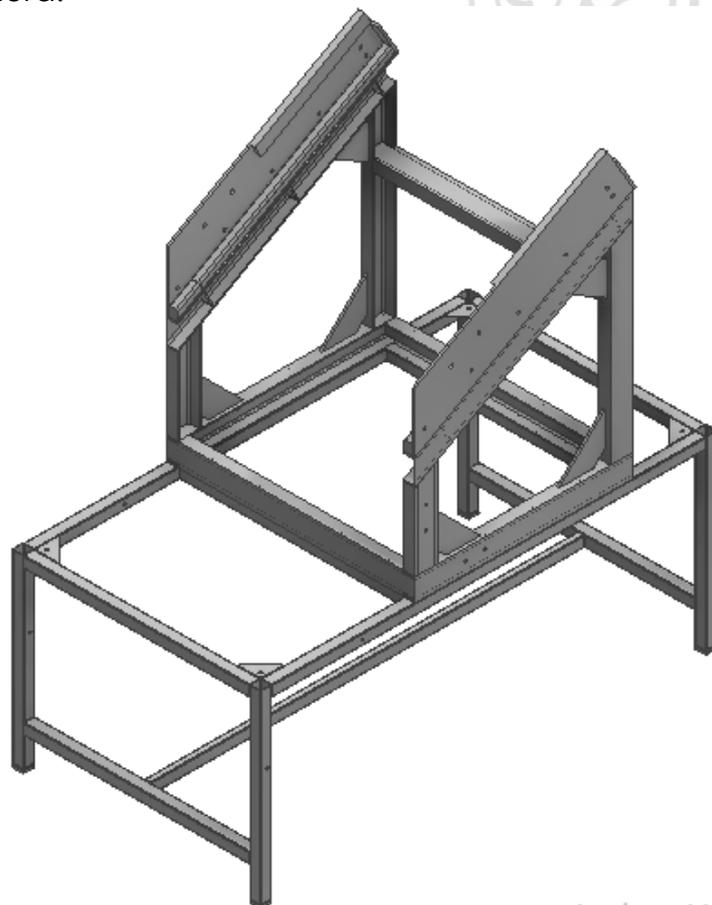


Ilustración 59. Ensamble de soporte sistema de distribución sobre estructura principal.

Luego se realiza la instalación del bajante de rechazo que irá fijado en la estructura que soporta el sistema de distribución, el cual se ensamblará a través de uniones atornilladas, donde la referencia del tornillo es DIN 6914, arandela DIN 126 y tuerca DIN 6915.

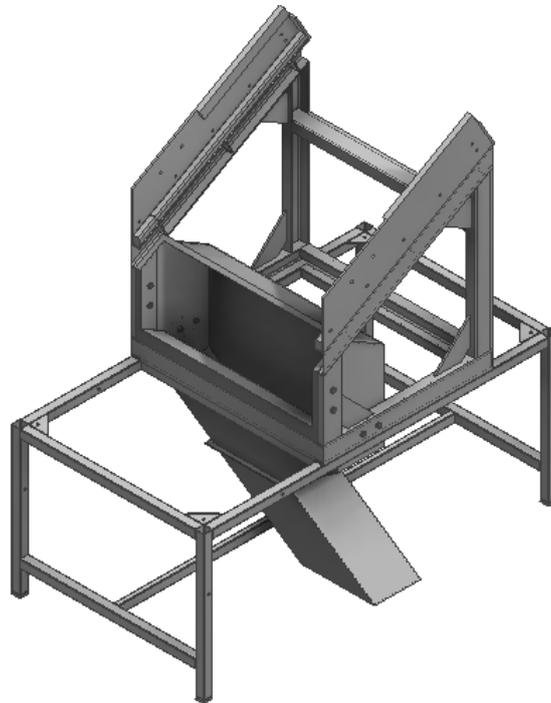


Ilustración 60. Ensamble ducto de rechazo en soporte sistema de distribución.

A continuación, se instala el canal por donde descenderán las rocas de buena calidad admitidas por el sistema de visión, para lo que se utilizarán como elementos de fijación tornillos de referencia DIN 6914, arandelas DIN 126 y tuercas DIN 6915.

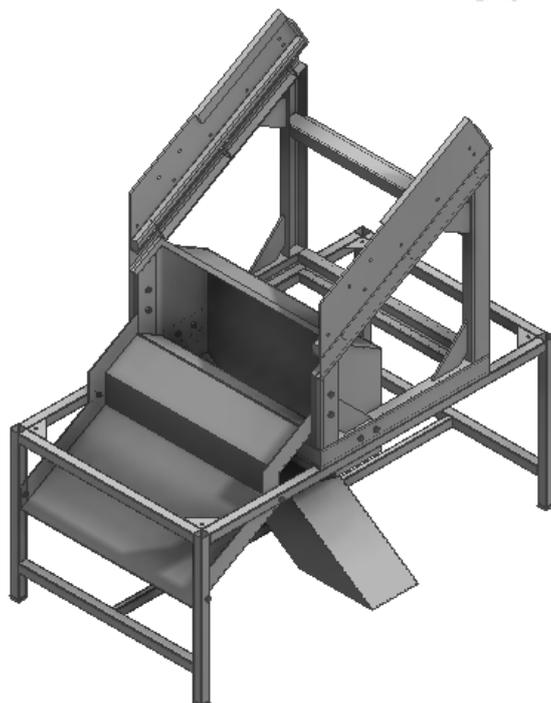


Ilustración 61. Ensamble de canal conductor de rocas admitidas en soporte sistema de distribución y ducto de rechazo.

Seguidamente se sitúa el sistema de distribución sobre su respectiva estructura y se fija a través de uniones atornilladas, con tornillos DIN 6914, arandelas DIN 126 y tuercas DIN 6915.

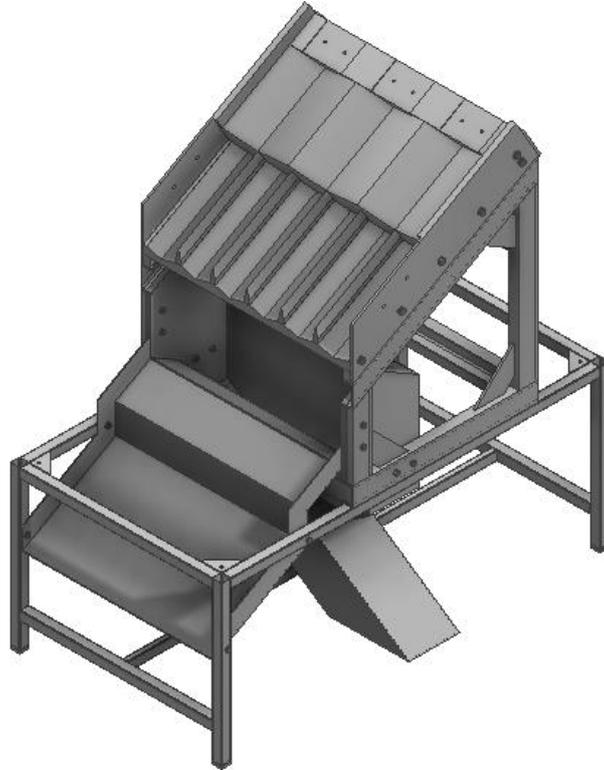


Ilustración 62. Ensamble sistema de distribución sobre su soporte.

Ahora, se realiza el montaje del soporte sobre el que estará ubicado el sistema de expulsión, el cuál se se fija a través de soldadura.

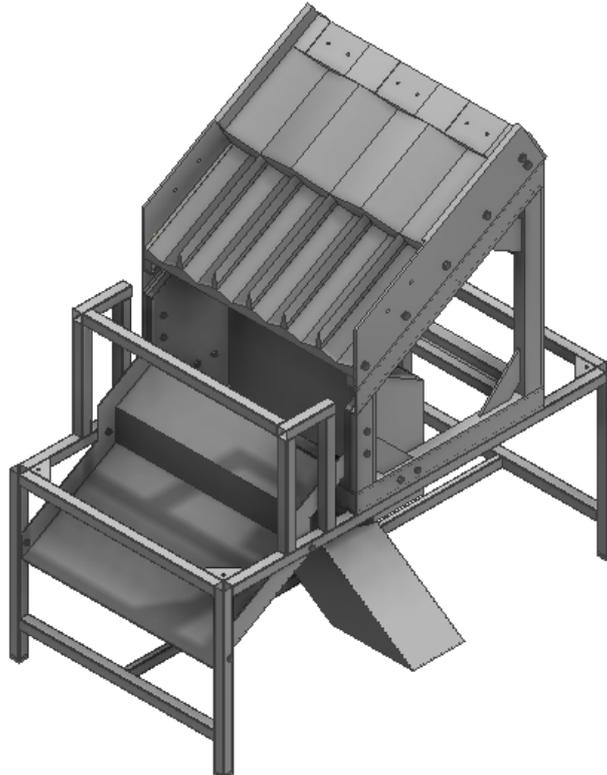


Ilustración 63. Ensamble soporte sistema de expulsión sobre estructura principal.

El sistema de expulsión se ensambla aparte para luego ser montado sobre su respectivo soporte. Para comenzar, se le asigna a cada cilindro sus respectivos pies de fijación y su respectiva horquilla que se rosca en el vástago. Los tornillos utilizados para la fijación de los pies al cilindro son los DIN 6912.

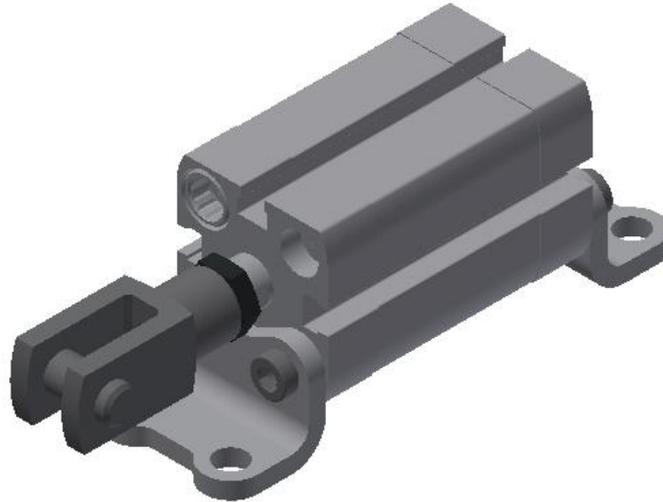


Ilustración 64. Ensamble cilindro, pies de fijación y horquilla.

Paralelamente se montan los rodamientos a presión en la cavidad correspondiente de las paletas de expulsión.

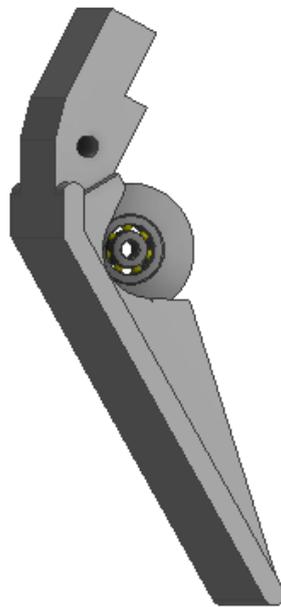


Ilustración 65. Ensamble paleta y rodamiento.

Se desmonta el pasador de la horquilla para posicionar la paleta en la que previamente fue montado el rodamiento y finalmente se introduce nuevamente el pasador.

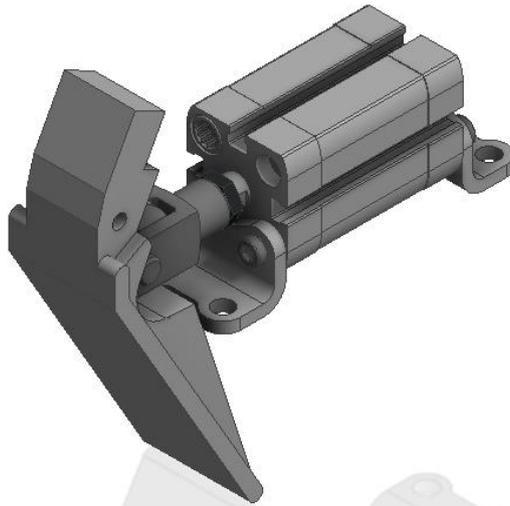


Ilustración 66. Ensamble cilindro-paleta.

Son instalados los respectivos cilindros sobre la placa donde irán fijos junto con las respectivas electroválvulas. Se utilizan uniones atornilladas, donde para la fijación de los pies de los cilindros a la placa inferior se utilizan tornillos DIN 6912 y para las electroválvulas tornillos DIN EN ISO 7045 H.

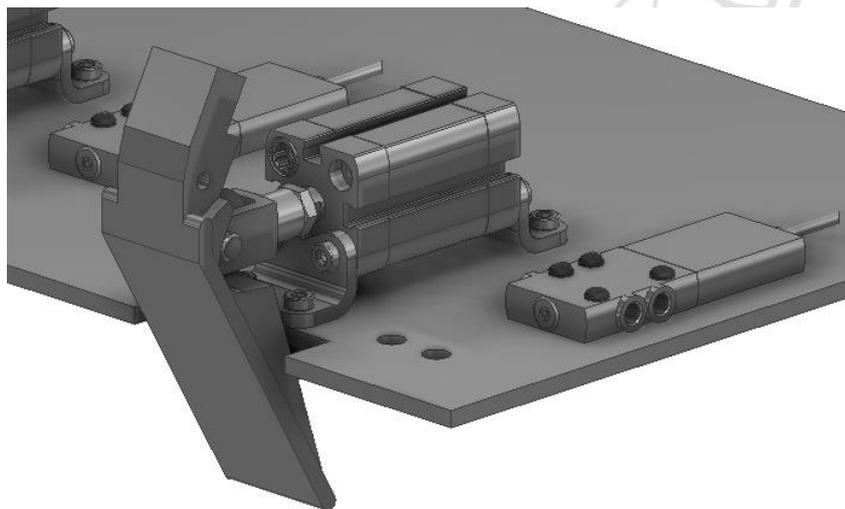


Ilustración 67. Ensamble cilindro de expulsión, paleta, electroválvula y placa inferior de fijación.

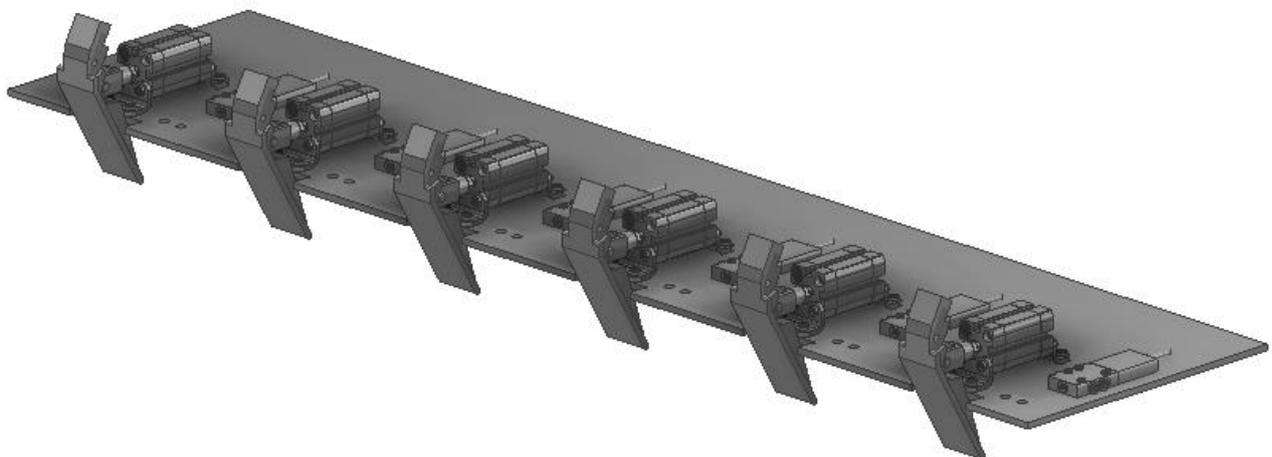


Ilustración 68. Ensamble de 6 cilindros de expulsión, paletas, electroválvulas y placa inferior de fijación.

Luego se montan los respectivos soportes que servirán como pivote a través de un pasador cuando se genere el accionamiento de la paleta. La fijación es a través de una unión atornillada, con tornillos de referencia DIN 933, arandelas DIN 126 y tuercas DIN 439-2.

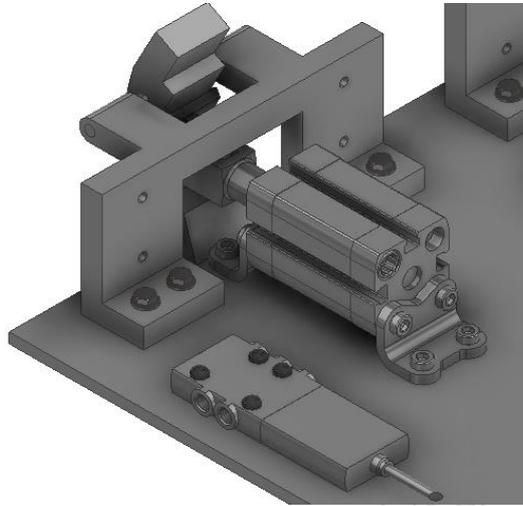


Ilustración 69. Ensamble cilindro de expulsión, paleta, soporte y pasador para pivotamiento

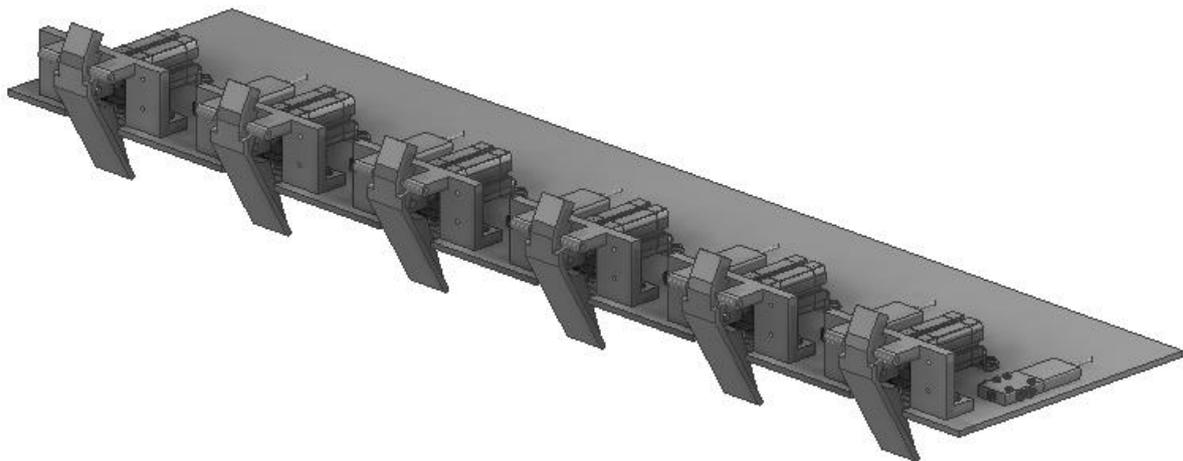


Ilustración 70. Ensamble de los 6 soportes y pasadores para pivotamiento.

Ahora se monta la placa frontal y la cubierta del sistema de expulsión y se fijan a través de uniones atornilladas con tornillos DIN 933, arandelas DIN 126 y tuercas DIN 439-2.

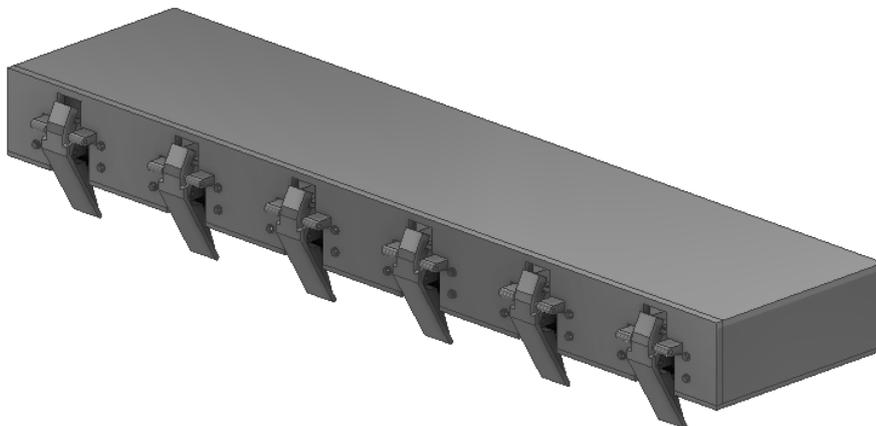


Ilustración 71. Ensamble sistema de expulsión con placa frontal y cubierta.

Una vez se tiene ensamblado el sistema de expulsión con su respectiva cubierta, este se instala sobre su respectivo soporte por medio de uniones atornilladas con tornillos DIN 933, arandelas DIN 126 y tuercas DIN 439-2.

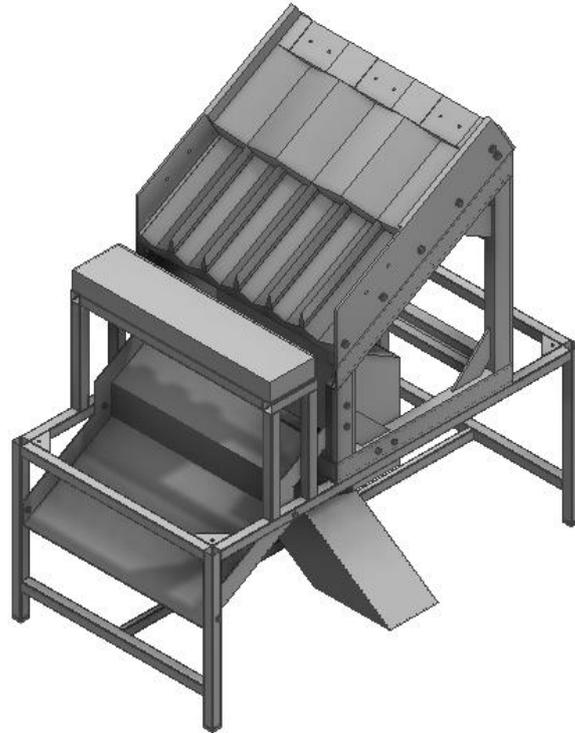


Ilustración 72. Ilustración 63. Ensamble sistema de expulsión sobre soporte.

Ahora se instala la cubierta en donde estarán los elementos del sistema de visión artificial y se fija a través de tornillos DIN 6914, arandelas DIN 126 y tuercas DIN 6915.

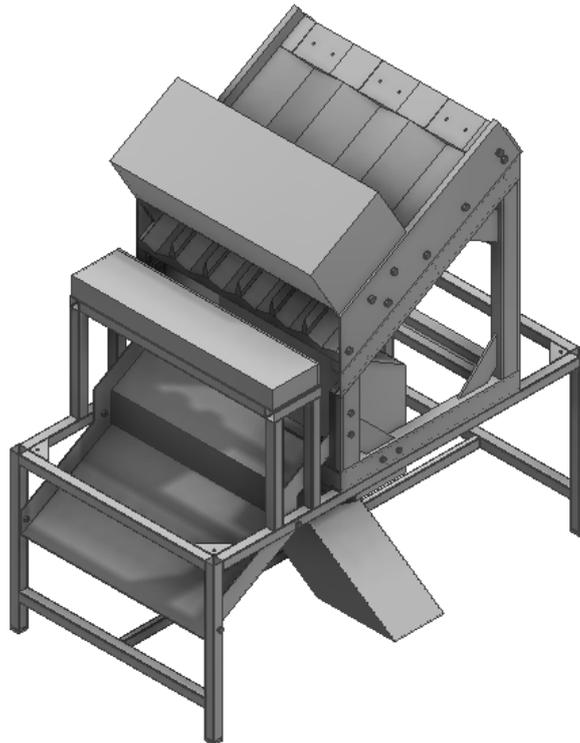


Ilustración 73. Ensamble cubierta de sistema de visión artificial sobre sistema de distribución y estructura que lo soporta.

Finalmente, para terminar el ensamble de la máquina se realiza el montaje del sistema de alimentación, al cuál se le fijan sus soportes a través de tornillos DIN EN 24017, arandelas DIN 125-1 y tuercas EN 24035 y el sistema de alimentación se fija al sistema de distribución a través de tornillos DIN 6914, arandelas DIN 126 y tuercas DIN 6915.

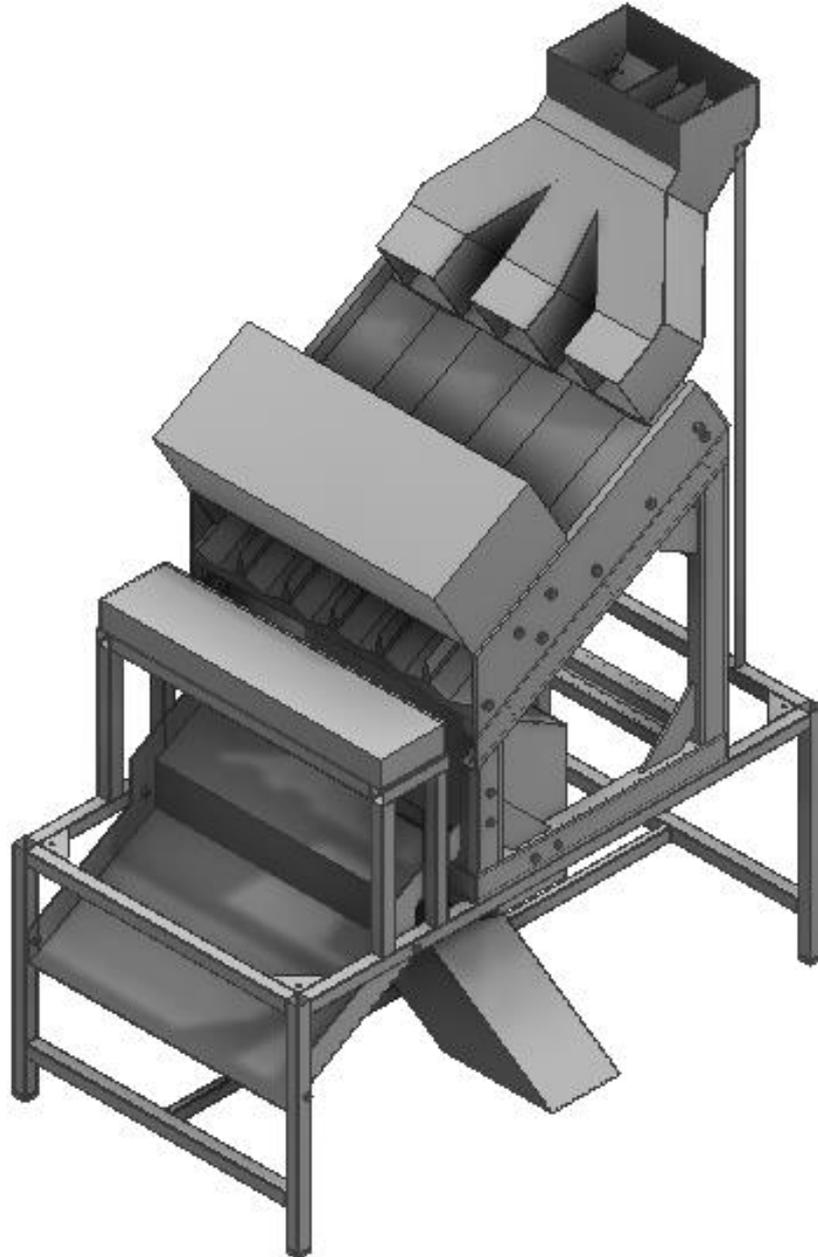


Ilustración 74. Ensamble final con sistema de alimentación.

12 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Con el fin de cuantificar los beneficios que traería la implementación de la clasificadora automática, se realizaron una serie de cálculos basados en los resultados del año 2018 proporcionados por la empresa, para determinar los porcentajes de aumento en la producción, de aumento en la utilidad por toneladas vendidas y de ahorro en nómina. A continuación, se muestra en la **Tabla 24**, el resumen de los resultados obtenidos respecto a la producción:

Tabla 24. Análisis de producción clasificación manual y automática.

MES	PRODUCCIÓN CLASIFICACIÓN MANUAL			PRODUCCIÓN CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA		
	Ton/Mes	Prom Ton/Hora	Ton/Mes 40-80	Aumento Promedio/Hora	Ton/Mes	Ton/Mes 40-80
Enero	13387.90	41.45	6693.95	18.55	19378.00	9689.00
Febrero	12181.13	36.20	6090.56	23.80	20191.00	10095.50
Marzo	14414.58	44.72	7207.29	15.28	19341.00	9670.50
Abril	17007.54	45.10	8503.77	14.90	22625.00	11312.50
Mayo	16346.70	43.45	8173.35	16.55	22571.00	11285.50
Junio	15435.00	40.15	7717.50	19.85	23066.00	11533.00
Julio	15291.50	40.18	7645.75	19.82	22832.00	11416.00
Agosto	15305.20	37.26	7652.60	22.74	24643.00	12321.50
Septiembre	22899.58	53.69	11449.79	6.31	25592.00	12796.00
Octubre	18866.55	43.09	9433.28	16.91	26270.00	13135.00
Noviembre	14134.58	33.11	7067.29	26.89	25610.00	12805.00
Diciembre	16386.13	46.15	8193.06	13.85	21303.00	10651.50
TOTAL	191656.36	504.57	95828.18	215.43	273422.00	136711.00

Toneladas a producir con clasificación automática	60
% Destinado de la producción mensual a 40-80	50%

Aumento producción implementando la clasificadora automática	70%
--	-----

Como se observa en la **Tabla 24**, actualmente, con un promedio de 42 Ton/hora se producen anualmente 191.656,36 toneladas de roca triturada, con clasificación manual, de las cuales el 50% corresponde a la roca malla 40 - malla 80 (40mm-80mm), es decir, 95.828,18 Toneladas. Una vez sea implementada la clasificación automática, la producción aumentará en un 70%, logrando 273.422 Toneladas al año, con un promedio de 60 Toneladas por hora, de las cuales 136.711 Toneladas son de caliza de 40mm-80mm. Dicho aumento, puede apreciarse mejor en las **Ilustraciones 73 y 74**.

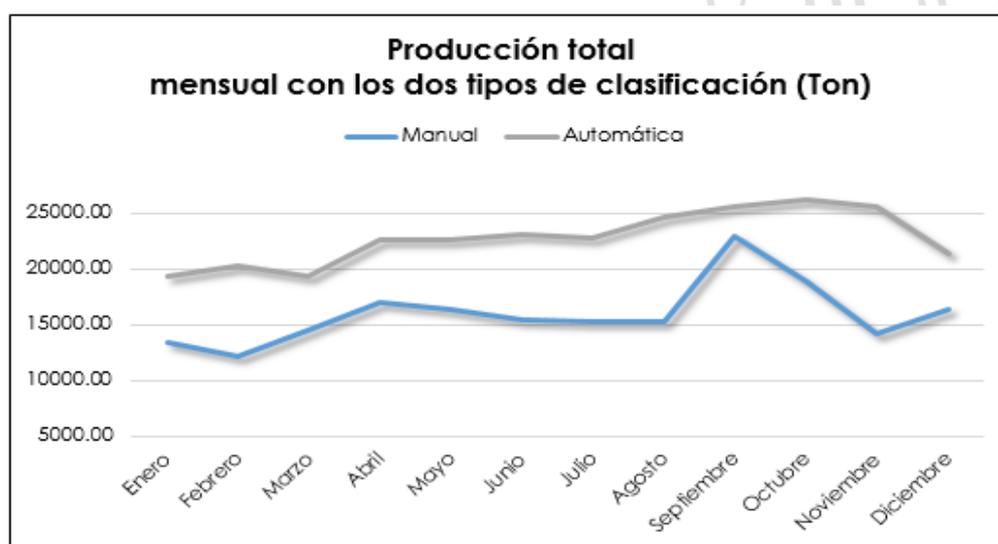


Ilustración 75. Producción mensual de clasificación manual y automática.

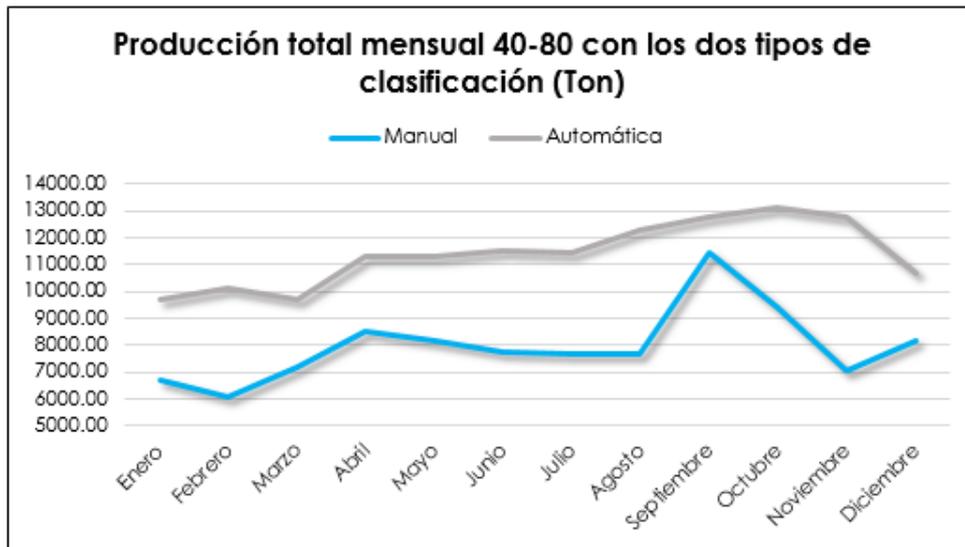


Ilustración 76. Producción mensual de 40mm-80mm con clasificación manual y automática.

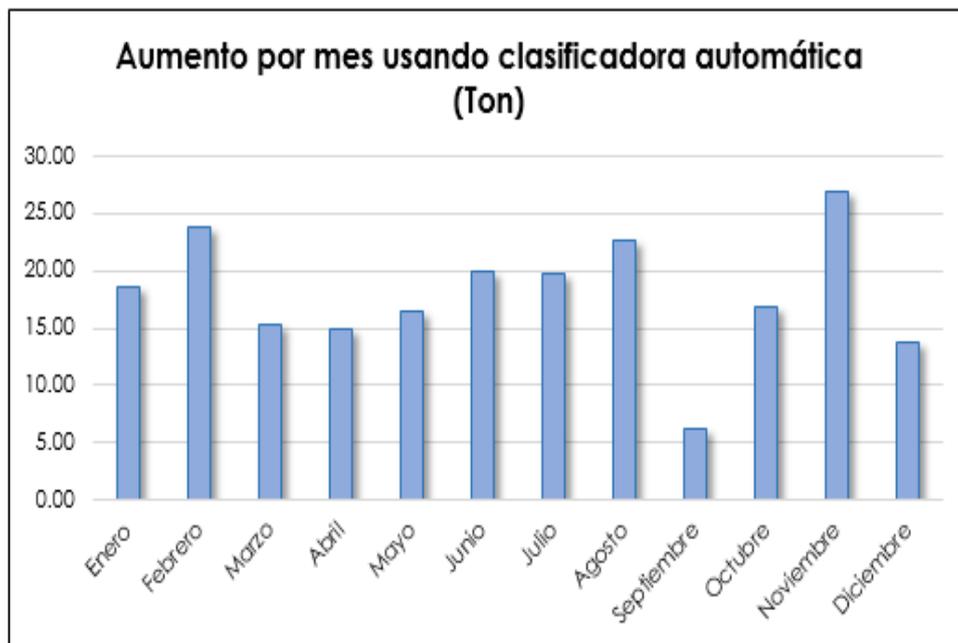


Ilustración 77. Aumento mensual de 40mm-80mm implementando clasificación automática.

Además, se puede observar en la **Ilustración 77**, el aumento por mes usando la clasificadora automática, donde, los meses de Febrero y Noviembre tienen el mayor aumento, y los meses de Septiembre y Diciembre el menor aumento.

Luego de analizar la producción obtenida con los dos tipos de clasificación, se realizó el análisis de costo e ingresos para cada una de las clasificaciones, utilizando, como se dijo anteriormente, los datos suministrados por la empresa en el año 2018. Los resultados obtenidos se muestran en las **Tablas 25 y 26**:

Tabla 25. Costos e Ingresos Clasificación Manual.

CLASIFICACIÓN MANUAL				
Mes	COSTOS 40-80			INGRESOS
	Costos	Toneladas	Costo Unitario	Ingreso por Ventas
Enero	44,612,901	6,693.95	6664.66	207,512,450
Febrero	55,320,945	6,090.56	9083.06	188,807,438
Marzo	55,665,701	7,207.29	7723.53	223,425,913
Abril	57,978,857	8,503.77	6818.02	263,616,793
Mayo	72,169,046	8,173.35	8829.80	253,373,850
Junio	64,645,021	7,717.50	8376.42	239,242,500
Julio	74,187,477	7,645.75	9703.10	237,018,250
Agosto	63,799,803	7,652.60	8337.01	237,230,600
Septiembre	79,246,155	11,449.79	6921.19	354,943,413
Octubre	87,109,974	9,433.28	9234.33	292,431,525
Noviembre	79,454,121	7,067.29	11242.52	219,085,913
Diciembre	77,506,535	8,193.06	9460.02	253,984,938
TOTAL	811,696,536	95,828	102,394	2,970,673,580

Precio Venta/Ton	31,000
------------------	--------

Utilidad Clasificación Manual	2,158,977,044
-------------------------------	---------------

Tabla 26. Costos e Ingresos Clasificación Automática.

CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA				
Mes	COSTOS 40-80			INGRESOS
	Costos	Toneladas	Costo Unitario	Ingreso por Ventas
Enero	93,465,955	9,689.00	9646.60	300,359,000
Febrero	151,995,400	10,095.50	15055.76	312,960,500
Marzo	100,217,104	9,670.50	10363.18	299,785,500
Abril	102,603,949	11,312.50	9069.96	350,687,500
Mayo	137,591,745	11,285.50	12191.91	349,850,500
Junio	144,366,488	11,533.00	12517.69	357,523,000
Julio	165,393,461	11,416.00	14487.86	353,896,000
Agosto	165,397,321	12,321.50	13423.47	381,966,500
Septiembre	98,976,435	12,796.00	7734.95	396,676,000
Octubre	168,889,655	13,135.00	12857.99	407,185,000
Noviembre	260,837,528	12,805.00	20369.97	396,955,000
Diciembre	130,998,804	10,651.50	12298.62	330,196,500
TOTAL	1,720,733,846	136711	150017.9694	4,238,041,000

Ganancia Clasificación Automática	358,330,110
-----------------------------------	-------------

Utilidad Clasificación Automática	2,517,307,154
-----------------------------------	---------------

En las **Tablas 25 y 26**, se evidencia que el aumento del 70% en la producción anteriormente mencionado, conlleva así mismo, a un aumento de las ganancias en un 14%, pasando de tener una utilidad de \$2.158'977,044 a \$2.517'307.154 es decir, la utilidad incrementa en \$358'330.110. Dichos resultados se pueden apreciar de una mejor manera en las **Ilustraciones 78 y 79**:

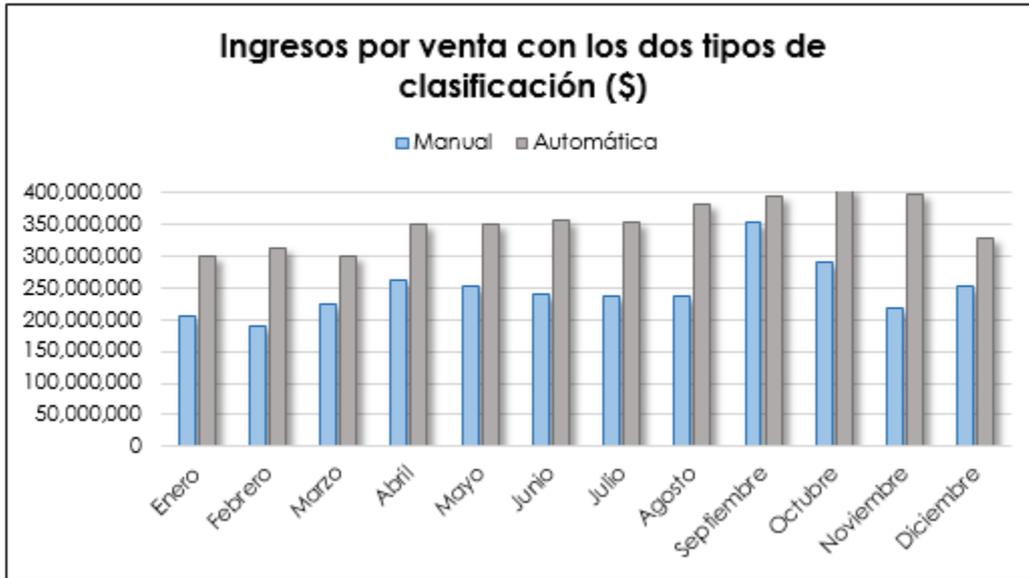


Ilustración 78. Ingresos con los diferentes tipos de clasificación.

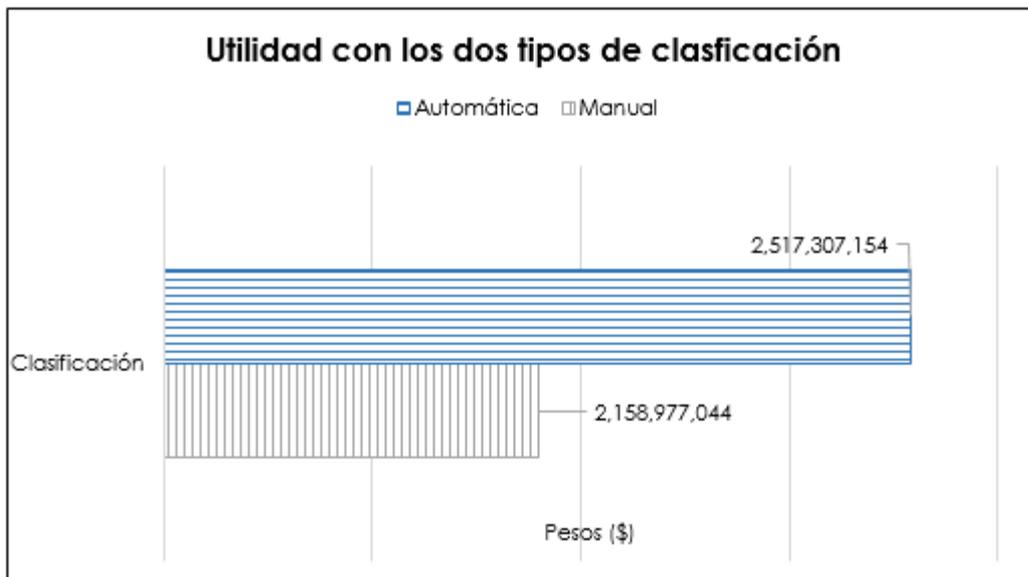


Ilustración 79. Utilidad con los diferentes tipos de clasificación.

Como se puede observar en la **Ilustración 78**, la utilidad aumentaría un 14% con la implementación de la máquina clasificadora. Además, respecto a los ingresos por cada mes, se evidencia en la **Ilustración 78**, que en todos los meses los ingresos aumentan con la clasificación automática.

Finalmente, se realiza un promedio de la nómina de los 18 trabajadores actuales de clasificación (distribuidos en 3 turnos de 6 personas cada uno), con el fin de conocer el ahorro que tendría la empresa en el momento de la implementación de la máquina clasificadora.

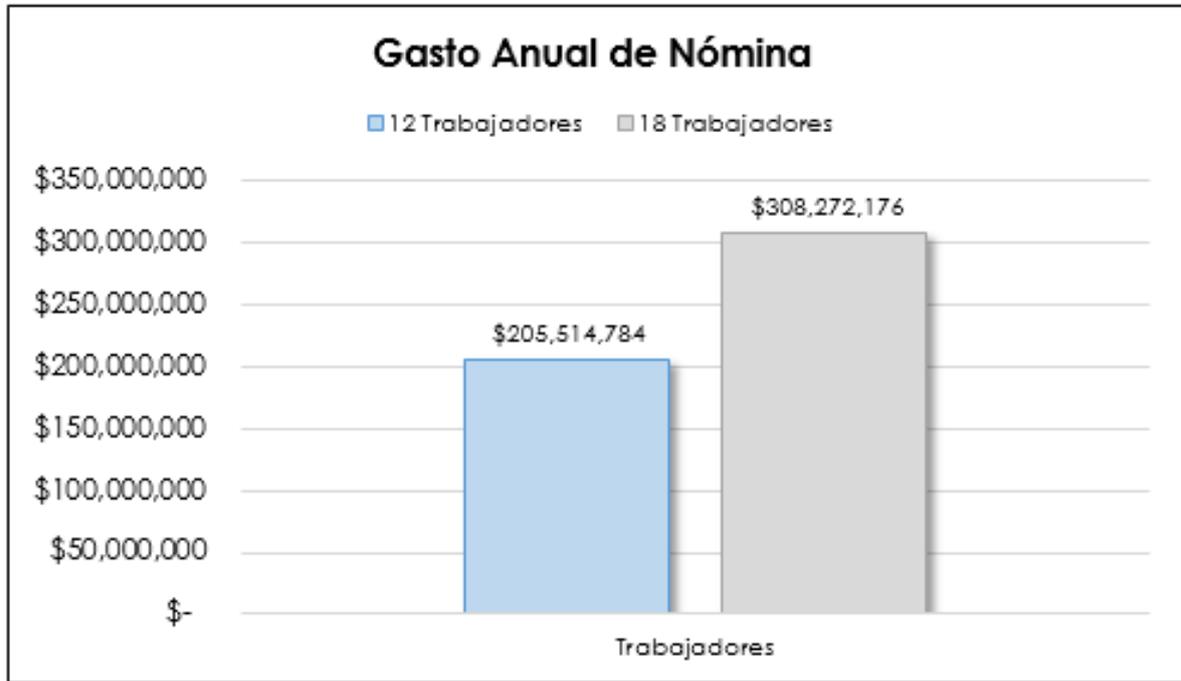


Ilustración 80. Gasto anual de nómina de clasificación.

La **Ilustración 80**, muestra lo que se gasta anualmente en nómina para los 18 trabajadores, lo cual corresponde a \$308'272.176. En el caso de que se implemente la máquina, reduciendo de 18 a 12 trabajadores, lo cual representaría solamente un gasto de \$205'514.784, que corresponde a un ahorro de \$102'757.392, que en porcentaje se traduce al 33%.

Todos los resultados obtenidos, indican la efectividad de la implementación de la máquina, puesto que trae múltiples beneficios como ahorros en nómina, que a su vez trae aumento en la producción y por ende en los ingresos y utilidades de la empresa.

Con los resultados anteriores, se procede a estimar la inversión a realizar en la máquina, según los equipos y elementos seleccionados, además de la configuración de la máquina que se pudo observar a través del modelo en 3D de los sistemas que la integran y su respectivo ensamble según el instructivo de montaje. Cabe resaltar que los valores mostrados a continuación son aproximados, basados en cotizaciones solicitadas a los diferentes proveedores, con el objetivo de obtener la relación costo/beneficio para proyectar el impacto que tendría la máquina clasificadora.

Tabla 27. Estimación de inversión máquina clasificadora.

ESTIMACIÓN DE INVERSIÓN			
Especificación	Cant	Valor Unit	Total
Sistema de visión			
Sistema de visión IS7900M-373-50	6	\$ 42.399.560	\$ 254.397.360
Autofocus for In-Sight 7000GII Series	6	\$ 2.358.830	\$ 14.152.980
7000GEN2 AUTOFOCUS TOOL	6	\$ 386.000	\$ 2.316.000
Illumination Accessory for In-Sight 7000 GII series	6	\$ 2.787.710	\$ 16.726.260
Cognex X-Coded M12 Ethernet Cable (5M Length)	4	\$ 536.100	\$ 2.144.400
Power and I/O Cable, M12-12 (5M Length)	6	\$ 600.430	\$ 3.602.580
Iluminaciones	10	\$ 1.337.900	\$ 13.379.000
Fuente 180 W	1	\$ 741.000	\$ 741.000
Sistema de expulsión			
Cilindro doble efecto ADN-20-25-A-P-A	6	\$ 213.572	\$ 1.281.432
Horquilla SG-M8	6	\$ 25.654	\$ 153.924
Rodamiento SKF 634	6	\$ 150.000	\$ 900.000
Fijación por pies HNA-20	12	\$ 41.240	\$ 494.880
Electroválvula MHE2-MS 1H-5/2-M7-K	6	\$ 727.335	\$ 4.364.010
Compresor Atlas copco AR-5-80H-208/230-1-PKG	1	\$ 7.706.000	\$ 7.706.000
Montaje neumático			\$ 5.000.000
Otros			
Fabricación y montaje , control e instalaciones eléctricas, diversos (aprox)			\$ 120.000.000
Total			\$ 447.359.826

Teniendo en cuenta el incremento de la utilidad que sería \$358'330.110, más el ahorro que se tendría en nómina de \$102'757.392 el retorno de la inversión de \$447'359.826 se daría en aproximadamente un año.

13 OTRAS ACTIVIDADES

13.1 Modelo 3D de plantas producción

Calcáreos Industriales y Agrícolas Ltda (Calina Ltda) cuenta con 3 plantas de procesamiento de Carbonato de Calcio (Caliza) y Carbonato de Magnesio, de las cuales 2 están ubicadas en Río Claro y una de ellas en el municipio de Amalfi, que se encargan de suministrar productos triturados y molidos a la industria del vidrio y al sector agrícola. Como proyecto secundario se realizó el modelo 3D de las plantas de la compañía en donde se pueden visualizar todos los equipos, en especial el cuerpo de motores y sus respectivas ubicaciones. Así, se creó un nuevo formato en donde se tiene además de la ubicación de los equipos, las respectivas especificaciones de los cuerpos de motores facilitando tener mayor control sobre el registro de inventario y mantenimiento de los mismos. Se logra diferenciar entre motores, motorreductores y motobombas a través de los colores que son amarillo, rojo y azul respectivamente. Los modelos se desarrollaron a través del software CAD Autodesk Inventor Professional.

13.1.1 Modelo 3D Planta de Trituración Mina La Peña

En la planta de Trituración Mina La Peña ubicada en Río Claro, se lleva a cabo el proceso productivo de reducción y clasificación de tamaño de los rajones de Caliza y Dolomita, contando con tamaños de 0 a 130mm. Allí se cuenta con equipos tales como: Alimentador, zarandas clasificadoras, trituradoras, bandas transportadoras, tornillo lavador, entre otros.

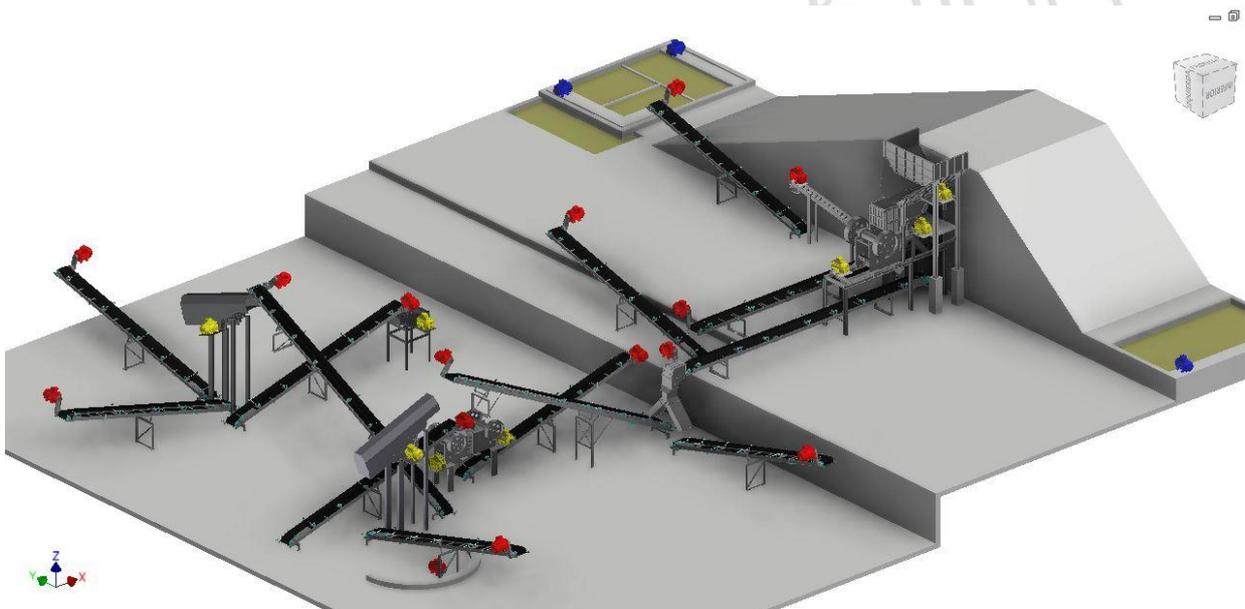


Ilustración 81. Modelo 3D planta de trituración Mina La Peña.

13.1.2 Modelo 3D Planta de Molienda Río Claro

En la Planta de Molienda de Río Claro se producen molidos y finos de Caliza y Dolomita. Allí se cuenta con equipos tales como: Sistemas de captación de material particulado, alimentador, zarandas clasificadoras, trituradoras, molinos, silos, tornillos sinfín, ciclones, elevadores, banda transportadora, tamizadoras, entre otros.

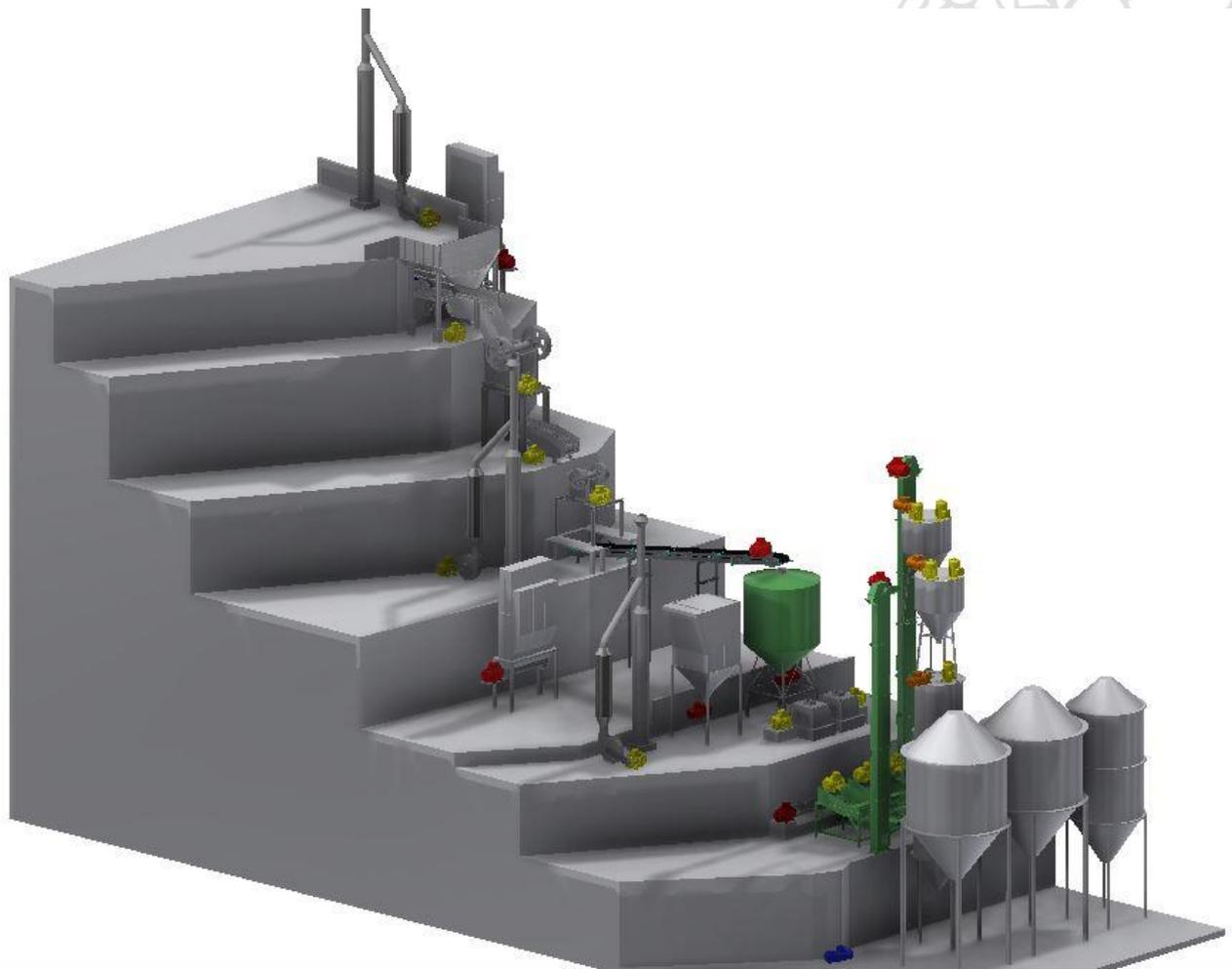


Ilustración 82. Modelo 3D Planta de Molienda Río Claro.

13.1.3 Modelo 3D Planta de Trituración y Molienda Amalfi

En la Planta de Trituración y Molienda de Amalfi se producen triturados, molidos y finos de Caliza y Dolomita. Allí se cuenta con equipos tales como: Alimentador, zarandas clasificadoras, trituradoras, molino, silos, tornillo lavador, tornillo sinfín, ciclón, elevadores, bandas transportadoras, tamizadoras, entre otros.

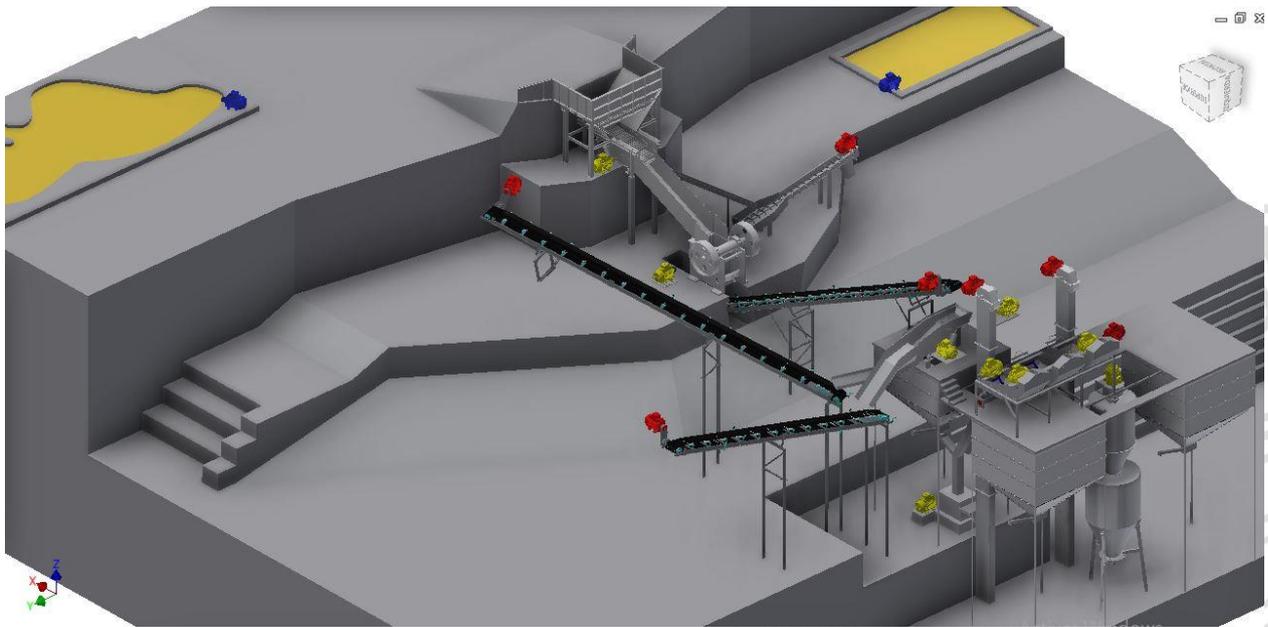


Ilustración 83. Modelo 3D Planta de Trituración y Molienda Amalfi.

13.2 Software HTM Mantenimiento

Paralelamente al proyecto primario de clasificación de roca y al proyecto secundario de modelado 3D de las plantas de la compañía, se recibió capacitación en donde se comenzó con la implementación y manejo del software de HTM Mantenimiento en la compañía adquirido poco antes del inicio de la práctica.



Ilustración 84. Software HTM Mantenimiento.

Entre las principales actividades llevadas a cabo semanalmente con el software se encuentran:

- Planificación, programación y registro de Inspecciones, calibraciones, limpiezas, instalaciones, Mantenimientos Preventivos, Correctivos y Predictivos.
- Establecimiento de tareas y procedimientos a realizar.

- Control de inventarios y repuestos.
- Registro de horas de operación y fallas de equipos.
- Análisis de indicadores de costos de repuestos, cumplimiento de órdenes de trabajo, tiempos promedio de fallas y reparaciones, disponibilidad y confiabilidad, entre otros.



Ilustración 85. Captura de indicadores Software HTM Mantenimiento.

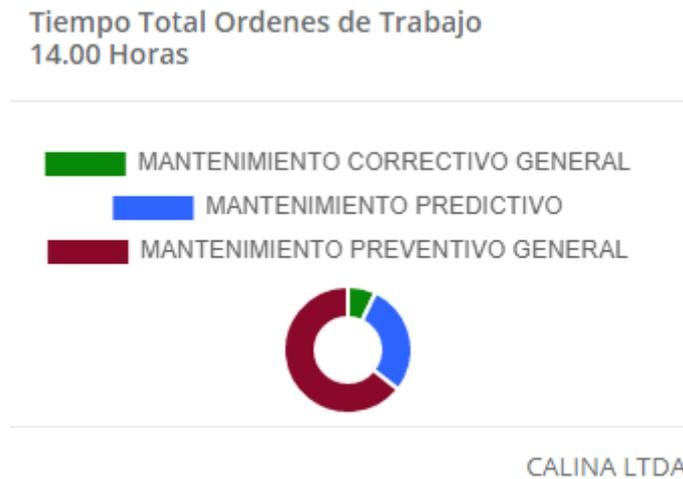


Ilustración 86. Captura de estadísticas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo software HTM Mantenimiento.

Ordenes de Trabajo	Inspecciones	Remisiones	Repuestos Utilizados	Gastos equipo	Registro de Estado	Registro de Fallas
17						
Ordenes de Trabajo	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00		
	Costo Repuestos	Otros Costos	Subtotal			
3	0	14			Ver Calendario	Reporte ODT
Ordenes Pendientes	Ordenes Proceso	Ordenes Terminadas				

Ilustración 87. Captura de indicador de ordenes pendientes, en proceso y terminadas Software HTM Mantenimiento.

13.3 Formatos de producción Planta de Trituración La Peña

Diariamente se llevó registro del consolidado de producción a través del formato Rendimiento de trituración la Peña, en donde se ingresa información como tiempos de procesamiento, tiempos improductivos, toneladas introducidas para ser trituradas, entre otros, y se obtienen datos como toneladas totales del proceso, toneladas/hora con y sin tiempos improductivos, consolidados diarios, mensuales y anuales, indicadores de rendimiento, entre otros.

CONSOLIDADO PRODUCCION TRITURADORA LA PEÑA														F - OP - 37			
														Versión 02			
														Página 1 de 1			
Fecha	hora de inicio	hora de culminación	Tiempo de desayuno o almuerzo	Tiempo de disponibilidad para procesar	Tiempo sin procesar	Tiempo neto producción	Ton. Inicial es en tola	Toneladas sin procesar al final del día en tola	Numero volquetadas a Tolla	Numero cucharadas cargador	Toneladas totales del Proceso	Ton/h (con tiempos improductivos)	Ton/h (restando tiempos improductivos)	modo de operación	APERTURA TRITURADORAS		
														T1	T2	T3	
MAYO																	
1/05/2019	6:00 a.m.	6:00 a.m.	1:00	23:00	4:00	19:00	55	55	38	118	1355,55	58,34	71,34	CALIZA PROPAL	55	55	90
2/05/2019	6:00 a.m.	6:00 a.m.	1:00	23:00	8:33	14:27	55	60	23	56	868,60	37,77	60,11	PROMICAL	55	55	90
3/05/2019	6:00 a.m.	6:00 a.m.	1:00	23:00	14:50	8:10	60	60	10	69	536,03	23,31	65,64	PELDAR SECO	55	55	90
4/05/2019	6:00 a.m.	6:00 a.m.	1:00	23:00	4:53	18:07	60	60	31	31	1080,98	47,00	59,67	CALIZA PROPAL	55	55	90
5/05/2019	6:00 a.m.	1:50 p.m.	1:00	23:00	0:30	6:20	60	60	17	23	465,68	68,15	73,53	CALIZA PROPAL	55	55	90

Ilustración 88. Captura formato de rendimiento de trituración la Peña, Consolidado de rendimiento.

CONSOLIDADO TIEMPOS SIN PROCESAR												F - OP - 38		
												Versión 03		
												Página 1 de 1		
	Falta de roca		Paro de emergencia; Atascamiento		Cortes de energía eléctrica		Atascamiento		otros		reparaciones y mantenimiento		tiempo de paro del día	Observaciones
	tiempo de paro	cantidad de paros	tiempo de paro	cantidad de paros	tiempo de paro	cantidad de paros	tiempo de paro	cantidad de paros	tiempo de paro	cantidad de paros	tiempo de paro	cantidad de paros		
13/05/2019	0:07	2					0:15	1	0:47	1	0:48	1	1:57	Charla SST; cambio de proceso; atascamiento trituradora 3
13/05/2019							0:31	1	4:34	1	0:32	1	5:37	Atascamiento trituradora 3; lluvia
14/05/2019									0:15	1	2:21	4	2:36	Programacion de voladura; destaponamiento de motobomba 1
14/05/2019									2:31	1	3:36	3	6:07	cambio a caliza propal; Lluvia; Limpieza de duchas grizzly
15/05/2019							0:22	1	0:10	1	2:52	4	3:24	Charla SST; Atascamiento B6.
16/05/2019							1:01	1	6:04	2	0:24	2	7:29	Atascamiento T2; lluvia

Ilustración 89. Captura formato de rendimiento de trituración la Peña, Consolidado tiempos sin procesar.

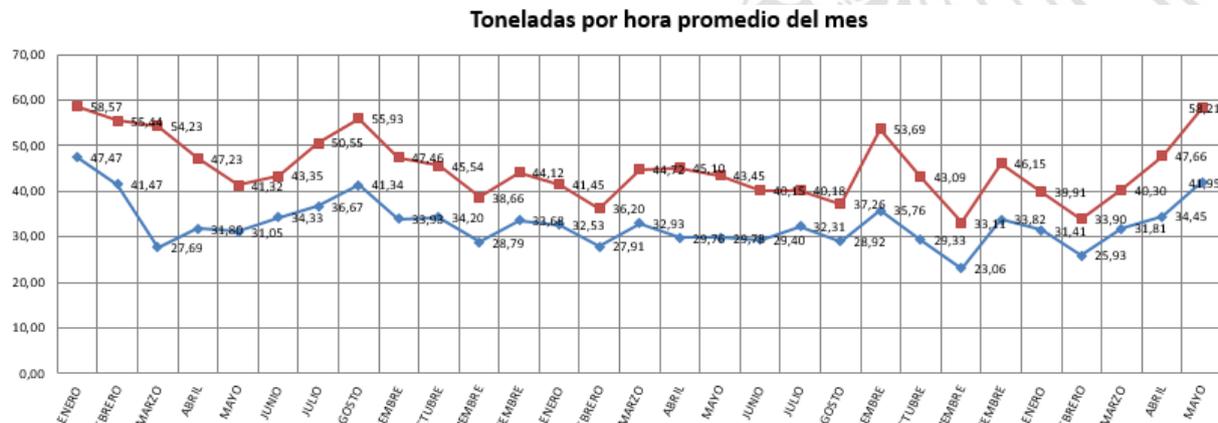


Ilustración 90. Captura formato de rendimiento de trituración la Peña, Toneladas por hora promedio del mes.

14 CONCLUSIONES

En cuanto al sistema de visión con la aplicación de una buena técnica de iluminación más las herramientas de visión de Cognex se logra identificar la sílice en la roca, bajo las condiciones determinadas en las pruebas. Hay que tener en cuenta que, si las rocas son de dimensiones considerables que sobrepasan el alcance de la iluminación, no serían correctamente identificadas y por esta razón se crearían sombras que podrían asumirse como sílice, pero esto se podría solucionar aumentando la iluminación para abarcar rocas de gran tamaño que puedan llegar a ingresar en un caso remoto a la máquina.

Respecto al sistema de expulsión, los equipos seleccionados tendrían un buen desempeño respecto al alto flujo de rocas que se tendría como se puede constatar en las especificaciones de los mismos, por lo que junto con el sistema de visión artificial respecto a la eficiencia, se tendría objetividad y consistencia en largos periodos de tiempo ya que la objetividad de la visión humana sufre de limitaciones en la percepción visual, mientras que las capacidades de un sistema de visión por computador van más allá de la limitada capacidad humana, permitiendo evaluar a largo plazo el proceso de forma objetiva, reduciendo el riesgo relativamente elevado de error humano, ya que las decisiones tomadas por los operarios se ven afectadas por factores psicológicos tales como la fatiga o los hábitos adquiridos.

En general, se logra proyectar el gran impacto que tendría la implementación de la máquina clasificadora de roca en comparación con la clasificación manual, que se vería reflejado tanto en el ahorro del costo de mano de obra al reducir la necesidad de intervención de personal encargado de remover la caliza con alto contenido visible de sílice, como en el incremento de la producción y por ende el aumento de la utilidad en los ingresos de la compañía. Analizando estos dos factores teniendo en cuenta la inversión aproximada que implicaría la fabricación y montaje global de la máquina el retorno se daría alrededor de un año, por lo que la relación costo/beneficio sería bastante positiva para la compañía. Inicialmente se seguiría contando con la primera etapa de clasificación integrada por tres personas y la segunda pasaría de tres a una persona que se encargaría de remover las rocas de gran tamaño que se filtren a través de la malla de 80mm para que no ingresen a la alimentación de la máquina evitando posibles atascamientos.

Finalmente, frente a las demás actividades realizadas durante las prácticas académicas, entre las cuales se destacan la elaboración de los modelos 3D de las plantas con las que cuenta la compañía, además de la implementación del software de mantenimiento, el registro y análisis de la información de los formatos de reducción, entre otras, se lograron los objetivos planteados por parte de la empresa, brindando apoyo operativo al proceso de producción, acompañando los diferentes subprocesos, los programas y

planes de mantenimiento de planta e instalaciones. Con los modelos 3D, se tendrá la facilidad de crear formatos para mantenimiento, repuestos e inventarios visualizando la ubicación de equipos de cada planta. Con la implementación del software de mantenimiento se logra tener mayor control y organización respecto a la planificación, programación y registro de mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos, para que se comiencen a generar una serie de indicadores útiles para realizar acciones de mejora. Para terminar, con el registro y análisis de la información de los formatos de producción se logra evaluar el rendimiento de la planta de trituración y supervisar o monitorear las diferentes variables que intervienen en el proceso de producción.



15 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Fichas Internacionales de Seguridad Química. Carbonato de Calcio. Obtenido de:

<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FI/SQ/Ficheros/1101a1200/nspn1193.pdf>

[2] Formulación química. Sílice. Obtenido de:

<https://www.formulacionquimica.com/SiO2/>

[3] Aplicación práctica de la visión artificial en el control de procesos industriales. (2012). Obtenido de: http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_1_didac_Conceptos_previos.pdf

[4] Oficina Española de Patentes y Marcas. Rechazo de combinación neumática/mecánica. Obtenido de:

http://www.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/54/12/ES-2541208_T3.pdf

[5] Diseño e implementación de un sistema de control para un módulo didáctico ordenador de productos manufacturados. Obtenido de:

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3926/1/CD-3661.pdf>

[6] Milán, Salvador. (1995). Automatización Neumática y Electroneumática.

[7] Tomato Sniper. Obtenido de:

<http://guaresi.com/en/electronic-sorter/tomato-sniper/>

[8] Sorting system including an improved reject mechanism. Obtenido de:

<https://patents.google.com/patent/US5979667A/en>

[9] Ejection finger. Obtenido de:

<https://patents.google.com/patent/US5279426A/en?q=5%2c279.426>

[10] Mechanical rejection system for automatic sorting machines. Obtenido de:

<https://patents.google.com/patent/US4314645A/en>

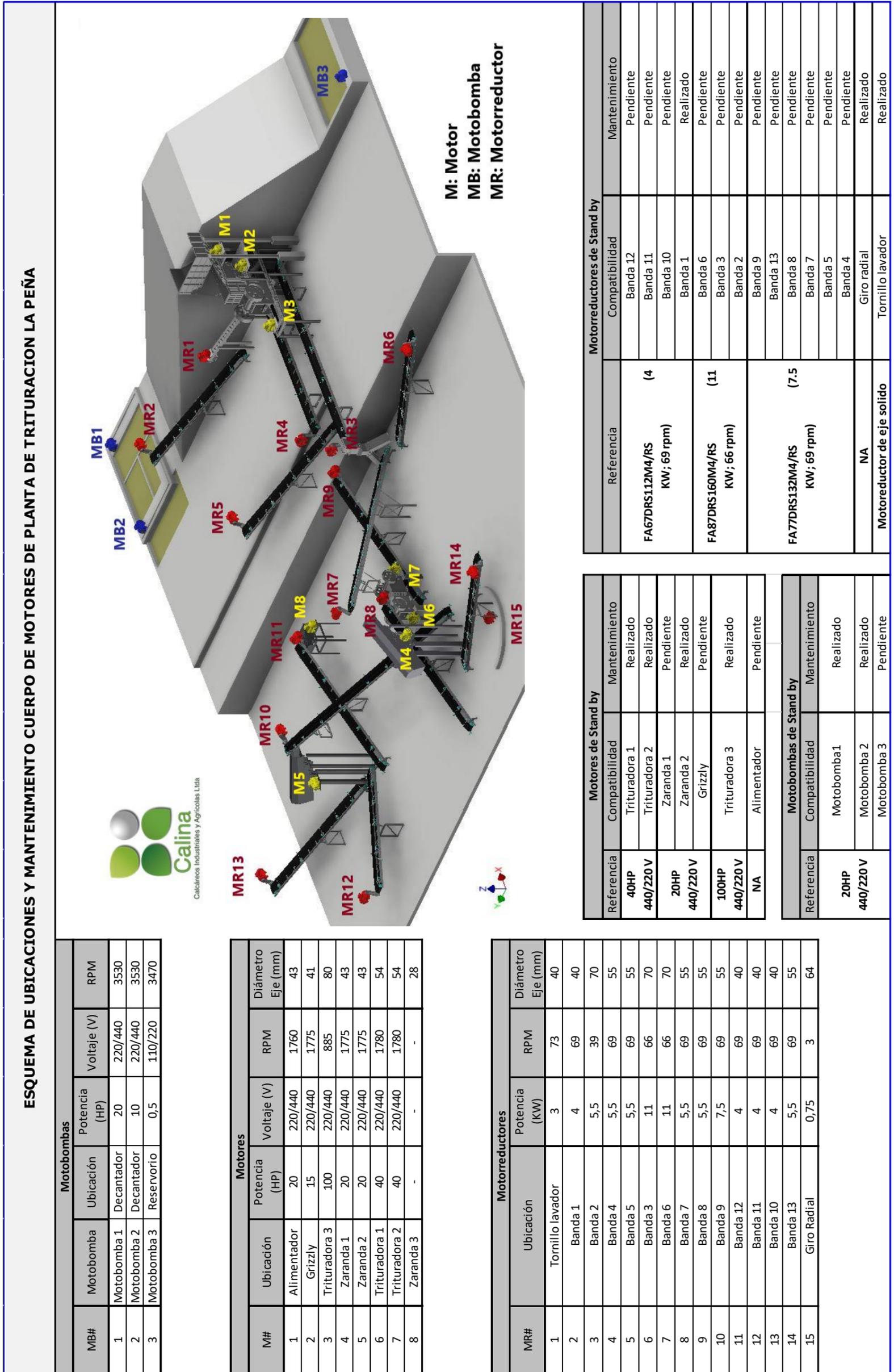
[11] Visión artificial. Obtenido de:

https://www.ecured.cu/Visi%C3%B3n_Artificial

[12] Minerales fluorescentes. Obtenido de:

https://www2.uned.es/cristamine/mineral/prop_fis/luminiscencia3.htm

- [13] Los minerales fluorescentes. Obtenido de:
<https://www.forodeminerales.com/2015/05/los-minerales-fluorescentes.html>
- [14] Calcita. Obtenido de: <https://www.piedraspara.com/calcita/>
- [15] Cuarzo. Obtenido de: <https://www.piedraspara.com/cuarzo/>
- [16] Foro de Mineralogía Formativa - Minerales fluorescentes. Obtenido de:
<https://www.foro-minerales.com/forum/viewtopic.php?t=8095>
- [17] Modos de color: RGB, CMYK y sRGB. Obtenido de:
<http://www.fotonostra.com/grafico/rgb.htm>
- [18] Sistema de visión IS7900M-363-50. Obtenido de:
<https://partner.cognex.com/Catalog/public.aspx?code=IS7900M-363-50>
- [19] Curso de Neumática Básica. Pdf. Introducción y teoría del aire. Norgren.
- [20] Neumática.Pdf. Ingeniería de sistemas y automática ISA.
- [21] Cilindro compacto. ADN-20-25-A-P-A. Obtenido de:
<https://www.festo.com/>
- [22] Horquilla SG-M8. Obtenido de: <https://www.festo.com/>
- [23] Rodamiento SKF 634. Obtenido de: <https://www.skf.com/>
- [24] Cilindros Neumaticos.Pdf. ITAM. Norgren.
- [25] Fijación por pies HNA-20. Obtenido de: <https://www.festo.com/>
- [26] Electroneumática Nivel Básico.Pdf. FESTO. G. Prede, D. Scholz.
- [27] Electroválvula de respuesta rápida MHE2-MS1H-5/2-M7-K. Obtenido de:
<https://www.festo.com/>
- [28] Técnica de aire comprimido. Pdf. Normas básicas y consejos. Kaeser Compresores.
- [29] Compresores Atlas Copco. Obtenido de:
<https://atlascopcocompressorstore.com/5hp-208-230v-single-phase-80-gallon-two-stage-packaged-piston-compressor46>



Motores					
M#	Ubicación	HP	RPM	Marca	Observación
1	Ventilador SCMP N°1	12,5	1740	ABB	-
2	Grizzly	3	1.145	General Electric	-
3	Trituradora 15x24	40	1170	Siemens	-
4	Zaranda doble	10	1150	Siemens	Desmontada
5	Trituradora 9x18	30	1760	Weg	-
6	Ventilador SCMP N°2	20	1765	Weg	-
7	Ventilador filtro molienda	40	1770	Weg	-
8	Molino N°1	80	1200	Weg	-
9	Molino N°2	75	1775	US Motors	-
10	Tamizadora N°1	3	1760	White Louis Allis	-
11	Tamizadora N°2	5	1800	Enclosed	-
12	Tamizadora N°3	3	1760	Siemens	-
13	Ciclón N°1 principal	20	1750	Allis Chalmers	Ciclón N°1 en mantenimiento
14	Ciclón N°1 auxiliar	20	1170	Weg	-
15	Válvula alveolar ciclón N°1	0,9	1660	ABB	-
16	Ciclón N°2 principal	15	1185	Westinghouse	-
17	Ciclón N°2 auxiliar	4	1150	Weg	-
18	Válvula alveolar ciclón N°2	-	-	-	-
19	Ciclón N°3	10	1745	General Electric	-
20	Válvula alveolar ciclón N°3	-	-	-	-
21	Ciclón N°4 principal	10	3515	Weg	Ciclón N°4 Fuera de Servicio
22	Ciclón N°4 auxiliar	-	-	Siemens	-
23	Válvula alveolar ciclón N°4	0,9	1660	ABB	-
24	Sinfín silo cristalera	-	-	-	-
25	Trituradora laboratorio	5	1740	Siemens	-
26	Molino laboratorio	-	-	-	-
27	Compresor	20	3540	Siemens	-
28	Roatap Laboratorio	-	-	Siemens	-

Motorreductores				
MR#	Ubicación	HP	RPM	Marca
1	Sinfín SCMP N° 1	1	73	Sew
2	Banda de gruesos	7,5	63	Sew
3	Sinfín SCMP N° 2	3	1750	Sumitomo
4	Válvula alveolar filtro molienda	3	1730	Sumitomo
5	Alimentador Molino N°1	0,87	900	Oli Vibrator
6	Elevador bajo de gruesos	11 KW	76,8	Sew Eurodrive
7	Elevador alto M20	-	-	-
8	Sinfín tamizadoras	4 KW	60	Variadores Nord
9	Sinfín Ciclón N°1	3	1750	Flender

Motobombas				
MB#	Ubicación	HP	RPM	Marca
1	Bomba de lavado (Rajón)	3	3450	Pedrollo

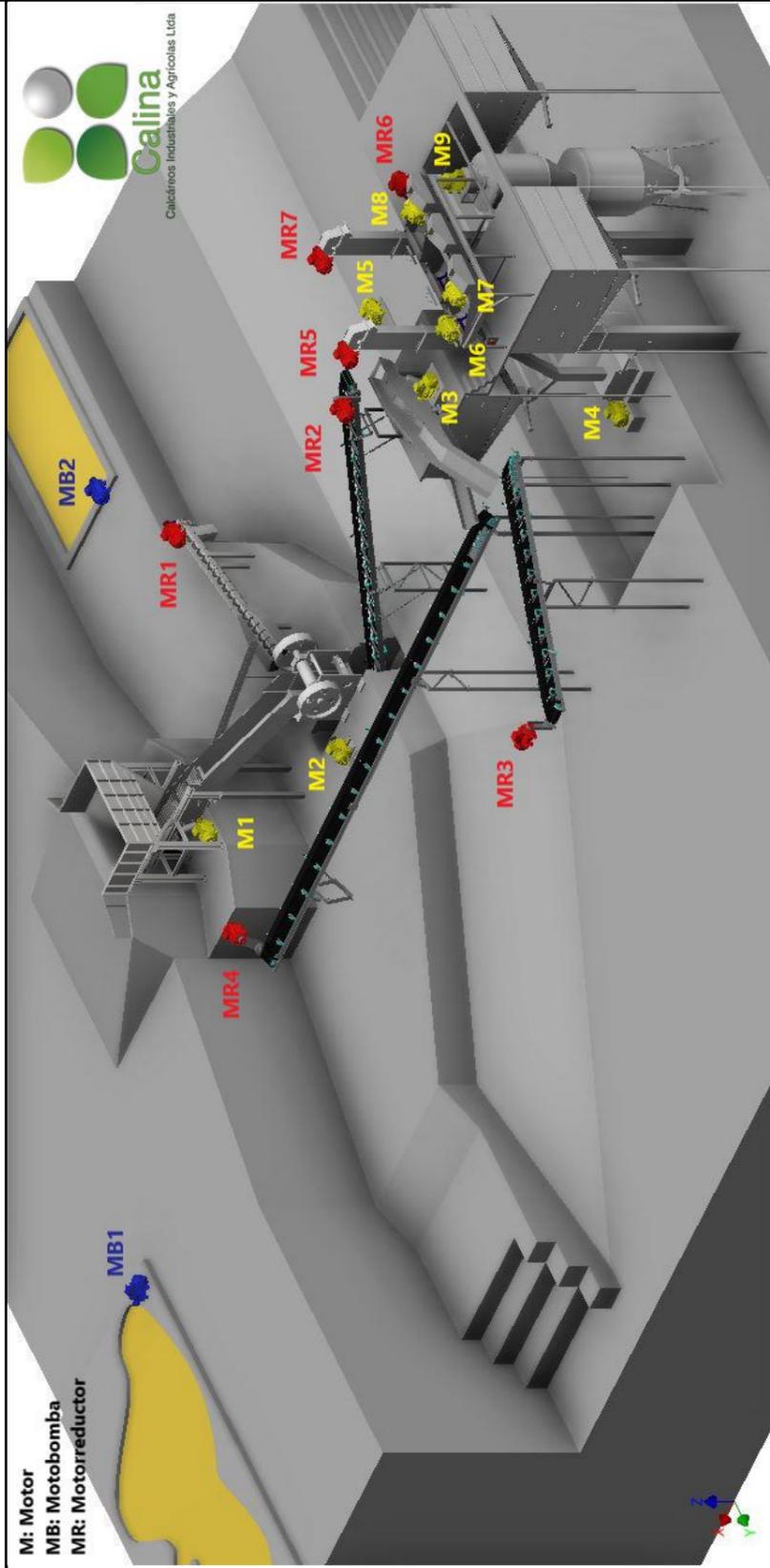
ESQUEMA DE UBICACIONES CUERPO DE MOTORES DE PLANTA DE BENEFICIO

M: Motor
MR: Motorreductor
MB: Motobomba

Motores de Stand By			
Compatibilidad	HP	RPM	Marca
Molino	75	1775	Weg
Trituradora 15x24	20	-	-
Grizzly	-	-	-
Ciclón N°2 auxiliar	75 KW	740	-
Compresor	4	1150	-
-	20	3520	ABB
-	40	1770	Western

Motorreductores de Stand By			
Compatibilidad	HP	RPM	Marca
Banda de gruesos; Sinfín; Tamizadoras; Elevador malla 20	7,5	-	-
Sinfín	2	900	Carman
Sinfín	3	1750	-

ESQUEMA DE UBICACIONES CUERPO DE MOTORES DE PLANTA DE MOLIENDA AMALFI



Motobombas					
MB#	Ubicación	Potencia (HP)	Voltaje (V)	RPM	Diámetro eje (mm)
1	Reservorio	20	220/440	1755	42
2	Decantador	10	220/440	3450	-

Motores					
M#	Ubicación	Potencia (HP)	Voltaje (V)	RPM	Diámetro eje (mm)
1	Grizzly	3	220/440	1145	Motorvibrador
2	Trituradora	40	220/440	880	60
3	Zaranda	10	220/440	1150	38
4	Molino	75	220/440	1770	60
5	Elevador 1	10	220/440	1170	35
6	Tamizador 1	1	220/440	900	Motorvibrador
7	Tamizador 1	2	220/440	1145	-
8	Tamizador 3	1	220/440	900	Motorvibrador
9	Ciclón	15	220/440	1760	38

Motorreductores				
MR#	Ubicación	Pot (KW)	RPM	Diámetro eje (mm)
1	Tornillo lavador	3	73	35
2	Banda 1	4,2	1730	35
3	Banda 2	4	60	40
4	Banda 3	5,6	1440	-
5	Elevador 1	11	76,8	60
6	Tornillo sinfin	5,6	1710	38
7	Elevador 2	5,6	1710	50

Bobinas 220V				
B#	Ubicación	Pot (KW)	Voltaje (V)	Núcleos
1	Alimentador 1	4	220/440	2
2	Tamizador 2	4	220/440	4

Motorreductores de Stand by	
Especificaciones	Compatibilidad
5,5 Hp ; 1750/60 rpm (220/440 V)	Banda 1; Banda 3 ; Tornillo sinfin ; Elevador 2

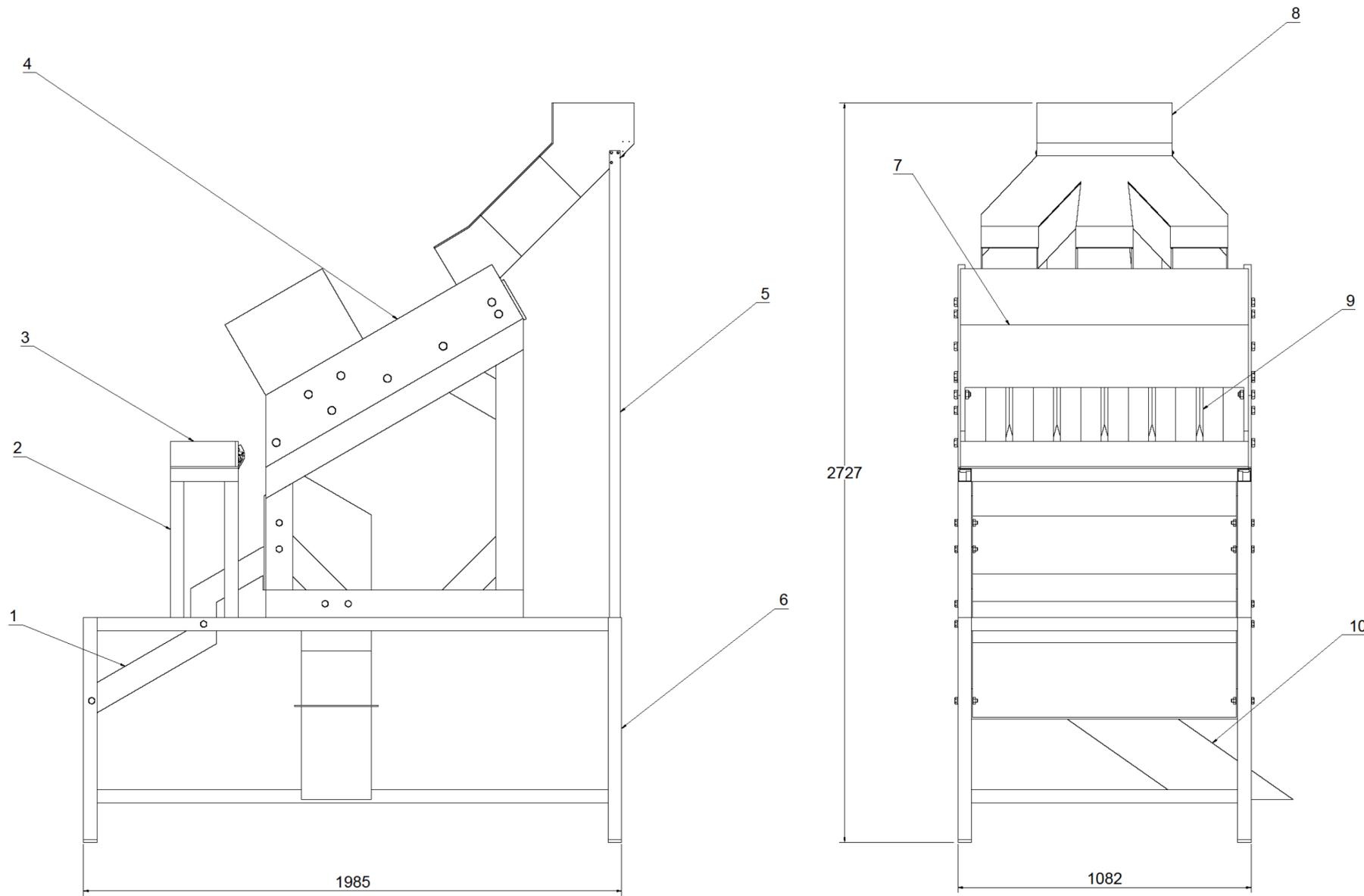
Bobinas de Stand by		
Compatibilidad	Pot (KW)	Voltaje (V)
-	-	220
-	-	220

Motobombas de Stand by	
Especificaciones	Compatibilidad
Bomba sumergible (2 Hp ; 3450 rpm) 220/440 V	-

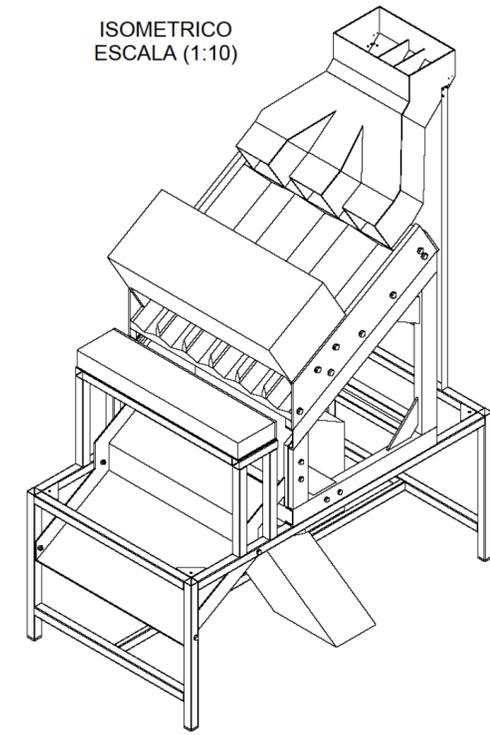
Motores de Stand by	
Especificaciones	Compatibilidad
75 Hp ; 1770 rpm (220/440 V)	Molino
3 Hp ; 1145 rpm (220/440 V)	Grizzly
10 Hp ; 1150 rpm (220/440 V)	Zaranda
2 Hp ; 900 rpm (220/440 V)	Tamizadora

Anexo 4: Plano de ensamble de sistemas y soportes de Máquina Clasificadora.

Nota: Medidas en milímetros.



ISOMETRICO
ESCALA (1:10)



LISTA DE SISTEMAS	
ITEM	NOMBRE DEL SISTEMA
1	CANAL CONDUCTOR DE ROCA ADMITIDA
2	SOPORTE DEL SISTEMA DE EXPULSIÓN
3	SISTEMA DE EXPULSIÓN
4	SOPORTE DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
5	SOPORTE DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN
6	SOPORTE PRINCIPAL
7	CUBIERTA DEL SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL
8	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN
9	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
10	DUCTO DE RECHAZO

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA		
FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA		
CLASIFICADORA AUTOMÁTICA DE ROCA		ESC: 18 ARCHIVO: FOR: 09-01-19 D.T.: N.A. MOD: N.A. PL: N/A-00
DISEÑADO: DANIEL SÁNCHEZ VALENCIA APROBADO: CARLOS ALBERTO MEJÍA BLANCON	DISEÑADO: DANIEL SÁNCHEZ VALENCIA REVISADO: CARLOS ALBERTO MEJÍA BLANCON	