



Universidad de Oviedo

ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

Trabajo Fin de Máster

**SISTEMAS DE DESCARGA EN UN BUQUE
CEMENTERO**

Para acceder al Título de Máster Universitario en

**INGENIERÍA NÁUTICA Y GESTIÓN DEL TRANSPORTE
MARÍTIMO.**

Autor/a: Jesús Hierro Ramos

Tutor/a: Roberto Álvarez Bucetas

Enero-2018

INTRODUCCIÓN	1
1 EL CEMENTO. FABRICACIÓN.....	2
1.1 Tipos de procesos de fabricación	2
1.1.1 Proceso seco:.....	2
1.1.2 Proceso semiseco:.....	3
1.1.3 Proceso semihúmedo:.....	3
1.1.4 Proceso húmedo:	3
1.2 Subprocesos fabricación cemento.	4
1.2.1 Obtención y preparación de las materias primas.	4
1.2.2 Almacenamiento y preparación de las materias primas.	5
1.2.3 Molienda de materias primas.....	5
1.2.3.1 Molienda de materias primas en los sistemas de vía seca y semiseca	6
1.2.3.2 Molienda de materias primas, en los sistemas de vía húmeda o semihúmeda.	6
1.2.4 Fabricación del Clinker.....	6
1.2.5 Molienda de cemento.	8
1.2.6 Almacenamiento del cemento.	9
1.2.7 Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento.....	9
2 EQUIPOS DE MANIPULACIÓN DE CEMENTO	10
2.1 Transportadores mecánicos.	10
2.1.1 Transportadores de tornillo (sinfn).	11
2.1.2 Transportadores de cangilones.	11
2.1.3 Transportadores de cadenas.....	13
2.1.4 Transportadores de cinta.	15
2.2 Transportadores fluidificados.....	16
2.2.1 Canaletas con aerodeslizadores.....	16
2.2.2 Fondos fluidificados.....	18
2.2.3 Compuertas de sector fluidificadas.....	21
2.3 Transportadores Neumáticos.....	22
2.3.1 Elementos transportadores neumáticos.....	23
2.3.2 Clasificación transportadores neumáticos	25
2.3.2.1 Transporte en fase diluida	26
2.3.2.2 Transporte en fase densa.	26
2.3.3 Transporte neumático en los buques cementeros.	27

2.3.3.1 Bombas neumáticas de tornillo.....	27
2.3.3.1.1 Funcionamiento bombas neumáticas de tornillo.....	30
2.3.3.2 Tanques de descarga.....	32
2.3.3.2.1 Tanques de descarga de alimentación mecánica.....	32
2.3.3.2.1.1 Modo discontinuo.....	33
2.3.3.2.1.1.1 Llenado del tanque.....	33
2.3.3.2.1.1.2 Sellado y presurizado.....	33
2.3.3.2.1.1.3 Descarga.....	34
2.3.3.2.1.1.4 Soplado y repetición del proceso.....	34
2.3.3.2.1.2 Modo continuo.....	35
2.3.3.2.1.2.1 Llenado de tanques.....	35
2.3.3.2.1.2.2 Sellado y presurizado de los tanques llenos.....	36
2.3.3.2.1.2.3 Descarga de los tanques.....	36
2.3.3.2.1.2.4 Repetición del proceso.....	37
2.3.3.2.2 Tanques de descarga de alimentación neumática.....	37
2.3.3.2.2.1 Llenado de tanques.....	38
2.3.3.2.2.2 Presurizado del tanque lleno.....	39
2.3.3.2.2.3 Descarga del tanque.....	39
2.3.3.2.2.4 Repetición del proceso.....	40
2.3.3.3 Equipos fundamentales de un sistema neumático.....	40
2.3.3.1 Compresores.....	41
2.3.3.1.1 Compresores de paletas.....	41
2.3.3.1.2 Compresores tornillo o helicoidales.....	42
2.3.3.2 Filtros.....	43
2.3.3.2.1 Utilidad de los filtros en las operaciones de carga.....	45
2.3.3.2.2 Utilidad de los filtros en las operaciones de descarga.....	45
2.3.3.2.3 Filtro FULLER.....	46

3 TRANSPORTE DEL CEMENTO POR MAR. 48

3.1 Buques cementeros. 48

3.2 Tipos de buques cementeros. 48

3.2.1 Tipo I.....	49
3.2.1.1 M/V GLORY ATLANTIC.....	51
3.2.2 Tipo II.....	52
3.2.2.1 Carga.....	53
3.2.2.2 Descarga.....	54
3.2.3 Tipo III.....	55
3.2.4 Tipo IV.....	57
3.2.4.1 MV CEMENTOS CANTABRICO.....	63

3.2.4.2 M/V CEMENMAR TRES.....	64
3.2.5 Tipo V.....	65
3.2.5.1 M/V GOLIATH.....	66
3.2.6 Tipo VI.....	69
CONCLUSIÓN.....	71

Figura 1. Fábrica de Cementos de Aboño.....	1
Figura 2. Esquema del proceso de fabricación del cemento	3
Figura 3. Horno rotatorio.....	7
Figura 4. Esquema simplificado de horno rotatorio.	8
Figura 5. Fases de llenado de un sinfín vertical.	11
Figura 6. Tipos de descarga de transportadores de cangilones	12
Figura 7. Elementos elevador de cangilones.	13
Figura 8. Transportador de cadena de caja sencilla.....	14
Figura 9. Transportador de cadena de caja doble.....	14
Figura 10. Elementos cinta transportadora.	15
Figura 11. Esquema de una canaleta.	17
Figura 12. Canaleta en un buque cementero.	17
Figura 13. Efecto producido en las canaletas.	18
Figura 14. Esquema Fondos fluidificados.	18
Figura 15. Soplante.	19
Figura 16. Flujo de material hacia el centro.	20
Figura 17. Válvula distribuidora o icomar.	21
Figura 18. Compuerta desmontada.....	22
Figura 19. Bomba aspirante.....	23
Figura 20. Red de tuberías.	24
Figura 21. Esquema de un ciclón.....	25
Figura 22. Esquema transporte en fase diluida.	26
Figura 23. Esquema transporte en fase diluida.	27
Figura 24. Esquema bomba en línea.	28
Figura 26. Tolva.....	28
Figura 28. Vista de la extracción del sinfín.....	29
Figura 30a. Esquema bomba FULLER tipo H.	31
Figura 30b. Esquema bomba FULLER tipo H.	31
Figura 31. Tanques de descarga.	32
Figura 32. Tanque lleno.	33
Figura 33. Descarga del tanque.....	34
Figura 34. Llenado de tanques	35
Figura 35. Sellado y presurizado de tanques.	36
Figura 36. Descarga de los tanques.	36
Figura 37. Alternando tanques hasta finalizar la descarga.....	37
Figura 38. Llenado del tanque mediante succión.	38

Figura 39. Tanque lleno y presurizado para su descarga.....	39
Figura 40. Descarga y llenado del otro tanque.....	40
Figura 41. Alternando secuencias.....	40
Figura 42. Esquema compresor de paletas.....	41
Figura 43. Vista de un compresor de paletas.....	42
Figura 44. Esquema de un compresor de tornillo o helicoidal.....	43
Figura 45. Filtro sin forro.....	43
Figura 46. Filtro con forro.....	44
Figura 47. Tubos de inyección de aire montados sobre las rejillas.....	44
Figura 48. Vista general filtro FULLER.....	46
Figura 49. Salida aire filtrado.....	47
Figura 50. Comunicación entre bodegas.....	47
Figura 51. Esquema buques tipo I.....	49
Figura 53. M/V Glory Atlantic.....	51
Figura 54. Esquema M/V Glory Atlantic.....	51
Figura 55. Buque Tipo II.....	52
Figura 56. Esquema de carga Buque Tipo II.....	53
Figura 57. Esquema de Descarga Mecánica Buque Tipo II.....	54
Figura 58. Esquema de Descarga Neumática Buque Tipo II.....	54
Figura 59. Esquema general Buque Tipo III.....	55
Figura 60. Buque Tipo III.....	56
Figura 61. Flujo de descarga Buque Tipo III.....	56
Figura 62. Buque Tipo IV (Esquema del sistema de carga y descarga).....	57
Figura 63. Esquema general M/N Cantábrico.....	57
Figura 64. Planta M/N Cantábrico.....	57
Figura 66. Bomba de refrigeración mediante agua salada.....	58
Figura 67. Bomba de engrase de los sinfines.....	59
Figura 68. Panel de descarga superior.....	59
Figura 69. Panel de descarga inferior.....	60
Figura 70. Panel de alarmas.....	60
Figura 71. Medios de carga y descarga M/N Cementos Cantábrico.....	61
Figura 72. Esquema de las bodegas.....	62
Figura 73. Vista del Cementos Cantábrico.....	63
Figura 74. Vista M/N Cemenmar Tres.....	64
Figura 75. Buques Tipo V.....	65
Figura 76. M/V Goliath.....	66
Figura 77. Bomba y compuertas M/V Goliath.....	68

Figura 78. Carga neumática M/V Goliath.....	68
Figura 79. Esquema buque Tipo VI.....	69
Figura 80.M/V Asia Cement 5.....	70

Introducción

En este trabajo de fin de máster se analizará la principal manera de transportar y gestionar cemento por vía marítima, mediante buques cementeros, y describir los diferentes sistemas para el manejo del cemento, así como de sus principales componentes. El objetivo es que sea cual sea el buque cementero que estemos observando, podamos comprender perfectamente su funcionamiento general, que nada de lo que encontremos en él pueda sorprendernos.

Comenzaré por realizar una explicación de a que denominamos cemento con el fin de consolidar nuestros conocimientos básicos sobre el cemento y de entender las principales peculiaridades de este material que nos será muy útil conocer a la hora de estudiar cómo se almacena y como se procede a su descarga.

Posteriormente, describiré los diferentes sistemas para el manejo del cemento, estos equipos los encontraremos en todas las instalaciones relacionadas con la manipulación de este producto, fábricas, silos de almacenamiento y por supuesto en los barcos especializados para su transporte y en las instalaciones portuarias destinadas al almacenamiento y descarga de buques no especializados que transportan cemento. Durante la descripción de los distintos equipos buscaremos dar ejemplos de su empleo en los barcos e instalaciones portuarias que es lo que realmente nos importa.



Figura 1. Fábrica de Cementos de Aboño

Por último, realizaré una descripción de los diferentes tipos de buques cementeros que existen en la actualidad y expondré sus principales características.

1 El Cemento. Fabricación.

El cemento, aglomerante hidráulico es un material inorgánico, no metálico, compuesto de cal, alúmina, fierro y sílice, finamente molido. Mezclado con agua forma una pasta que fragua y endurece, manteniendo su resistencia y estabilidad incluso dentro del agua. Las sustancias componentes del cemento reaccionan con el agua de la mezcla, formando silicatos de calcio hidratados.

La química básica del proceso de la fabricación del cemento empieza con la descomposición del carbonato cálcico (CaCO_3) a unos 900°C dando óxido cálcico (CaO , cal) y liberando dióxido de carbono gaseoso (CO_2); este proceso se conoce como calcinación o descarbonatación. Sigue luego el proceso de clinkerización en el que el óxido de calcio reacciona a alta temperatura (normalmente $1.400\text{-}1500^\circ\text{C}$) con sílice, alúmina y óxido de hierro para formar los silicatos, aluminatos y ferritos de calcio que componen el Clinker. El Clinker se muele junto con yeso y otras adiciones para producir el cemento.

La fabricación del cemento es una actividad industrial de procesado de minerales que se divide en tres etapas básicas:

1. Obtención de materias primas.
2. Molienda y cocción de materias primas.
3. Molienda de cemento.

1.1 Tipos de procesos de fabricación

Hay cuatro procesos para la fabricación del cemento; proceso seco, semisecho, semihúmedo y húmedo:

1.1.1 Proceso seco: En el proceso seco, las materias primas son trituradas y secadas para formar el crudo o harina, que tiene la forma de un polvo fluido. El crudo o harina se alimenta a un horno con precalentador o con precalcinator, o más raramente, a un horno largo de vía seca.

1.1.2 Proceso semiseco: En el proceso semiseco, la harina cruda seca se granula con agua y alimenta un precalentador de parrilla delante del horno o a un horno largo equipado con cadenas. En este proceso se añade agua.

1.1.3 Proceso semihúmedo: En el proceso semihúmedo, la pasta de crudo y agua es escurrida en filtros prensa.

Las tortas del filtro son extruidas en forma de gránulos que alimentan bien a un precalentador de parrilla, o bien directamente a un secador de tortas de filtrado para la producción de crudo. En este proceso se elimina parte del agua.

1.1.4 Proceso húmedo: En el proceso húmedo, las materias primas (a menudo con alto contenido de humedad) se muelen con agua para formar una pasta bombeable. La pasta es alimentada directamente al horno, o previamente se pasa por un secador de pasta.

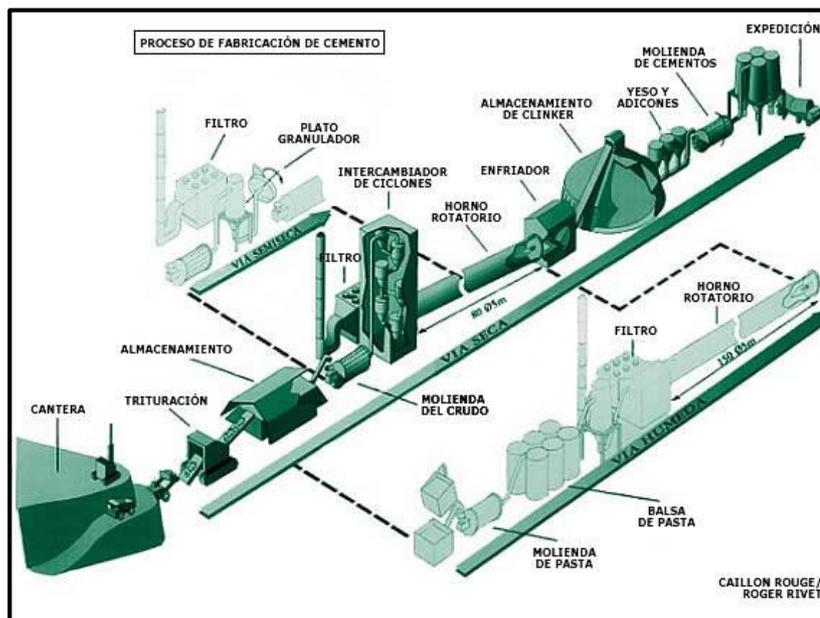


Figura 2. Esquema del proceso de fabricación del cemento

En la actualidad, en torno al 78 % de la producción de cemento de Europa se realiza en hornos de vía semi-seca o semi-húmeda; y un 6 % de la producción europea se realiza mediante vía húmeda.

1.2 Subprocesos fabricación cemento.

Todos los procesos tienen en común los siguientes subprocesos.

1. [Obtención de materias primas.](#)
2. [Almacenamiento y preparación de materias primas.](#)
3. Almacenamiento y preparación de combustibles.
4. [Cocción de las materias primas para la obtención del Clinker.](#)
5. [Molienda del Clinker para obtener cemento.](#)
6. [Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento.](#)

1.2.1 Obtención y preparación de las materias primas.

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada de óxidos metálicos para la producción de Clinker.

El Clinker se compone de los siguientes óxidos (datos en %).

Componentes	Porcentaje %
Óxido de Calcio "cal" (CaO)	60-69
Óxido de Silicio "sílice"	18-24
Óxido de Aluminio "alúmina" (Al ₂ O ₃)	4-8
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	1-8

Estos materiales se extraen mediante perforación y voladura de una cantera que generalmente se encuentra en las proximidades de la fábrica. Una vez realizado el arranque del material sufre una primera trituración y es transportado a las instalaciones de la fábrica. Otras materias primas tales como minerales de hierro, escorias de alto horno o arenas de fundición, se suministran a través de fuentes externas.

1.2.2 Almacenamiento y preparación de las materias primas.

La necesidad de emplear almacenes cubiertos depende de las condiciones climáticas y del porcentaje de finos en las materias primas al salir de la planta de trituración. La alimentación de materias primas a un horno necesita ser lo más homogénea posible desde el punto de vista de su composición química. Esto se logra controlando la alimentación en la planta de molienda de crudo. Cuando el material de la cantera varía en su calidad se puede lograr una pre-homogenización inicial por apilamiento del material en capas longitudinales (o circulares) según el tipo de parque, y extrayéndolo, tomando secciones transversales de toda la pila. Cuando el material de la cantera es homogéneo, pueden emplearse sistemas de apilamiento y extracción más simples. Las materias primas usadas en pequeñas cantidades, por ejemplo, las adiciones minerales, se pueden almacenar en silos o tolvas. Las materias primas especiales, tales como cenizas volantes y fosfoyesos, deben ser almacenadas y preparadas de acuerdo con requerimientos específicos.

1.2.3 Molienda de materias primas.

Para lograr un crudo de composición química homogénea, es de gran importancia, que las materias primas que alimentan el molino se pesen y dosifiquen con la mayor exactitud posible. Esto es esencial para conseguir un buen funcionamiento del horno y para obtener un Clinker de alta calidad.

La medición y dosificación es también un factor importante de cara a la eficiencia energética del sistema de molienda. El equipo más común de pesaje y dosificación usado en la alimentación de materias primas a los molinos consta de tolvas intermedias por producto, llenadas desde el parque de materias primas o por alimentación exterior.

1.2.3.1 Molienda de materias primas en los sistemas de vía seca y semiseca

Las materias primas, en proporciones controladas, se muelen y se mezclan juntas para formar una mezcla homogénea con la composición química requerida. Para los sistemas de horno seco y semiseco, los componentes de las materias primas se muelen y se secan hasta lograr un polvo fino, haciendo uso principalmente de los gases calientes de salida del horno y/o del aire de salida del enfriador del Clinker. Para las materias primas con alto contenido de humedad, y en los procesos de arranque, puede necesitarse un hogar auxiliar para proporcionar calor adicional.

Los sistemas más usuales de molienda en seco son:

- Molino de bolas con descarga central.
- Molino de bolas, barrido por aire.
- Molino vertical de rodillos.
- Molino horizontal de rodillos.

1.2.3.2 Molienda de materias primas, en los sistemas de vía húmeda o semihúmeda.

Los hornos de vía húmeda o semihúmeda emplean la molienda húmeda. Los componentes de las materias primas se muelen junto con agua añadida para formar una pasta. Para lograr la finura requerida de la pasta, que cumpla con las demandas de calidad, suelen utilizarse los sistemas de molienda en circuito cerrado. La pasta que sale del proceso de molienda requiere posteriormente una mezcla y homogeneización para lograr la óptima composición del crudo, antes de ser enviada al horno. La pasta se almacena en balsas, tanques o bien en silos.

1.2.4 Fabricación del Clinker.

Esta parte del proceso es la más importante en términos de emisiones potenciales, de calidad del producto y del coste. Para la fabricación de Clinker, el crudo (o harina), o la pasta en la vía húmeda se lleva al sistema de horno donde se seca, se precalienta, se calcina y se sinteriza para producir Clinker de cemento.

El Clinker se enfría con aire y luego se almacena. En el proceso de formación de Clinker (también llamado clinkerización o sinterización) es esencial mantener las temperaturas del

material en el horno entre 1.400°C – 1.500°C, que se corresponden con unas temperaturas de llama de cerca de 2.000°C. La fabricación de Clinker blanco presenta excepciones a las dos características anteriormente mencionadas. Por una parte, las materias primas no contienen materias fundentes, ya que éstos podrían aportar coloración al producto final. Esto hace que las temperaturas de clinkerización estén entorno a los 1.600°C, lo cual exige temperaturas de llama mayores de 2.000°C.

Desde que se introdujo el horno rotatorio, allá por el año 1895, ha llegado a ser la parte central de todas las instalaciones modernas de producción de Clinker. El horno vertical se emplea todavía para la producción de cal, pero sólo en muy pocos países está en uso para la producción de Clinker de cemento, y en estos casos en plantas de pequeña escala. El horno rotativo consta de un tubo de acero con una relación de longitud a diámetro de ente 10:1 y 38:1. El tubo es soportado por dos a siete (o más) estaciones de apoyo, tiene una inclinación de 2,5 a 4,5% y una velocidad de rotación de 0,5 a 4,5 revoluciones por minuto. La combinación de la inclinación del tubo y la rotación causa que el material discurra lentamente a lo largo de él. Para proteger la chapa de las altas temperaturas, el horno rotativo se forra completamente con ladrillos refractarios resistentes al calor.



Figura 3. Horno rotatorio

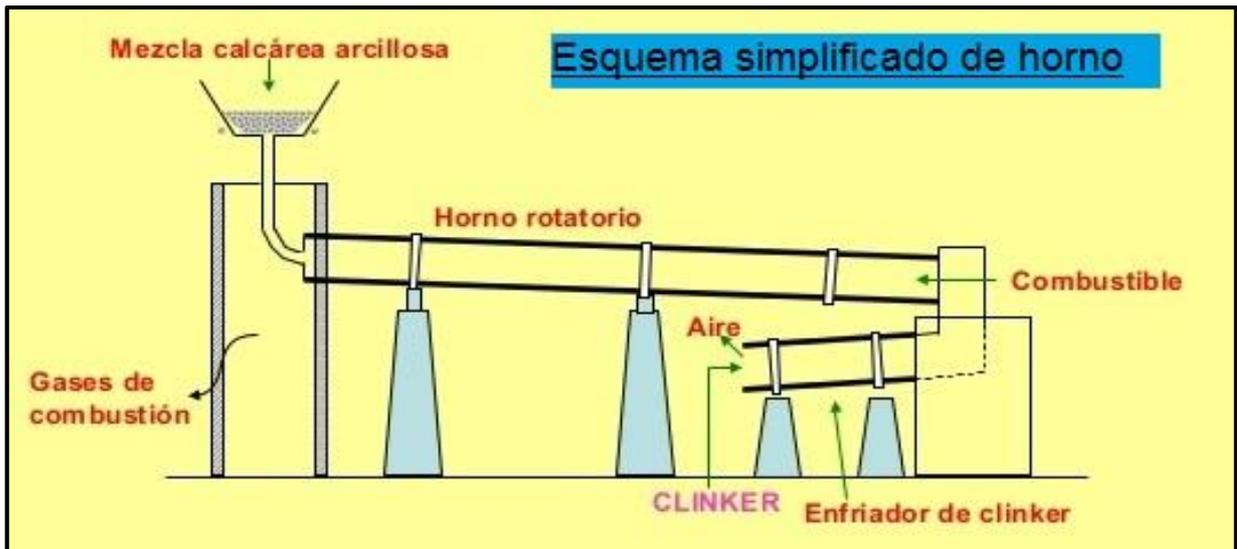


Figura 4. Esquema simplificado de horno rotatorio.

1.2.5 Molienda de cemento.

El cemento portland se produce moliendo juntos Clinker y sulfatos tales como yeso y anhidrita. En los cementos de adición (cementos compuestos) hay otros constituyentes, tales como escoria granulada de alto horno, puzolanas artificiales o naturales, o filler calizo.

Las adiciones se pueden moler junto con el Clinker o pueden necesitar secarse y molerse por separado, (las plantas de molienda pueden estar en ubicaciones separadas de las plantas de producción de Clinker). El tipo de molienda del cemento y el diseño de la instalación, dependen del tipo de cemento que se vaya a producir. Tienen gran importancia la triturabilidad, la humedad y la abrasión de los componentes del cemento producido.

Los sistemas de molienda más empleados son:

- Molino de bolas en circuito cerrado (el porcentaje de adiciones es bastante limitado, si no son secas o procesadas).
- Molino vertical de rodillos (mejor adaptado para porcentajes de adición altos, debido a su capacidad de secado, mejor adaptado para la molienda separada y las adiciones).
- Prensa de rodillos (el porcentaje de adiciones es bastante limitado, si no son secas o procesadas).

El principio de trabajo de los molinos verticales de rodillos se basa en la acción de 2 a 4 rodillos moledores, soportados en brazos articulados y montados sobre una mesa horizontal de molienda o pista de rodadura.

Está especialmente indicado para el molido y secado simultáneo de materias primas para cemento o escoria, debido a que los molinos verticales de rodillos pueden manejar contenidos relativamente altos de humedad en la alimentación del molino. El tiempo de permanencia del material en el molino es bastante corto para prevenir la hidratación temprana del Clinker, por ejemplo, en el caso de molienda de cemento con escorias.

La prensa de rodillos de alta presión requiere comparativamente, un alto grado de mantenimiento. Las prensas horizontales de rodillos se emplean muy a menudo en serie con los molinos de bolas.

1.2.6 Almacenamiento del cemento.

Para transportar el cemento a los silos de almacenamiento, se pueden emplear sistemas mecánicos y neumáticos. Los sistemas mecánicos normalmente tienen un costo de inversión más alto, pero mucho menor costo de operación que el transporte neumático. El sistema utilizado más habitualmente es una combinación de transportadores fluidificados o de rosca, y elevadores de cangilones. Generalmente se requieren varios silos para el almacenamiento de los distintos cementos. Sin embargo, los nuevos diseños de silos permiten el almacenamiento de más de un tipo de cemento en el mismo silo.

Las configuraciones más corrientes de los silos de cemento son:

- Silo de celda única con tolva de descarga.
- Silo de celda única con cono central.
- Silo multicelular.
- Silo domo con cono central.

1.2.7 Almacenamiento, ensacado y expedición de cemento.

La expedición del cemento se realiza directamente a granel mediante cisternas por carretera, ferrocarril o barco, o bien ensacado. Las operaciones de ensacado y paletizado se realizan a cabo por una línea ensacadora.

2 Equipos de manipulación de cemento

A continuación, se procederá a describir los diferentes sistemas para el manejo del cemento, estos equipos los encontraremos en todas las instalaciones relacionadas con la manipulación de este producto, fabricas, silos de almacenamiento y por supuesto en los barcos especializados para su transporte y en las instalaciones portuarias destinadas al almacenamiento y descarga de buques no especializados que transportan cemento.

Podremos dividir estos elementos destinados al transporte y manipulación en cuatro grandes grupos:

- [Transportadores mecánicos.](#)
- [Elementos de transporte basados en la fluidificación.](#)
- [Transportadores neumáticos.](#)
- Filtros.

2.1 Transportadores mecánicos.

Los principales transportadores mecánicos que podemos encontrar en las instalaciones dedicadas al transporte de cemento, cenizas volantes y otra amplia gama de materiales que no son objeto de nuestro estudio, son:

- [Transportadores de tornillo.](#)
- [Transportadores de cangilones.](#)
- [Transportadores de cadenas.](#)
- [Transportadores de cinta.](#)

2.1.1 Transportadores de tornillo (sinfín).

Los transportadores de tornillo sinfín, están constituidos en esencia por un elemento helicoidal que rueda dentro de una carcasa metálica. Las principales ventajas de estos sistemas son flujo uniforme y facilidad de control. El material colocado en el cuerpo del transportador a través de las aberturas de entrada se mueve a lo largo en un suave movimiento en espiral por la rotación del tornillo. Las entradas, salidas, compuertas, transmisiones y otros accesorios controlan el ritmo de transporte del material y el lugar de descarga. Se pueden montar tanto horizontalmente como verticalmente, o con distintos grados de inclinación en los buques cementeros los encontraremos generalmente horizontales y verticales.

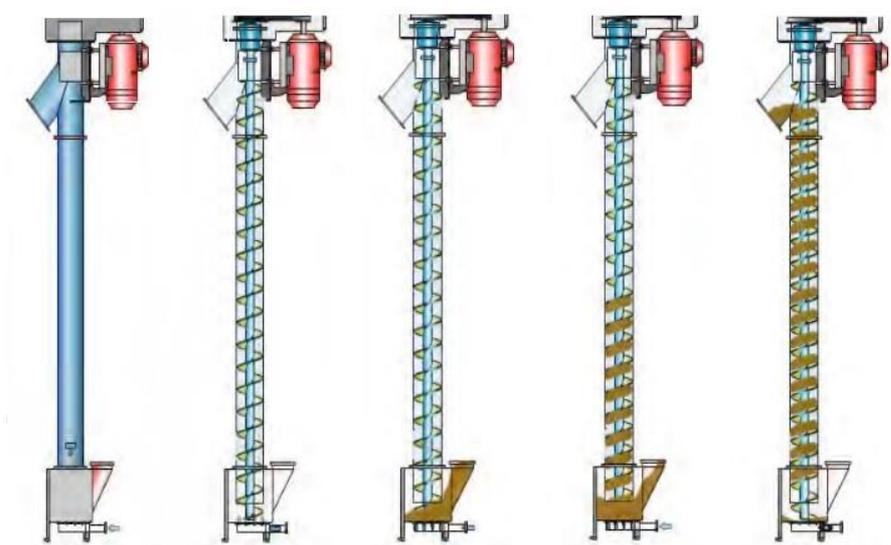


Figura 5. Fases de llenado de un sinfín vertical.

Generalmente el sinfín vertical es un elemento que solo se usa para realizar descargas, sin embargo, los sinfines horizontales suelen en algunos casos ser empleados tanto para la carga como para la descarga.

2.1.2 Transportadores de cangilones.

El elevador de cangilones es una máquina que transporta materiales industriales a granel, en sentido vertical o según planos inclinados, los elevadores de cangilones requieren la menor cantidad de potencia para el transporte vertical que cualquier otro sistema de transporte.

El diseño y rendimiento de los elevadores varía considerablemente con las características del material que va a ser transportado. Este diseño incluye aspectos tales como la geometría del cangilón, la separación entre cangilones y la velocidad de operación.

El vaciado de los cangilones de un elevador se puede realizar de dos maneras, por gravedad(b) o por fuerza centrífuga(a). El vaciado por gravedad puede ser, a su vez, por descarga libre o dirigida. En la descarga libre por gravedad, es necesaria la desviación de la cadena de los cangilones descendentes mediante la estrangulación o inclinación del elevador de cangilones. En la descarga dirigida el material cae sobre el lado posterior de la pared exterior del cangilón previo y así se guía el material hacia la boca de la descarga. La descarga centrífuga se realiza mediante el vaciado del material por acción de la fuerza centrífuga, que se activa al pasar por la polea de reenvío.

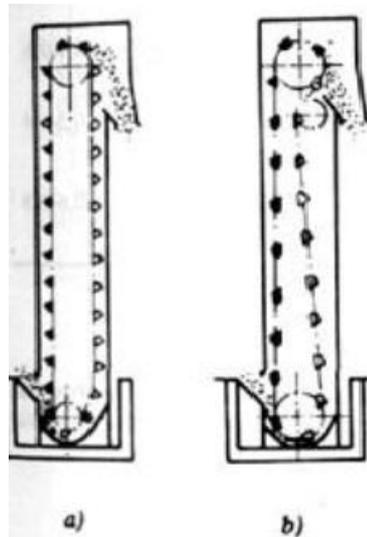


Figura 6. Tipos de descarga de transportadores de cangilones

Los elementos fundamentales de un transportador de este tipo son:

- Cangilones.
- Cadenas o bandas.
- Cabezal motriz y estación tensora,
- Carcasa o caja.
- Elementos de seguridad.
- Alimentadores.

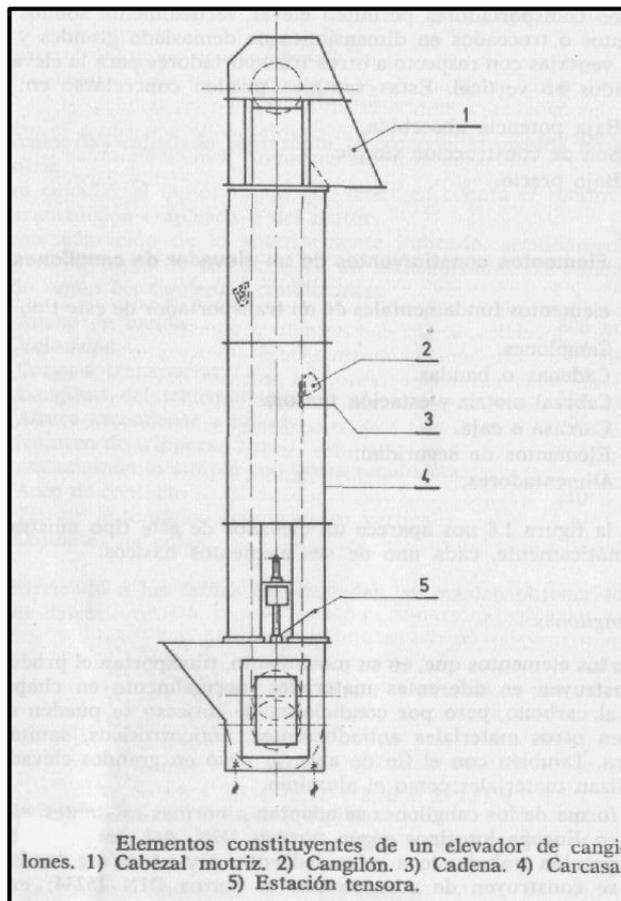


Figura 7. Elementos elevador de cangilones.

2.1.3 Transportadores de cadenas.

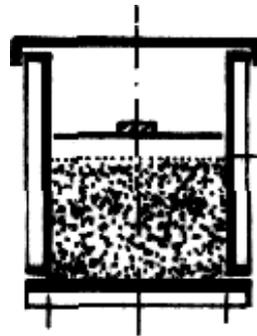
Este tipo de transportador desplaza el producto en masa deslizando en flujo continuo dentro de una caja o conducto. Una cadena interior provista de travesaños de arrastre impulsa al material. El material entra en la caja donde se encuentra la cadena, cuyo tramo inferior se desliza por el fondo de la misma. Este tramo inferior constituye el elemento de transporte propiamente dicho. El tramo de regreso de la cadena se conduce por un riel guía por encima del producto. Del lado de la salida se encuentra la rueda motriz y del lado de entrada hay un rodillo de inversión.

En la entrada, el producto cae, a través del tramo superior de la cadena, sobre el fondo de la caja. La cadena inferior arrastra el producto que llega hasta la altura de arrastre formándose una especie de cinta transportadora continua.

En la salida, el material cae a través de la cadena, vaciándose el transportador.

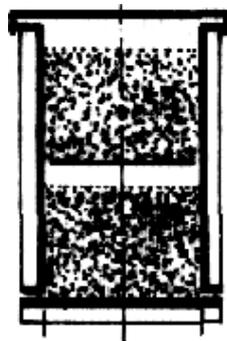
En cuanto a su constitución, estos transportadores pueden ser de caja sencilla y caja doble.

(a).



a)

Figura 8. Transportador de cadena de caja sencilla.



b)

Figura 9. Transportador de cadena de caja doble.

En base a su trayectoria, los transportadores pueden ser horizontales, inclinados, verticales o combinación de estos tipos.

2.1.4 Transportadores de cinta.

Una cinta transportadora es una estructura de goma o tejido en forma de correa cerrada en anillo, con una unión vulcanizada o con empalme metálico, utilizada para el transporte de materiales.

Las cintas transportadoras son los aparatos más utilizados para el transporte de objetos sólidos y material a granel a gran velocidad y cubriendo grandes distancias.



Figura 10. Elementos cinta transportadora.

2.2 Transportadores fluidificados.

La fluidificación es el estado que se produce en un sólido disgregado cuando, atravesado por una corriente de aire en flujo cruzado, éste se expande, burbujea y las partículas quedan en suspensión, sin llegar al transporte neumático. La fuerza de empuje del aire equilibra el peso de las partículas atravesadas por la corriente; el sólido pasa a comportarse como si fuera un líquido.

Entre los equipamientos industriales que aprovechan este efecto para realizar el manejo del cemento y la ceniza volante, destacan:

- [Canaletas con aerodeslizadores.](#)
- [Fondos fluidificados de bodega.](#)
- [Compuertas de sector fluidificadas.](#)

2.2.1 Canaletas con aerodeslizadores.

Estos equipos están formados por una canaleta dividida en dos cámaras, una superior donde discurre el material y otra inferior donde circula el aire. Las cámaras están separadas entre sí por una lona de varios milímetros de espesor, de material poliéster 100% resistente a la abrasión y a temperaturas de hasta 120°C. El flujo de aire ascendente que atraviesa el material poroso mantiene parcialmente suspendidas las partículas de material en la cámara superior. A partir de ese momento la mezcla se comporta de forma similar a un líquido, haciendo fácil su manipulación. Los flujos máximos recomendados rondan la 1000 tph.

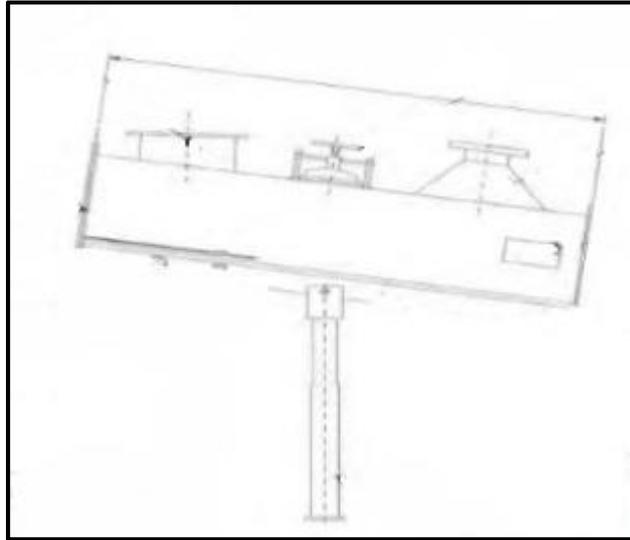


Figura 11. Esquema de una canaleta.

Las canaletas se usarán tanto para operaciones de carga como de descarga dependiendo del buque en cuestión en el que estén instaladas.

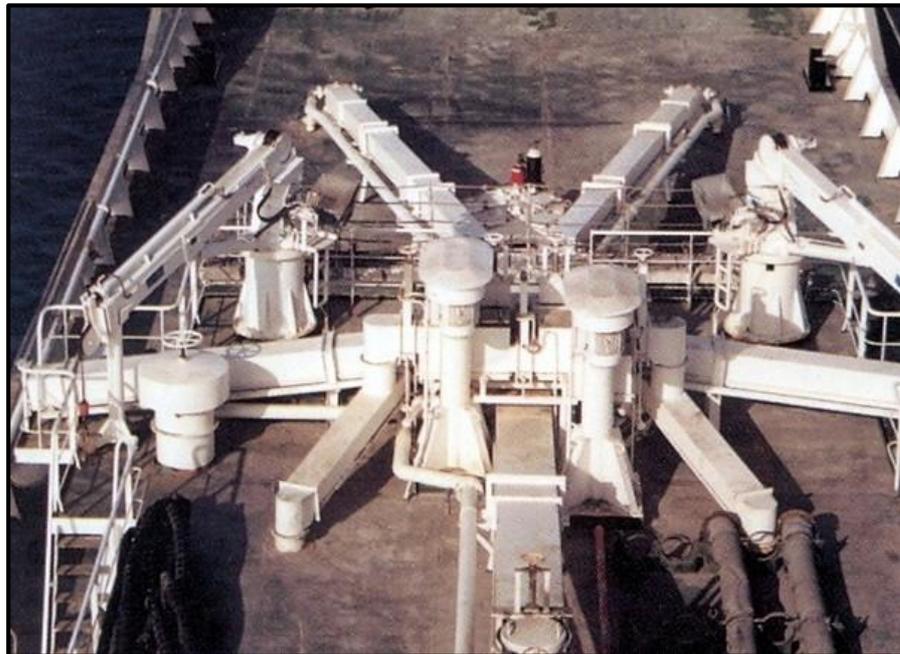


Figura 12. Canaleta en un buque cementero.

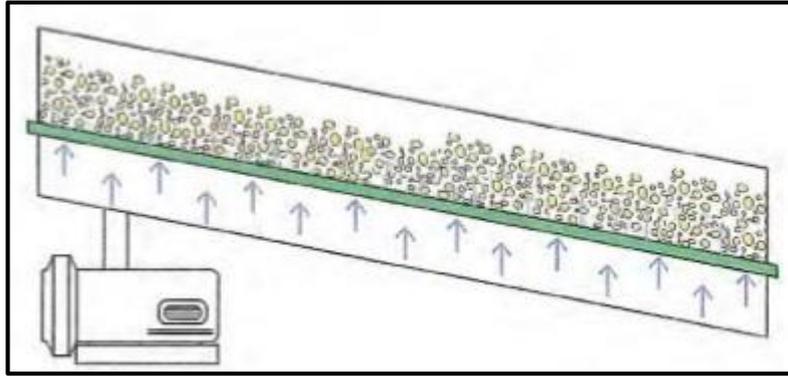


Figura 13. Efecto producido en las canaletas.

2.2.2 Fondos fluidificados.

En las instalaciones destinadas al almacenamiento y posterior descarga como silos y barcos cementeros nos encontraremos los fondos (bodegas) compartimentados en secciones que podemos llamar cámaras de aireación ya que estarán formadas por distintas unidades de lonas de poliéster, cerrando por la parte superior contenedores a los cuales se les inyecta aire este aire atravesara los poros de las lonas y fluidificara el cemento conduciéndolo a los lugares que nos interesen, para lo cual nosotros daremos la inclinación adecuada a nuestras distintas secciones. Este aire a presión será suministrado por soplantes.

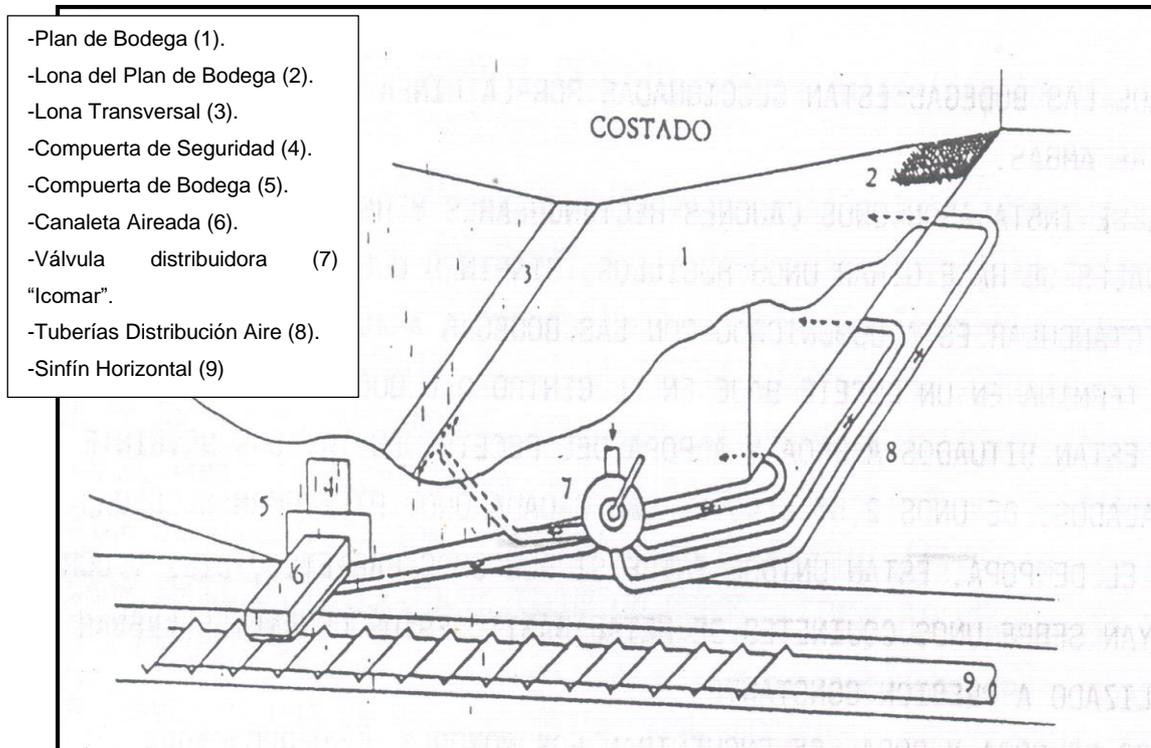


Figura 14. Esquema Fondos fluidificados.

Las soplantes son un tipo de compresor rotativo que tienen un amplio campo de aplicación para bajas presiones, pero más elevadas que los ventiladores. Estos compresores están formados por un estator elíptico, y dos rotores idénticos que giran en sentido contrario, sincronizados por un juego de engranajes que se encuentran en el exterior, lubricados por aceite. La diferencia esencial con otros compresores es que los rotores no rozan entre sí, ni con el estator, por consiguiente, no realizan una elevada compresión por reducción de volumen del fluido, simplemente transportan un determinado volumen de fluido comprimiéndolo levemente desde la aspiración a la descarga, éste se junta con el aire ya comprimido que vuelve por la tubería de descarga, y aumenta su presión en mayor grado.

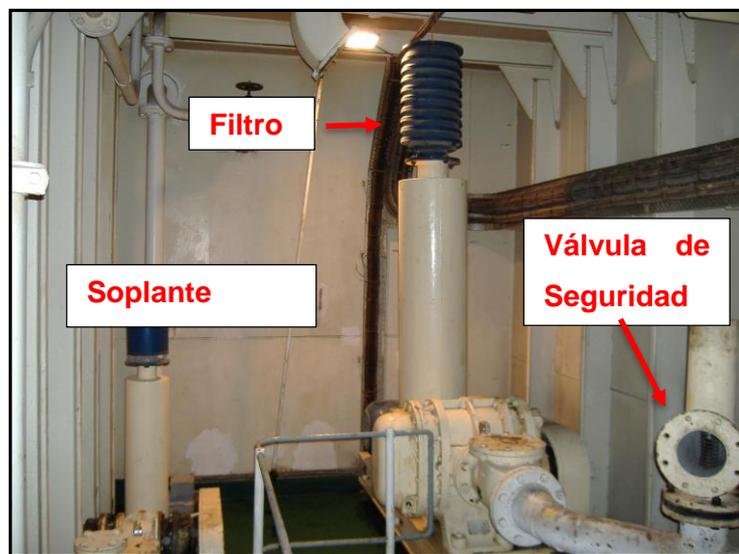


Figura 15. Soplante.

Durante las descargas se comienza con una soplante y cuando gradualmente se va vaciando la bodega añadimos más debido a que va resultando más fácil romper la resistencia al haber menos cemento, si comenzamos con un elevado número de soplantes estas no podrán trabajar y caerán por temperatura al estar suministrando demasiado aire y elevándose la presión excesivamente.

Continuamos con el diseño de los planes fluidificados dentro de los buques, que según hacia donde deseamos mover el cemento pueden variar. En la ilustración se muestra la línea de tuberías de aire que alimenta el fondo fluidificado los distintos paneles y las inclinaciones, en este caso se busca que el cemento fluya hacia el centro de la bodega donde estará situado el mecanismo de extracción del cemento, que según el diseño del buque pueden ser mediante sinfines o succión.

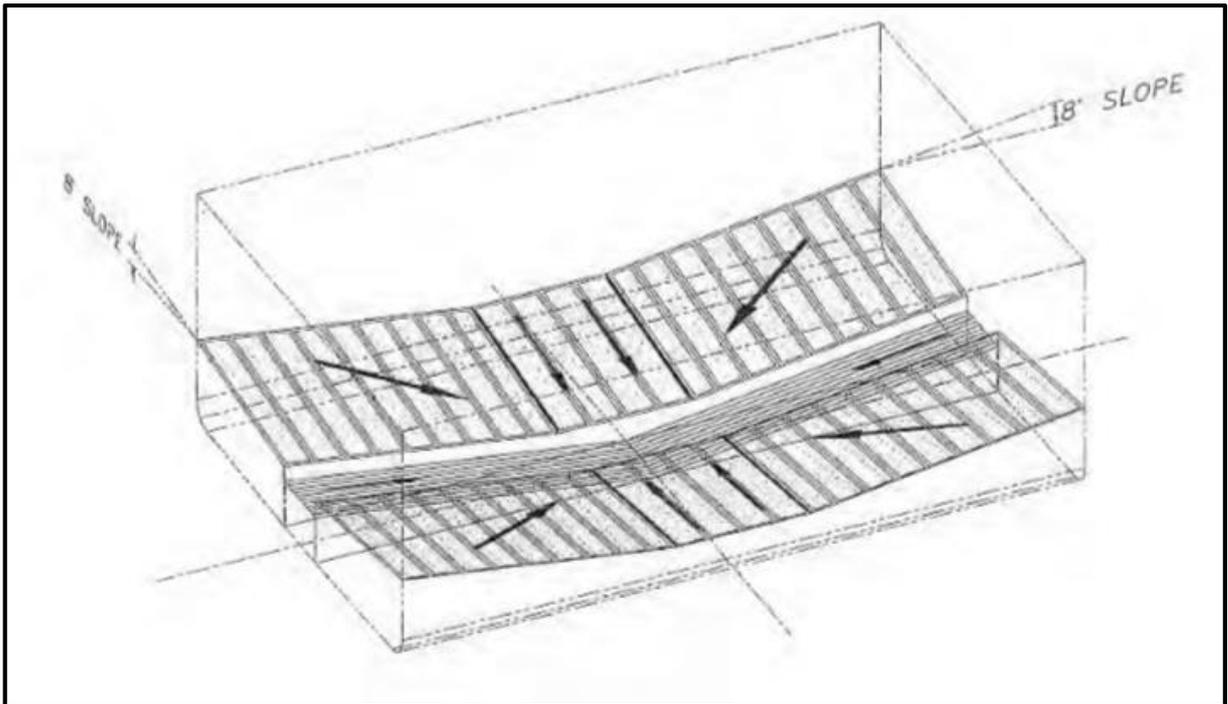


Figura 16. Flujo de material hacia el centro.

Estos fondos fluidificados no van a conseguir una total extracción del cemento de la bodega nos va a quedar con una muy pequeña cantidad de cemento, totalmente aceptable, en el barco. Las zonas donde es más fácil que se acumule este remanente son las esquinas y pegado a los mamparos dependiendo mucho esta cuestión, del tipo de cemento que se transporta para dejar el barco en las mismas condiciones aumentaremos el tiempo de barrido, será la experiencia la que nos de este dato, para lograr una descarga satisfactoria.

Los fondos de bodegas no se fluidifican en su totalidad al mismo tiempo, sino que se va realizando la fluidificación por secciones de bodega. El fondo de la bodega va recibiendo aire de la soplante por zonas a intervalos de tiempo regulares, este método se emplea por dos factores fundamentales la fluidificación completa de la bodega que no es funcional debido al exceso de material que no vamos a poder extraer por sobre alimentación de los equipos de descarga y segundo, el equipo necesario para una fluidificación efectiva de grandes zonas sería un gasto innecesario en soplantes de gran capacidad o aumento del número y mayor consumo, sin un resultado realmente efectivo para el aumento de los regímenes de descarga.

Por tanto, para repartir el aire producido a las distintas zonas se necesitan las válvulas de distribución o icomares. El fundamento del distribuidor es repartir un caudal de aire previsto de antemano, en distintas zonas o sectores mediante un rotor que recibe dicho caudal de aire y lo dirige a las distintas salidas. Esto se produce mediante un programador que se regula con un tiempo de pausa que varía según las necesidades de cada instalación en particular.



Figura 17. Válvula distribuidora o icomar.

2.2.3 Compuertas de sector fluidificadas.

Las compuertas de sector se usan para controlar el flujo de material fluidificado en la extracción de las bodegas o silos en algunos casos. Asimismo, disponen de fondo aireado para evitar zonas muertas durante el transporte de material. La estanqueidad de estas válvulas es de 100%.

Las encontraremos instaladas generalmente con accionamiento motorizado para una sencilla regulación del flujo, para esto disponen de un dispositivo de señalización con potenciómetro incorporado que además de señalar la apertura o cierre de la válvula nos señalara el grado de apertura porcentual de la misma. Independientemente del motor se puede accionar de forma manual la apertura o cierre mediante embrague, además dispondrán de una válvula de seguridad.



Figura 18. Compuerta desmontada.

Las instalaciones de las lonas en estas compuertas tienen como finalidad que no se interrumpa el transporte a la hora de extraer el cemento de las bodegas , pero con el añadido de las lonas mejoraremos el movimiento del cemento y también la apertura y cierre de las válvulas ya que no se quedará cemento atascado debido a la fluidificación.

2.3 Transportadores Neumáticos.

Transportar neumáticamente un producto a granel, consiste en introducir en un tubo, granos o polvo que con una corriente de gas (aire en la mayoría de los casos) se hace desplazar a lo largo de él. Se puede transportar todo tipo de sólidos a granel, con granulometrías de hasta 10-12 mm.

Las ventajas del transporte neumático, frente a otros tipos de transporte de materiales pulverulentos, son los siguientes:

- Facilidad para el trazado de las líneas de transporte, pudiendo salvar obstáculos de forma sencilla, colocando curvas y utilizando trazos en vertical o horizontal según convenga.
- Posibilidad de transportar una amplia gama de productos desde distintos puntos y de distribución a varios destinos utilizando una misma línea común.
- Bajo mantenimiento.
- Montaje sencillo y económico, es posible cubrir largas distancias con bajo coste por metro lineal de transporte.
- Limpieza y seguridad de fuga en el transporte.

2.3.1 Elementos transportadores neumáticos

Los elementos que constituyen un sistema de transporte neumático son cuatro:

- Elemento generador de presión: Es el elemento encargado de producir el aire a presión para empujar los materiales o, en su caso, para crear la succión necesaria en el transporte. Puede ser un ventilador, un compresor o una bomba aspirante.

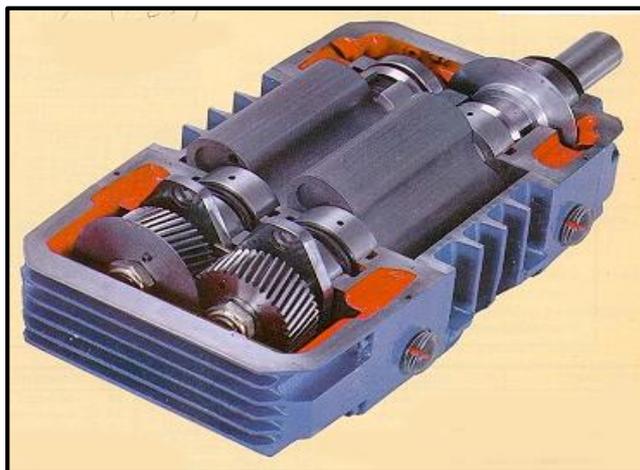


Figura 19. Bomba aspirante

- Aportador de sólido: Estos elementos son los encargados de “inyectar” el sólido a la línea de transporte. Entre los elementos posibles se encuentran las roto válvulas, los depósitos presurizables, los venturis y los tornillos sinfín. (buscar imagen)
- Línea de transporte: son las encargadas de conducir los materiales transportados flotando en aire.
Dependiendo del tipo de transporte que estemos realizando suelen ser de acero sin soldadura, y su diámetro puede llegar a ser de más de 300 mm. Para los de baja y media presión, pueden emplearse espesores del tubo menores que para los de alta presión, debido a la abrasión.



Figura 20. Red de tuberías.

- Elemento separador: es el encargado de eliminar las partículas sólidas que el gas arrastra en suspensión. Los elementos que se utilizan para ello pueden ser ciclones y filtros en todas sus modalidades. En buena parte de las instalaciones es aconsejable, utilizar una combinación de ambos con el fin de aprovechar la separación y a veces como clasificación granulométrica, evitando con ello un sobre dimensionamiento del filtro.

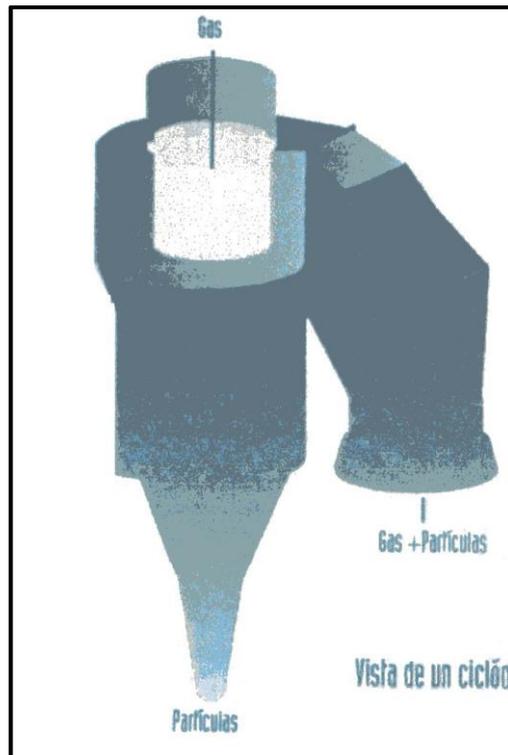


Figura 21. Esquema de un ciclón.

2.3.2 Clasificación transportadores neumáticos

Los sistemas de transporte neumático se basan fundamentalmente en la velocidad del aire empleado y en la manera de trasladarse el material a lo largo de la línea de transporte, atendiendo a esta clasificación tendremos dos tipos de transporte neumático:

- [Transporte en fase diluida.](#)
- [Transporte en fase densa.](#)

2.3.2.1 Transporte en fase diluida.

Utilizan presiones diferenciales menores de 1 atm. Se requieren grandes volúmenes de aire a alta velocidad, el gas arrastra al sólido manteniéndolo en suspensión, en este tipo de transporte los desgastes pueden ser importantes (dependiendo de la abrasividad del producto) y el gasto energético es elevado, dada la necesidad de vehicular gran cantidad de gas para arrastrar al sólido.

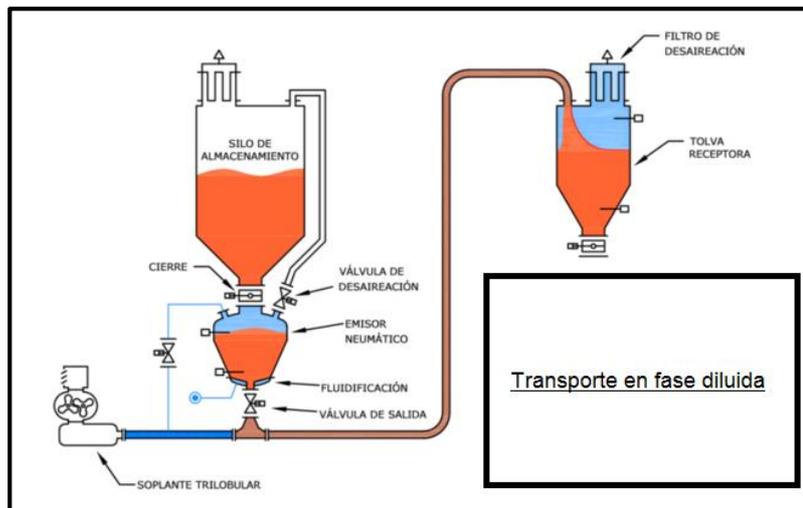


Figura 22. Esquema transporte en fase diluida.

2.3.2.2 Transporte en fase densa.

Utilizan presiones diferenciales mayores de 1 atm. El volumen de aire es bastante menor que en el transporte en fase diluida, el sólido se transporta por empuje haciendo paquetes, se requiere por tanto una mayor presión y un volumen significativamente inferior de gas. El consumo energético, es más bajo, por el mayor aprovechamiento de la energía transmitida al gas. La velocidad de transporte es más baja y por tanto los desgastes menores, es el modo más aconsejado cuando el sólido es abrasivo.

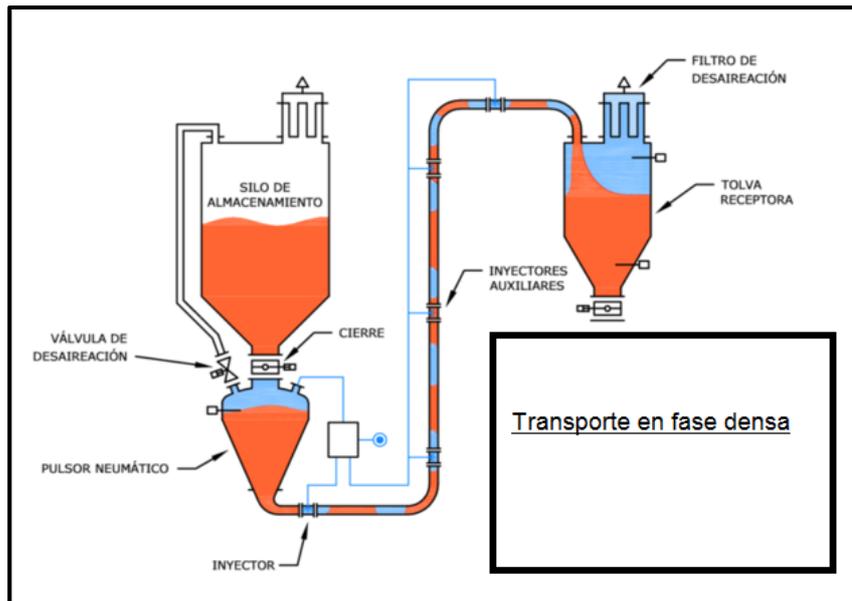


Figura 23. Esquema transporte en fase diluida.

2.3.3 Transporte neumático en los buques cementeros.

Dentro de los buques cementeros encontraremos las dos posibilidades (fase densa y fase media) para la descarga neumática a los silos o las naves de almacenamiento, a través de:

- [Bombas neumáticas de tornillo.](#)
- [Tanques de descarga.](#)

2.3.3.1 Bombas neumáticas de tornillo.

La bomba neumática de tornillo o bombas FULLER puede diseñarse de dos maneras: con la descarga en línea al tornillo sinfín o la descarga transversal al tornillo sinfín, con lo cual varía el diseño del tornillo en el último tramo de este, ya que el tornillo hace que el material vuelva hacia atrás choque con el que viene y facilite la alimentación de la cámara de presión

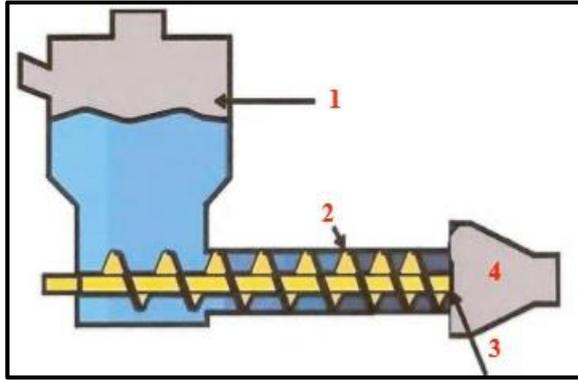


Figura 24. Esquema bomba en línea.

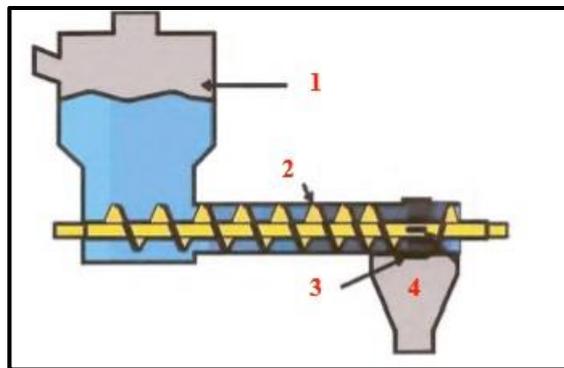


Figura 25. Esquema bomba transversal.

Este tipo de bombas constan de cuatro elementos fundamentales:

- Tolva (1): Lugar donde se produce la alimentación de material.



Figura 26. Tolva



Figura 27. Entrada de cemento en la tolva.

- Tornillo sinfín (2): Transporta el material por el cuerpo de la bomba. El sinfín gira a gran velocidad (1000 R.P.M). Esta elevada velocidad y la excesiva longitud del **gusano** obligan a apoyar dicho gusano sobre unos rodamientos cónicos, situados en un cuerpo de rodamientos.

Para evitar que salga cemento por el eje del gusano, se ha provisto al mismo con un obturador de aire a baja presión y un prensaestopas.



Figura 28. Vista de la extracción del sinfín.

- Válvula de retención (3): Aísla la tolva y el sinfín de la cámara de presión, pero permitiendo el paso de material hacia la misma. La válvula de retención tiene una palanca con un contrapeso, para regular la cantidad de cemento hacia la cámara de presión. El disco flotante de la válvula de retención situado en el extremo de descarga del cuerpo de bomba es una obturación mecánica que ayuda a impedir el flujo de aire comprimido desde la cámara de presión a través del cuerpo de bomba.

La función del brazo exterior de la válvula de retención es la de indicar que el disco flotante de la válvula está funcionando satisfactoriamente. Este brazo exterior en ningún caso deberá fijarse en algún punto que pueda impedir el libre movimiento del disco flotante.

- Cámara de presión, cámara de mezcla (4): Lugar de alimentación de aire proveniente de los compresores con el cual se produce el transporte neumático. En la cámara de presión existen 14 toberas que inyectan el aire a presión que envían los compresores. Al caer el cemento en dicha cámara es expulsado por el aire hacia la terminal receptora. La presión de descarga es de 1,5 kg/cm². Dependiendo de la distancia de la terminal receptora el rendimiento de la descarga varía.

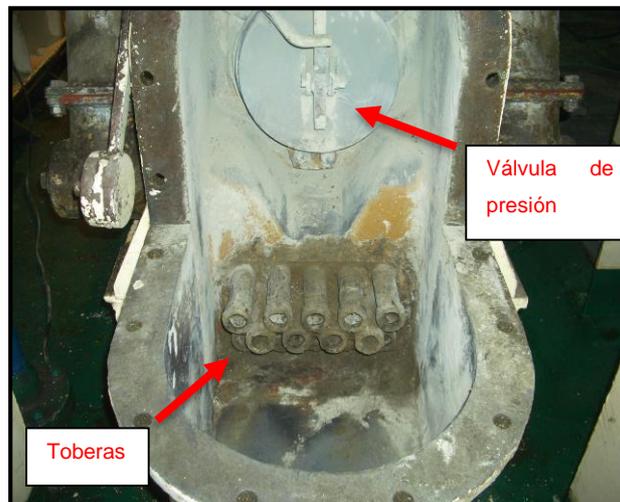


Figura 29. Cámara de vacío.

2.3.3.1.1 Funcionamiento bombas neumáticas de tornillo.

El funcionamiento del equipo es el siguiente: El material a transportar entra en la tolva. El sinfín hace avanzar el material a través del cilindro, hasta el cuerpo de descarga. En este cuerpo de descarga el material se comprime para crear un cierre de material. Este cierre evita el retroceso del aire de transporte desde la cámara de mezcla (cámara de presión). El sinfín tiene un par de espiras de paso inverso que repelen el material, ayudando de este modo a enviar el material a la cámara de mezcla. Una vez que el material se ha descargado en la cámara de mezcla, el aire comprimido que entra a través de las toberas fluidifica lo suficiente como para permitir su bombeo a través de la tubería de transporte conectada al final de la cámara de mezcla.

La válvula de retención colocada en el área de descarga de la bomba es un cierre mecánico que ayuda a impedir una contra corriente de aire procedente de la cámara de mezcla a través del cilindro de la bomba. La función de la palanca exterior de la válvula de retención es la de indicar que la válvula de retención está funcionando satisfactoriamente.

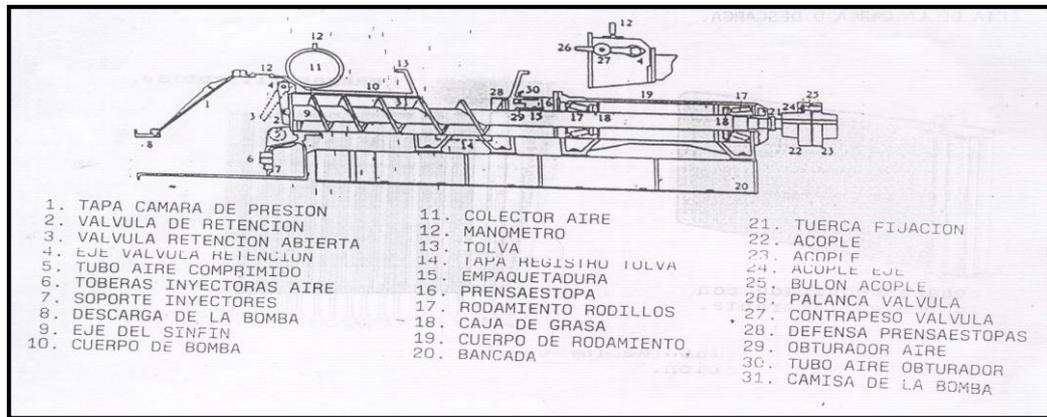


Figura 30a. Esquema bomba FULLER tipo H.

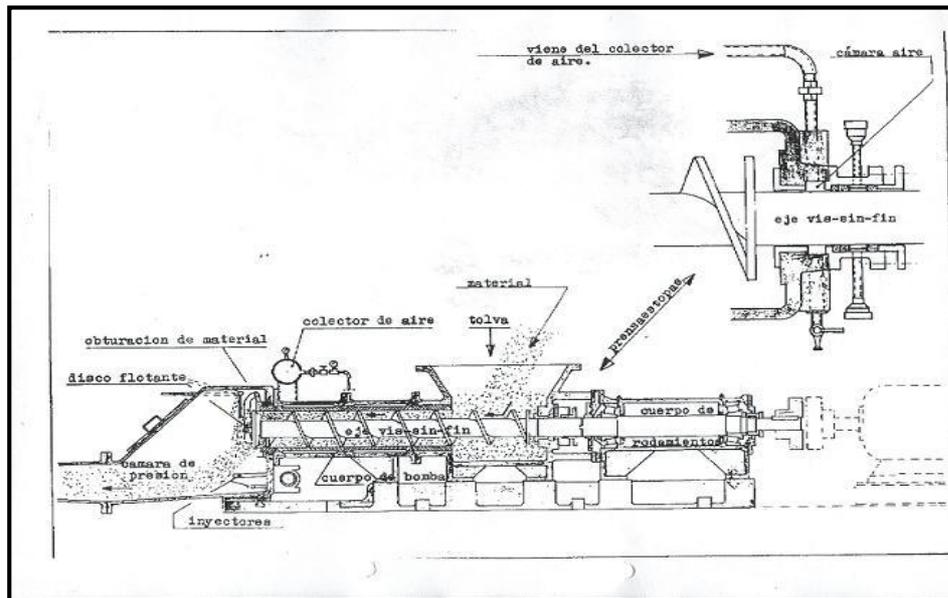


Figura 30b. Esquema bomba FULLER tipo H.

2.3.3.2 Tanques de descarga.

Estos tanques son los elementos empleados para realizar el transporte en fase densa, este tipo de sistemas en comparación con las bombas neumáticas de tornillo son de una gran sencillez y son sistemas que abarcan muchas posibilidades de transporte, según sean nuestras necesidades, así estos tanques se diseñan para presiones muy distintas y por tanto para diferentes promedios de descarga. Las compañías que construyen estos sistemas tienen modelos estándar pero que son fácilmente redimensionados para las necesidades del cliente. Su alimentación se puede realizar de las siguientes formas:

- [Mecánica](#): La alimentación de los tanques se realiza de forma mecánica, una tolva situada sobre ellos los alimentará de producto, el producto proviene de las bodegas por distintos procesos según el barco, en este caso mediante horizontales y verticales.
- [Neumática](#): La alimentación se realiza de forma neumática con lo que el diseño de los tanques varía, ya que los propios tanques deberán estar equipados con filtros en su interior para separar el aire de succión del cemento transportado junto con ellos.



Figura 31. Tanques de descarga.

2.3.3.2.1 Tanques de descarga de alimentación mecánica.

Tenemos dos modos fundamentales para realizar este tipo de transporte neumático:

- [Modo discontinuo.](#)
- [Modo continuo.](#)

2.3.3.2.1.1 Modo discontinuo.

Usamos para este tipo de descarga un solo tanque para desplazar el sólido a lo largo de la línea de descarga. Sus diferentes etapas son:

1. [Llenado del tanque.](#)
2. [Sellado y presurizado.](#)
3. [Descarga.](#)
4. [Soplado y repetición del proceso.](#)

2.3.3.2.1.1.1 Llenado del tanque.

Generalmente se realiza por medios mecánicos, aunque en algunos casos se produce el llenado por medios neumáticos mediante bombas de vacío.

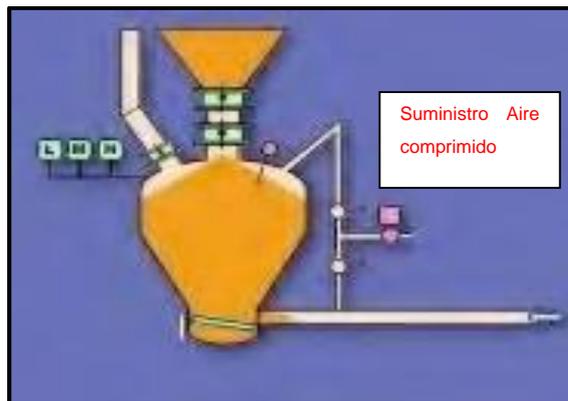


Figura 32. Tanque lleno.

2.3.3.2.1.1.2 Sellado y presurizado.

El tanque es sellado se deja de alimentar con material y se presuriza mediante el aire suministrado por los compresores.

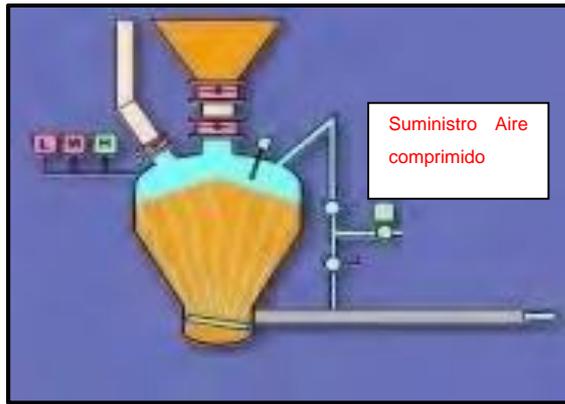


Figura 33. Sellado y presurizado.

2.3.3.2.1.1.3 Descarga.

Una vez alcanzada la presión de transporte se abre la descarga para que el material avance por la línea, se mantiene la presión en el tanque para que la presión sea la correcta hasta que se vacíe por completo.

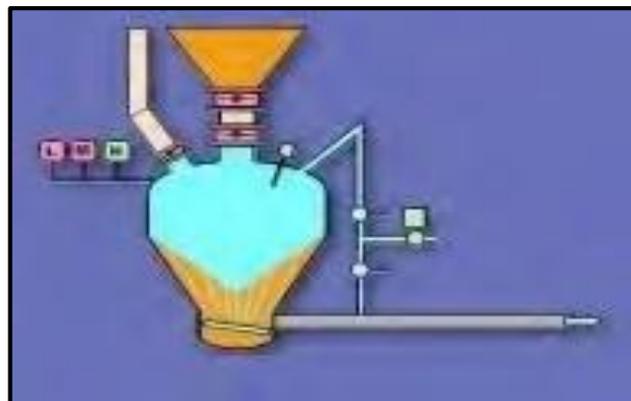


Figura 33. Descarga del tanque.

2.3.3.2.1.1.4 Soplado y repetición del proceso.

Una vez el tanque este vacío se sopla la línea un breve espacio de tiempo y se repite el proceso. Cortando el suministro de aire y volviendo a llenar el tanque.

Este es el funcionamiento básico de los tanques de descarga que realizan el transporte en fase densa. Como podemos observar en comparación con las bombas de tornillo neumática tiene una gran sencillez, repitiéndose el ciclo descrito tantas veces como sea necesario.

Hasta el momento estaríamos describiendo el sistema discontinuo ya que cuando estamos llenando nuevamente el tanque, no realizamos transporte de material, sino que estamos en espera de la recarga del tanque y una vez que este tanque termine podemos volver a transportar material.

2.3.3.2.1.2 Modo continuo.

Con la simple adición de otro tanque pasaremos a realizar la descarga en el modo continuo ya que cuando estamos llenando un tanque, el tanque adyacente está siendo descargado y el ciclo de descarga no se para, logrando lógicamente ampliar el promedio de descarga de manera sencilla. Este sistema de doble tanque o descarga continua es el que encontraremos en las instalaciones en los buques cementeros, incluso con dos tanques bombeando al mismo tiempo.

Mostraremos a continuación las mismas etapas en la descarga, pero esta vez con tanques en el interior de un buque cementero que descarga por una línea, en cada impulso serán dos tanques los que alimentarán una única línea final.

1. [Llenado de tanques.](#)
2. [Sellado y presurizado.](#)
3. [Descarga.](#)
4. [Repetición del proceso.](#)

2.3.3.2.1.2.1 Llenado de tanques.

Por gravedad se llenarán dos tanques de descarga, estos tanques no compartirán la línea de descarga inicial sino la línea final. Los tanques van en grupos de dos compartiendo una línea, aunque después cada dos tanques de línea no compartida compartirán la línea final.

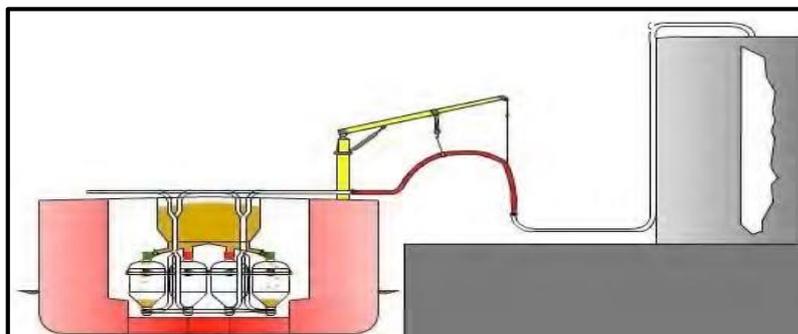


Figura 34. Llenado de tanques

2.3.3.2.1.2.2 Sellado y presurizado de los tanques llenos.

Los tanques ya cargados se sellan y presurizan para realizar el transporte una vez alcanzada la presión de diseño, los tanques vacíos comienzan a llenarse en ese momento.

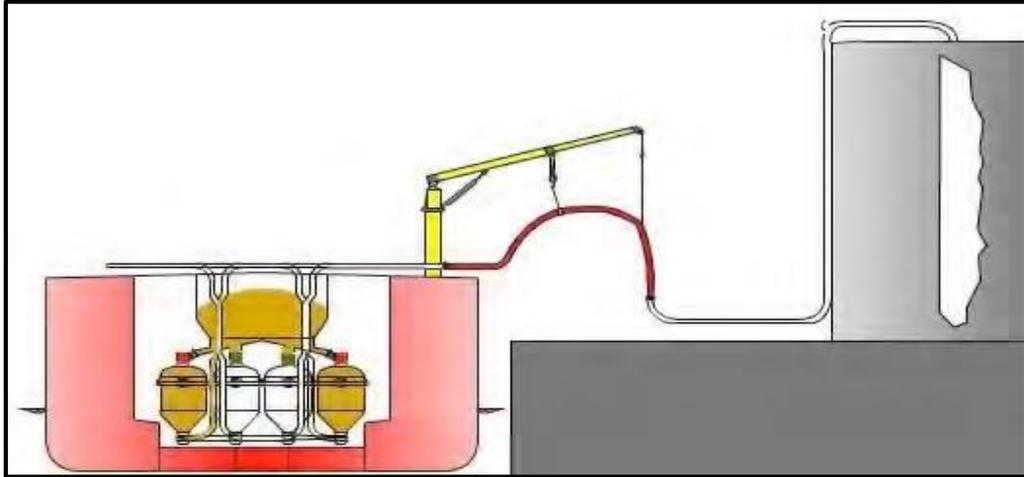


Figura 35. Sellado y presurizado de tanques.

2.3.3.2.1.2.3 Descarga de los tanques.

Se comienza la descarga de los tanques ya presurizados y se continúa con el llenado de los dos tanques vacíos.

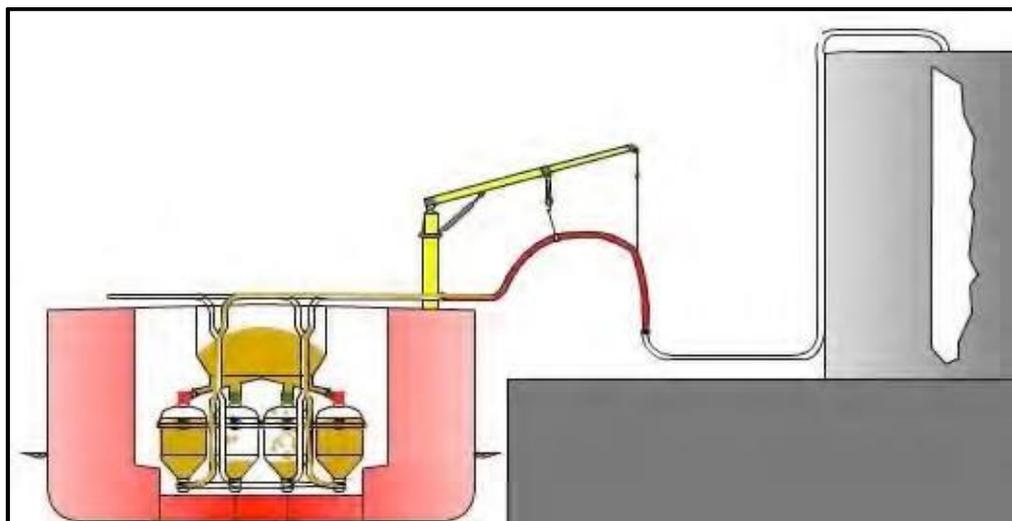


Figura 36. Descarga de los tanques.

2.3.3.2.1.2.4 Repetición del proceso.

Se descargan los tanques llenos y se cargan los vacíos, en el caso de dos tanques el venteo ya no existe puesto que inmediatamente después de vaciarse unos ya estamos descargando los otros.

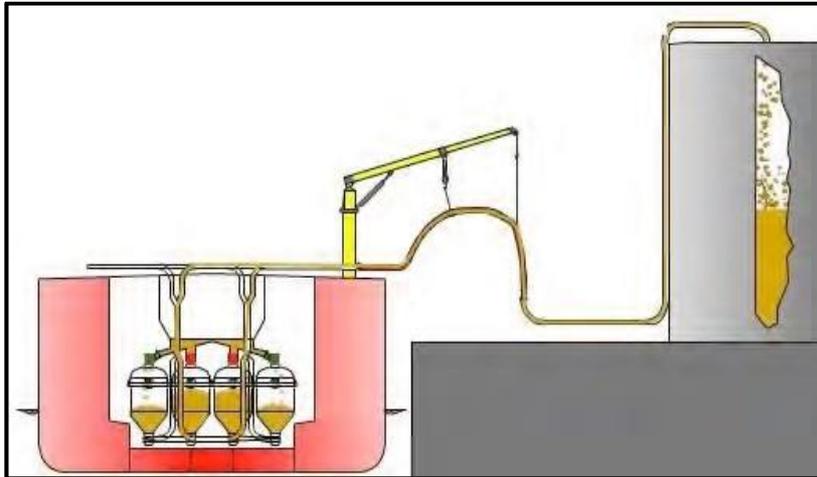


Figura 37. Alternando tanques hasta finalizar la descarga.

Al usar los dos tanques la descarga ya se mantiene de manera continua, el uso como en este caso de cuatro tanques hace que además de ser continua aumente el rendimiento de la descarga de manera muy importante.

2.3.3.2.2 Tanques de descarga de alimentación neumática.

Se describirán ahora los tanques de descarga cuya alimentación se realiza de forma neumática con lo que el diseño de los tanques varía, ya que los propios tanques deberán estar equipados con filtros en su interior para separar el aire de succión del cemento transportado junto con ellos.

2.3.3.2.2 Presurizado del tanque lleno.

Presurización del tanque lleno y carga efectuada por succión al tanque vacío. Se presuriza hasta alcanzar la presión necesaria y al finalizar comienza la descarga.

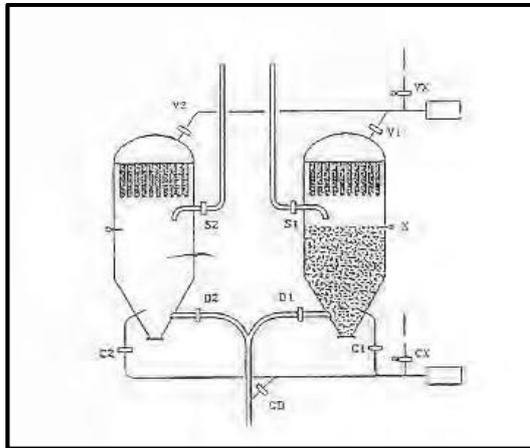


Figura 39. Tanque lleno y presurizado para su descarga.

2.3.3.2.3 Descarga del tanque.

Una vez el tanque está a la presión de trabajo deseada se comienza a descargar. Cuando finalice la descarga tendremos el otro tanque ya completamente lleno, y se alternarán en sus funciones.

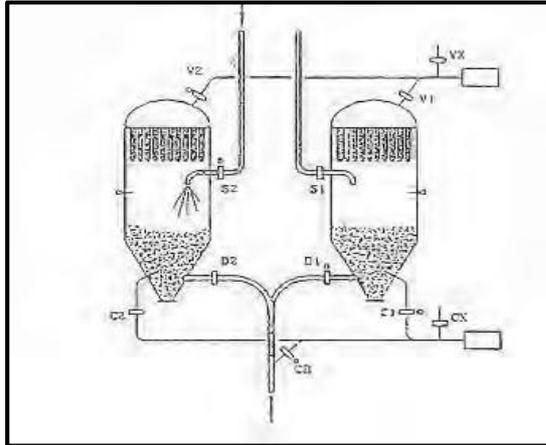


Figura 40. Descarga y llenado del otro tanque.

2.3.3.2.4 Repetición del proceso.

Se repite el proceso hasta terminar la descarga, una vez se vacíe un tanque no hay que soplar la línea ya que seguidamente pasamos a descargar el otro.

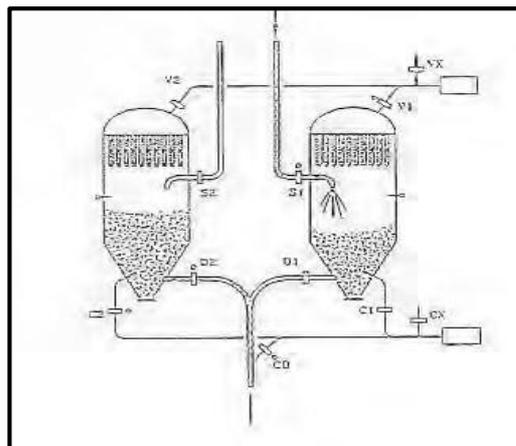


Figura 41. Alternando secuencias.

2.3.3.3 Equipos fundamentales de un sistema neumático.

Existen diversos equipos que son fundamentales para el correcto funcionamiento de un sistema neumático. Estos equipos están destinados a proveer del suministro de aire necesario para fluidificar el cemento, el tratamiento de este aire donde se garantice que no haya partículas en el que puedan dañar a todo el sistema y para realizar la separación del sólido-liquido en una mezcla fluidificada.

Estos equipos son:

- [Compresores.](#)
- [Filtros.](#)

2.3.3.1 Compresores.

Para realizar el transporte neumático usamos compresores, la elección del tipo de compresor a emplear depende del tipo de transporte, así para un transporte en fase diluida donde no necesitamos presiones mayores de los 3 bares, usaremos generalmente compresores de paletas y para el transporte en fase densa donde necesitamos presiones superiores a los 3 bares, usaremos compresores de tornillo, estos dos tipos de compresores pertenecen al grupo de compresores rotativos que comprimen el aire, mediante un procedimiento rotatorio y continuo, es decir, empujan el aire desde la aspiración a la descarga, comprimiéndolo.

2.3.3.1.1 Compresores de paletas.

Un rotor excéntrico, dotado de paletas gira en un alojamiento cilíndrico, el rotor lleva un número de paletas radiales medidas en unas ranuras, y cuando el rotor gira accionado por el motor, las paletas se desplazan hacia afuera por la fuerza centrífuga, ajustándose a la pared del estator. El volumen de aire atrapado en la cámara comprendida entre dos paletas consecutivas se comprime gradualmente mientras que disminuye el volumen de dicha cámara durante el movimiento de rotación, con lo que aumenta su presión.

En el momento que llega a la lumbrera de descarga, el aire es empujado a través de ella, hacia la salida. Habiéndose finalizado el ciclo.

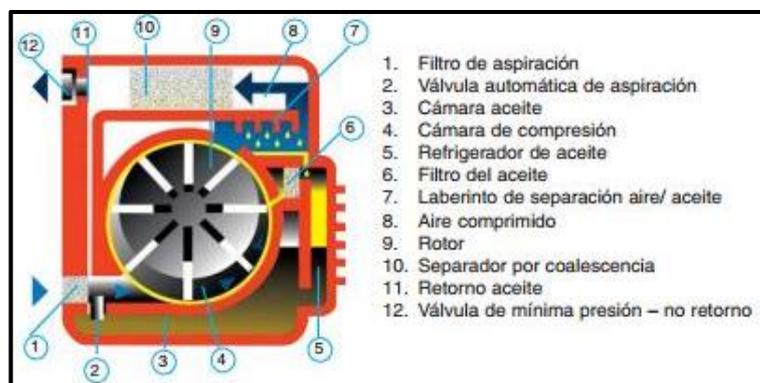


Figura 42. Esquema compresor de paletas.

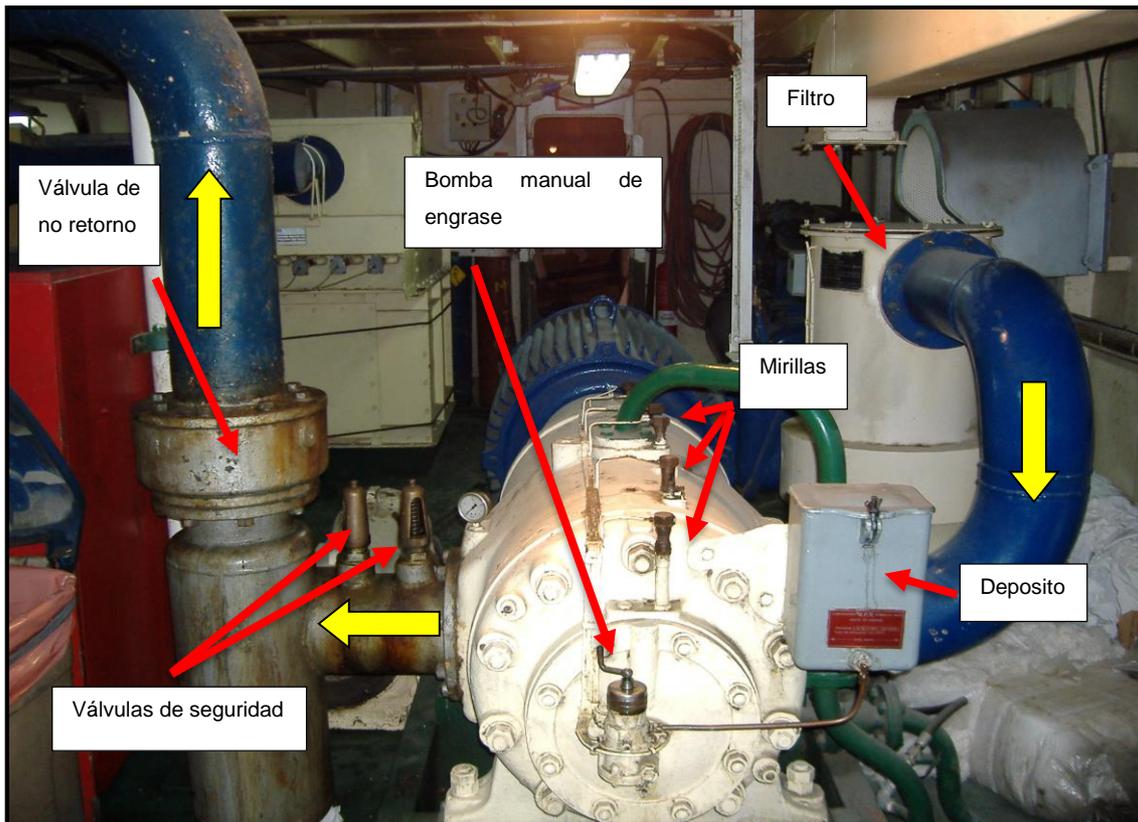


Figura 43. Vista de un compresor de paletas.

2.3.3.1.2 Compresores tornillo o helicoidales.

Este tipo de compresores consiste básicamente en dos rotores helicoidales situados dentro de una carcasa. Por su movimiento absorben aire que posteriormente se comprime dentro de la cámara helicoidal formada entre los rotores y la carcasa. Los rotores difieren en su forma de manera que ajusten entre sí formando un cierre por el cual no pueda escapar el aire al ser comprimido. Logramos presiones por encima de 4 bares incluso hasta 22 bares.

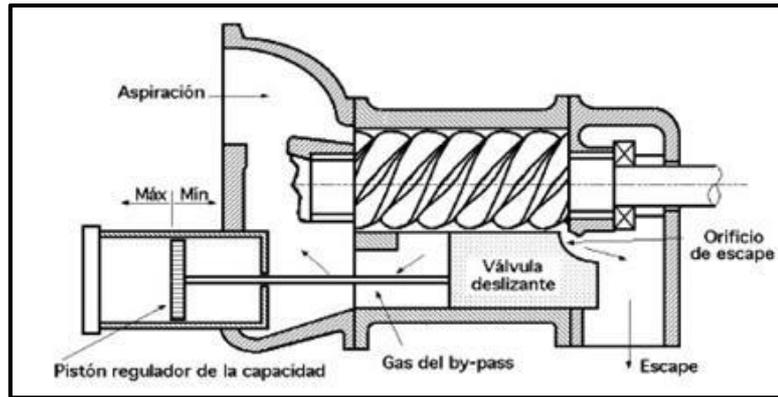


Figura 44. Esquema de un compresor de tornillo o helicoidal.

2.3.3.2 Filtros.

Los filtros son equipos en los que se lleva a cabo la operación de separación sólido-líquido, sólido-gas, denominada filtración. Esta operación consiste en una separación física donde no existe transferencia de materia, sino que lo que se da es una separación entre distintos estados de agregación.

Los filtros son la salida del aire que se extrae de la bodega para crear vacío, su misión es evitar que al arrastrar el aire partículas de cemento se expulsen al exterior. Los filtros están formados por cuerpo, rejillas, forro y tubos de aire.

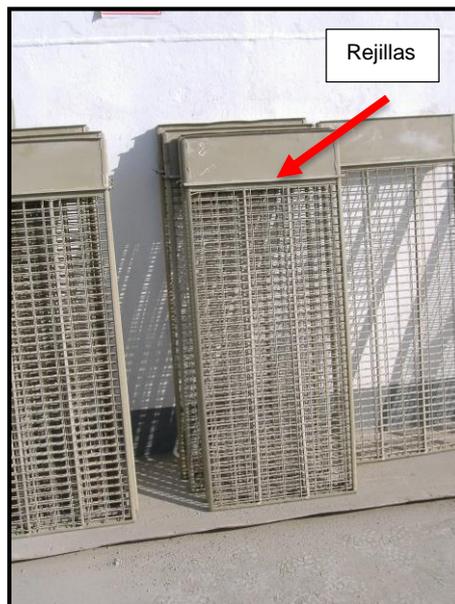


Figura 45. Filtro sin forro.



Figura 46. Filtro con forro.

Los forros van reteniendo el cemento, pero para evitar que queden tupidos se les inyecta aire a través de unos tubos que van montados el extremo de las rejillas.



Figura 47. Tubos de inyección de aire montados sobre las rejillas.

2.3.3.2.1 Utilidad de los filtros en las operaciones de carga.

Durante la carga mecánica en algunos tipos de buques a través de los ventiladores se alimentan las canaletas con aire para que se pueda producir la fluidificación del cemento, y se deslice hacia la bodega tanto por las canaletas exteriores como las canaletas bajo bodega, debido a esto se está introduciendo aire en las bodegas con lo cual se crea una sobre presión, esta debe ser eliminada y el método son los filtros, filtros que no solo van a eliminar todo el aire introducido si no que van a lograr una depresión dentro de la bodega, que además va a favorecer la entrada de cemento. El objetivo de los forros es muy claro, detener las partículas de cemento arrastradas junto con el aire que se está quitando de la bodega. La necesidad de su limpieza durante todo el proceso es clara ya que si no se efectuara la limpieza se irían tупiendo las mangas y se quedaría sin aspiración luego la carga sería mucho más dificultosa. Si la carga se efectúa mediante canaletas sino sin fines u otro método, los filtros se usan igual ya que favorecen la entrada de cemento si se produce la carga por medios neumáticos donde introducen gran cantidad de aire su funcionamiento pasa a ser algo fundamental.

2.3.3.2.2 Utilidad de los filtros en las operaciones de descarga.

Durante la descarga se vuelve a presentar el mismo problema, en algún tipo de cementero las lonas del plan tienen un aporte de aire para favorecer la caída del cemento a las compuertas y por tanto ese exceso de aire debe ser eliminado, en caso de ser buques con fondos de cadena no se usarán generalmente para la descarga, pero si se instalarán pensando en una posible carga neumática o en el segundo objetivo que consiste en hacer vacío en determinados puntos del circuito de descarga.

2.3.3.2.3 Filtro FULLER.

Está compuesto por:

- El cuerpo de los filtros.
- El extractor.
- El programador que controla los periodos de inyección de aire.
- La línea de entrada de aire comprimido.

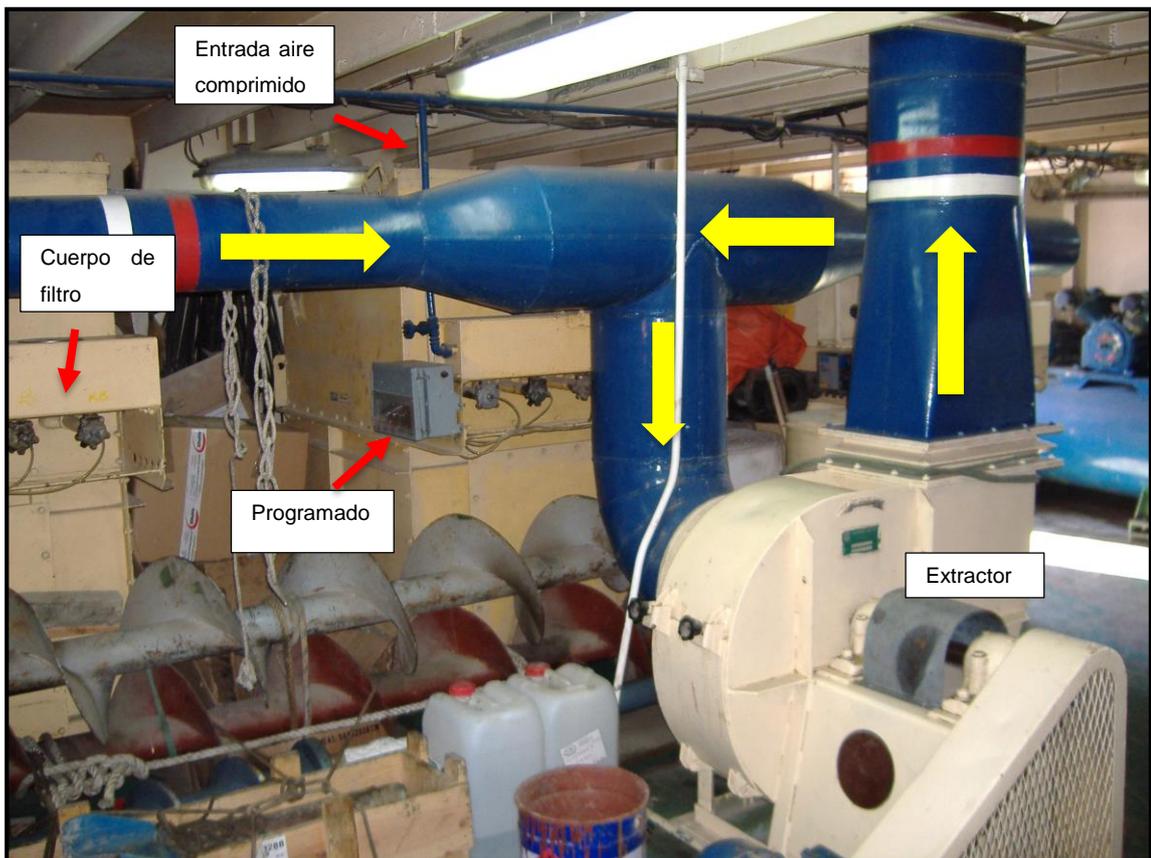


Figura 48. Vista general filtro FULLER.

Dentro del cuerpo de los filtros encontramos las rejillas, los forros de las rejillas (esto es la lona filtrante) y los tubos de descarga del aire a presión para la limpieza de las lonas. La presión de trabajo que se debe suministrar para una buena limpieza de las lonas está entre los 6 kg/cm² y los 8 kg/cm².



Figura 49. Salida aire filtrado.



Figura 50. Comunicación entre bodegas.

3 Transporte del cemento por mar.

Tenemos dos maneras de transportar cemento por vía marítima, mediante buques graneleros (bulk-carrier) y por medio de buques especializados en su transporte los denominados buques cementeros (unloading cement carriers), describiré a continuación las diferentes opciones de carga y descarga usadas para llevar a cabo el transporte. En este trabajo me centrare solamente en los tipos de buques cementeros ya que los buques graneleros o bulk carriers quedan fuera del ámbito de estudio de este trabajo.

3.1 Buques cementeros.

Una alternativa para realizar el transporte de cemento por vía marítima es la utilización de los buques cementeros puros, también llamados cementeros autodescargantes, designación esta que viene de su denominación inglesa de “self-unloading cement tankers” o “self-unloading cement carriers” y acuñado en los planos de astillero de estos buques construidos en España, donde podemos encontrar en la denominación de tipo de buque, el termino de cementero autodescargante.

Ahora intentaremos definir lo que es un buque cementero: “Buque de carga construido o adaptado y utilizado para el transporte a granel de cemento.”

A continuación, serán explicados los diferentes tipos de buques cementeros que nos podemos encontrar ya que no todos los buques cementeros son iguales.

3.2 Tipos de buques cementeros.

Podemos considerar diferentes aspectos para realizar una clasificación de los buques cementeros, pero los dos más importantes son:

- La forma como extraemos el cemento de las bodegas, mediante fondos fluidificados (solución mayoritariamente empleada) o transportadores de cadenas.
- La manera en la que realizamos el transporte neumático, diferenciando entre el empleo de sistemas de fase densa y el de sistemas de fase diluida o lo que es lo mismo, si empleamos bombas neumáticas de tornillo para realizar la descarga o tanques presurizados (blow tank), llamados tanques de descarga.

3.2.1 Tipo I

Son buques cementeros basados en fondos de bodega fluidificados y transporte en fase densa mediante tanques de descarga, elevan el cemento a nivel de cubierta mediante verticales, como principales elementos diferenciadores.

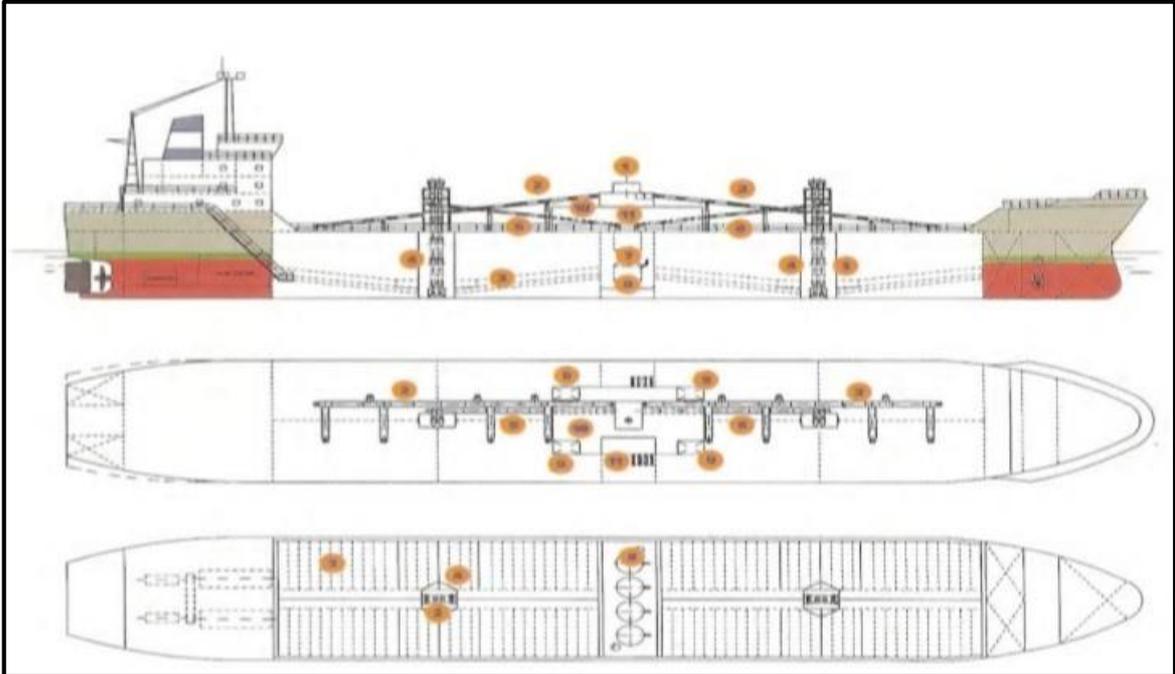


Figura 51. Esquema buques tipo I.

Independientemente podrán estar o no equipados con un sistema de descarga mecánico y con sistemas de carga neumática y mecánica (dentro de los sistemas de carga mecánica podrán usar canaletas con aerodeslizadores o sinfines horizontales reversibles). Al ver los ejemplos nos remitiremos a estas variaciones. Estos buques responderán al siguiente esquema general.

Componentes del sistema

1.Sistema de recepción de la carga.	7.Tolva receptora de material, descarga.
2.Canaletas, aerodeslizadores de carga.	8.Sistema de tanques presurizados.
3.Fondos de bodega fluidificados.	9.Filtros de polvo.
4.Cuerpo protector del vertical.	10.Sala de maquinas,soplantes,ventiladores y compresores para la descarga.
5.Tornillo sin-fin vertical.	11. Sala de control funcionamiento maquinaria.
6.Canaletas aerodeslizadores de descarga.	

Dentro de este esquema general la principal variación que podremos encontrar es la sustitución de las canaletas con aerodeslizadores usadas para la carga y las canaletas usadas para la descarga, (su misión es alimentar la tolva de los tanques de carga), por un sin-fin horizontal reversible que usaremos tanto para las operaciones de carga como para la descarga pasando este a alimentar la tolva. Lógicamente si anulamos todas las canaletas con aerodeslizadores no necesitaremos de ventiladores. Los elementos que serán totalmente invariables serán la tolva de recepción del material a descargar que repartirá el cemento en los depósitos, los filtros que encontraremos como elemento común de todos los cementeros y los fondos de bodega fluidificados además de los verticales que elevan el cemento, por encima de cubierta, para su distribución.

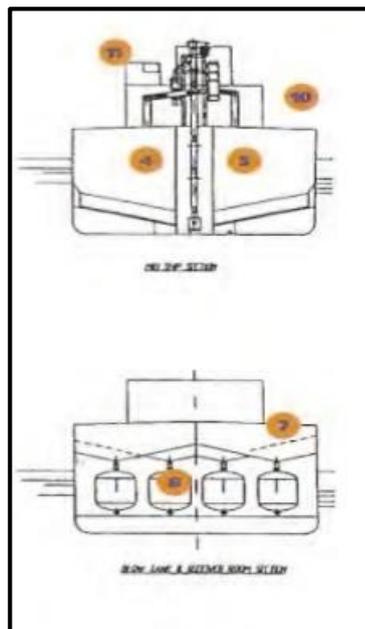


Figura 52. Sección transversal buque tipo 1.

A continuación, mostraré un ejemplo de un buque de este tipo.

3.2.1.1 M/V GLORY ATLANTIC



Figura 53. M/V Glory Atlantic

Es el grupo McGregor el que suministra los elementos de carga y descarga de este buque a petición de Labroy Shipbuilding and Engineering Pte Ltd. de Singapur.

Su principal característica es la sustitución de las canaletas con aerodeslizadores por tornillos sinfín horizontales reversibles.

Para este buque se exige por el armador la mayor flexibilidad posible en cuanto a carga y descarga pidiendo que ambas puedan ser mecánicas y neumáticas.

Su esquema es el siguiente:

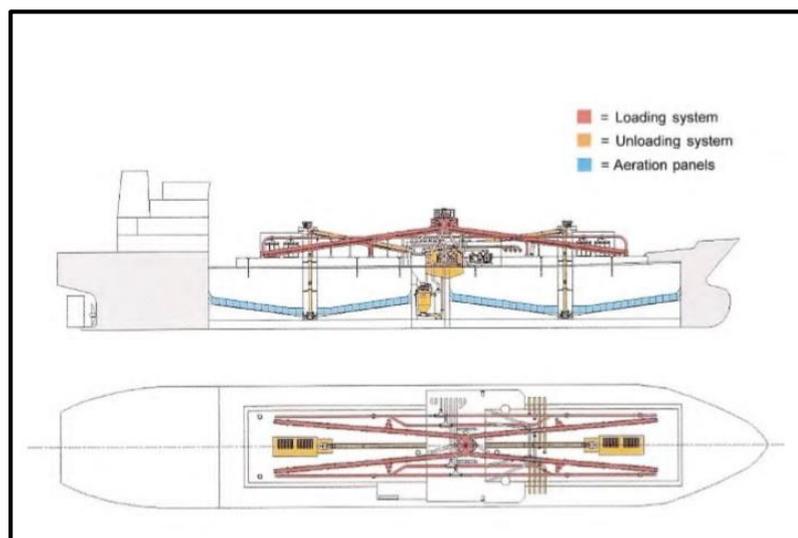


Figura 54. Esquema M/V Glory Atlantic

DESCRIPCION DEL BUQUE Y SUS SISTEMAS DE CARGA Y DESCARGA	
<p>Carga Mecánica: El buque se cargará de manera mecánica por un solo punto, la carga será repartida por el sinfín horizontal en las distintas bodegas</p>	<p>Datos del buque:</p> <p>Eslora total: 145 m Manga: 25,5 m Puntal: 12 m Calado máx.: 9 m P.MM 19633 tm</p>
<p>Carga Neumática: La carga neumática tiene una toma que ira a la tolva de carga desde esta se repartirá a las bodegas por los sinfines horizontales.</p>	
<p>Descarga Mecánica: Se fluidificará el cemento en las bodegas y se elevara a nivel de cubierta por medio de los verticales que lo pasaran a los horizontales que lo enviaran a una grúa situada en el medio del buque para la descarga</p>	<p>Datos del sistema:</p> <p><u>CARGA</u> Mecánica: 1000 t/h Neumática: 2 x 400 t/h</p> <p><u>DESCARGA</u> Mecánica: 450 t/h Neumática: 4 x 300 t/h</p>
<p>Descarga Neumática: Los horizontales enviaran el cemento a la tolva de los tanques de descarga.</p>	

3.2.2 Tipo II.

En estos buques tendremos como elementos principales los elevadores de cangilones para elevar el cemento sobre cubierta, fondos fluidificados y tanques de descarga.

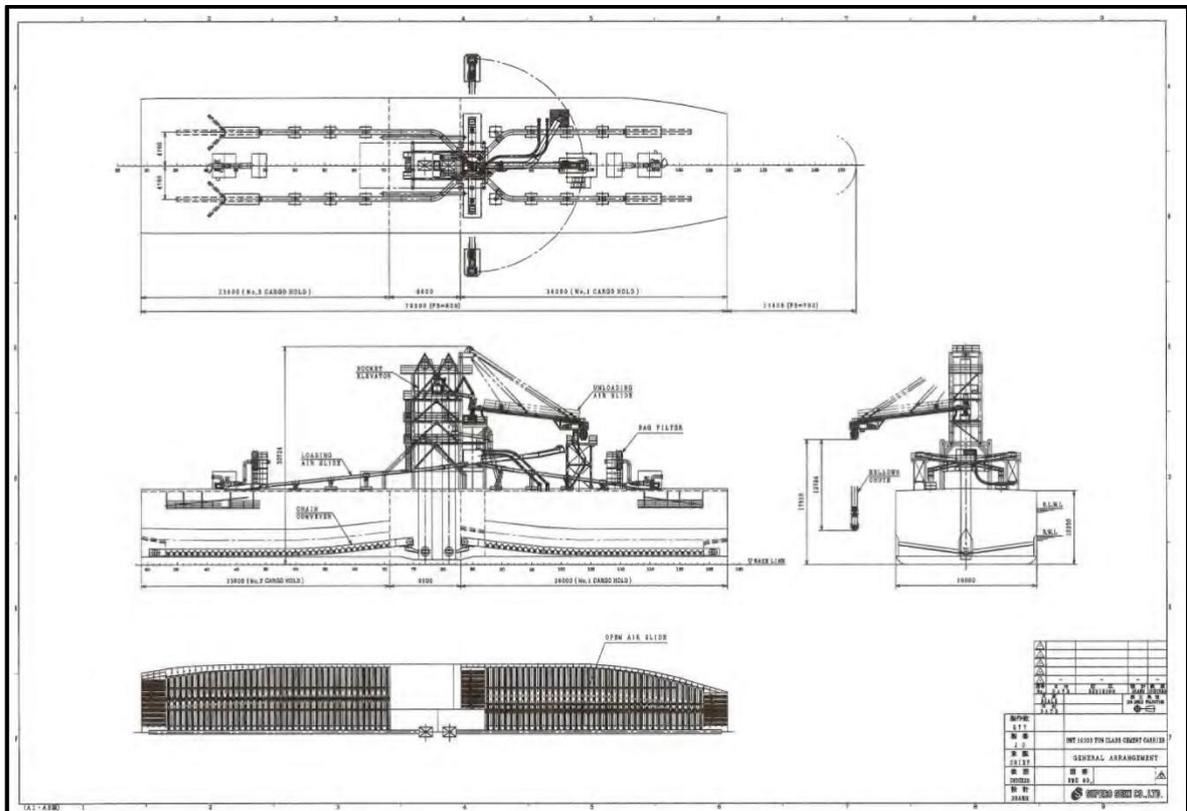


Figura 55. Buque Tipo II.

En este esquema general es de destacar que las bodegas están divididas por un túnel en el cual discurre un transportador de cadena que será alimentado por las compuertas de las bodegas fluidificadas, conduce el cemento a la base de los elevadores de cangilones que llevan al cemento o ceniza volante por encima del nivel de cubierta y desde ese punto se distribuye el cemento.

Los transportadores de cadena podrían ser sustituidos por sinfines horizontales para conducir el cemento al centro del buque, en el esquema general la carga se realiza mediante canaletas, pero como en los casos del tipo I también podría hacerse por horizontales reversibles.

Mediante los siguientes gráficos se podrán ver con gran claridad los como son los procesos de:

- [Carga.](#)
- [Descarga.](#)

3.2.2.1 Carga.

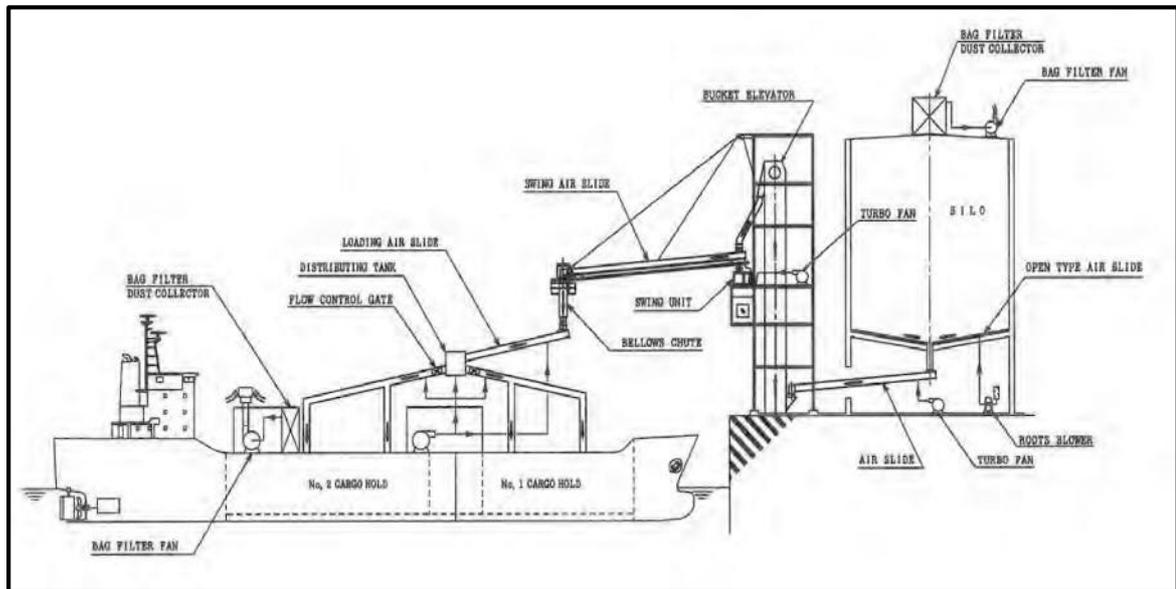


Figura 56. Esquema de carga Buque Tipo II.

3.2.2.2 Descarga.

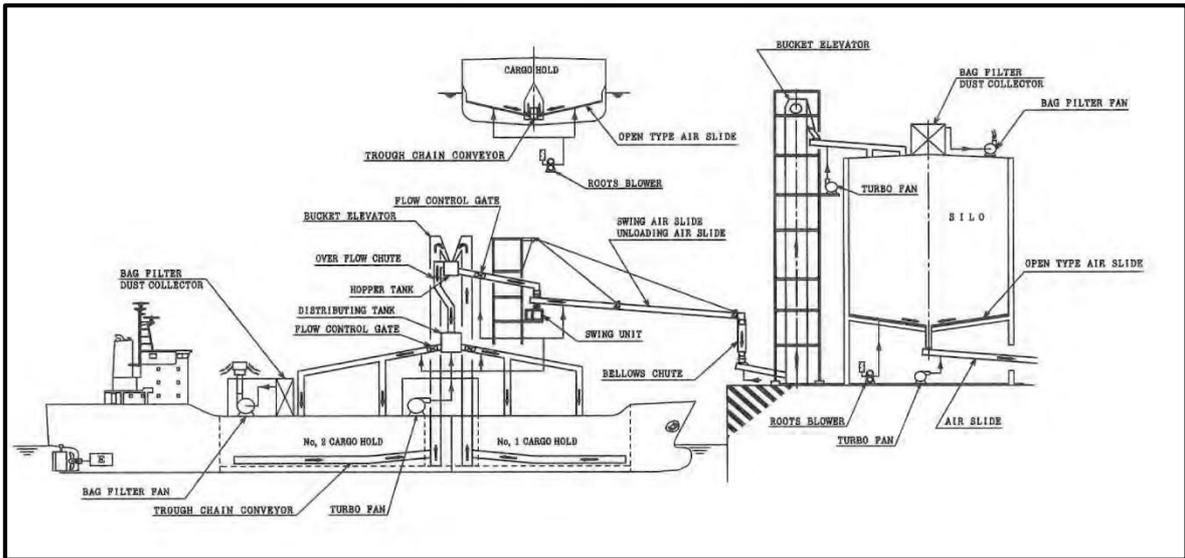


Figura 57. Esquema de Descarga Mecánica Buque Tipo II.

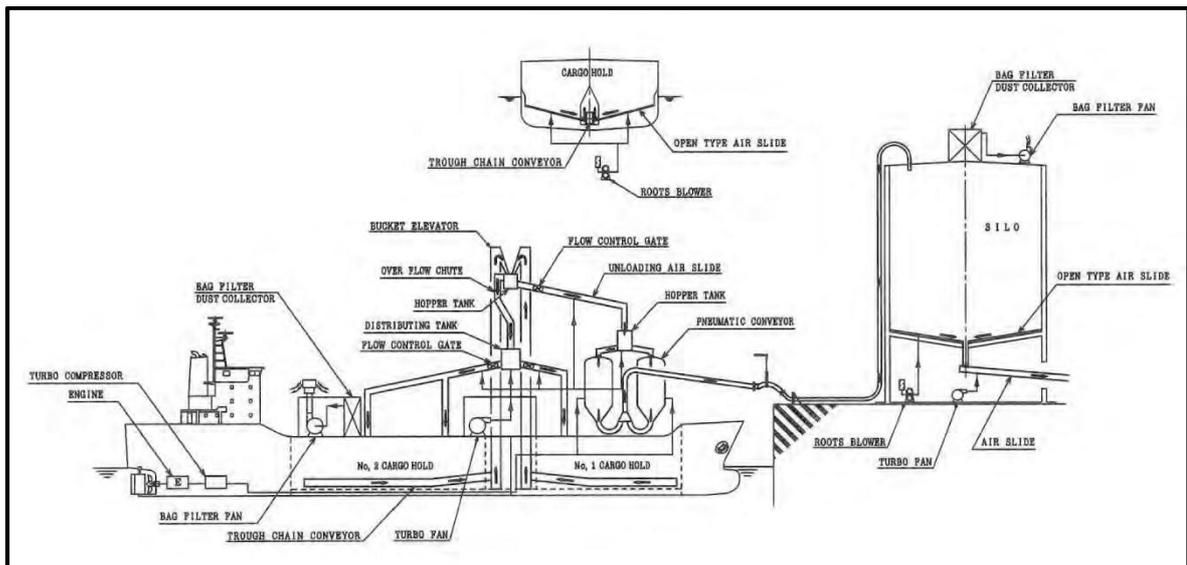


Figura 58. Esquema de Descarga Neumática Buque Tipo II.

En los esquemas podemos observar todas las posibilidades de trabajo del buque carga y descarga neumática y mecánica.

3.2.3 Tipo III.

Los elementos característicos de este tipo de buques son, fondos fluidificados, elevación del cemento sobre cubierta por medios neumáticos y la utilización de tanques de descarga para el transporte del material al silo o nave de recepción.

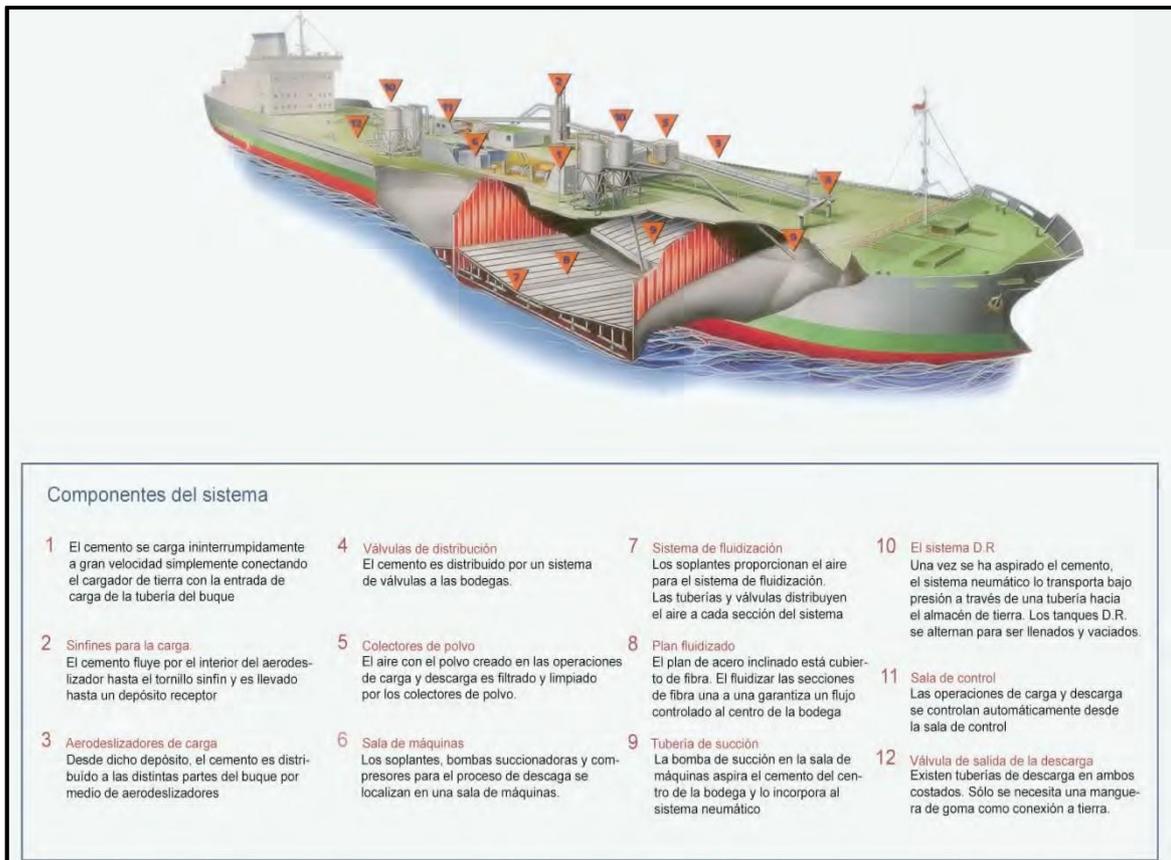


Figura 59. Esquema general Buque Tipo III.

Podemos observar como punto diferenciador más importante que el cemento se extrae de las bodegas mediante bombas de vacío por tanto el elemento que eleva el cemento al nivel de cubierta para descargar, son unas líneas que conectadas a las bombas de vacío llegan a los fondos de los tanques.

Estas líneas antes de llegar a la bomba de vacío pasan y este es el lugar donde quedarán retenido el cemento por los tanques que descarga que deberán estar equipado con filtros para que el material a transportar no pueda llegar al elemento generador de depresión (bombas de vacío).

La existencia de filtros similares a los de mangas en estos tanques de descarga no elimina los filtros dedicados a la succión del aire dentro de las bodegas, ya que debemos como siempre mantener la bodega en depresión y la cantidad de aire que acompaña al cemento transportado no es elevada con este tipo de bombas de vacío se produce un transporte en vacío de fase densa.

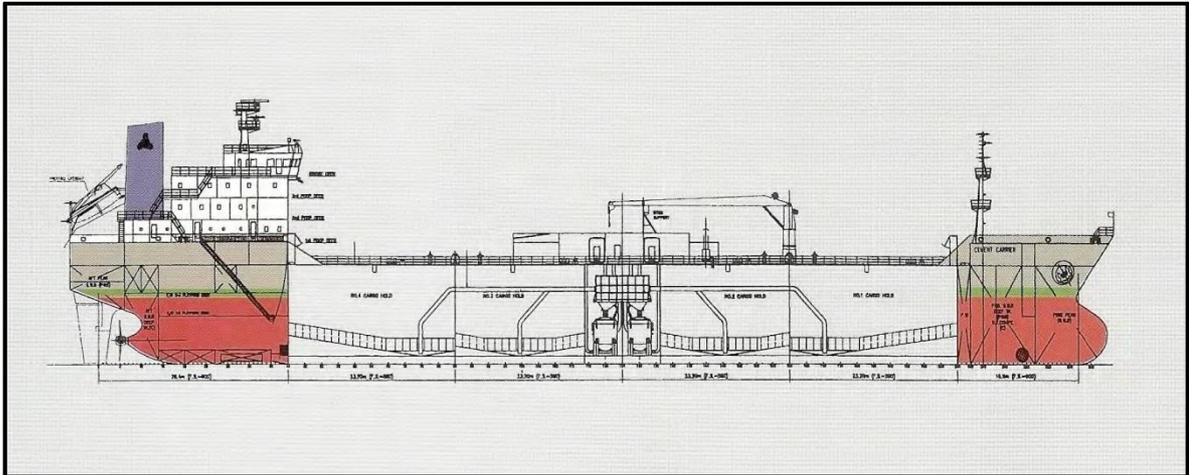


Figura 60. Buque Tipo III.

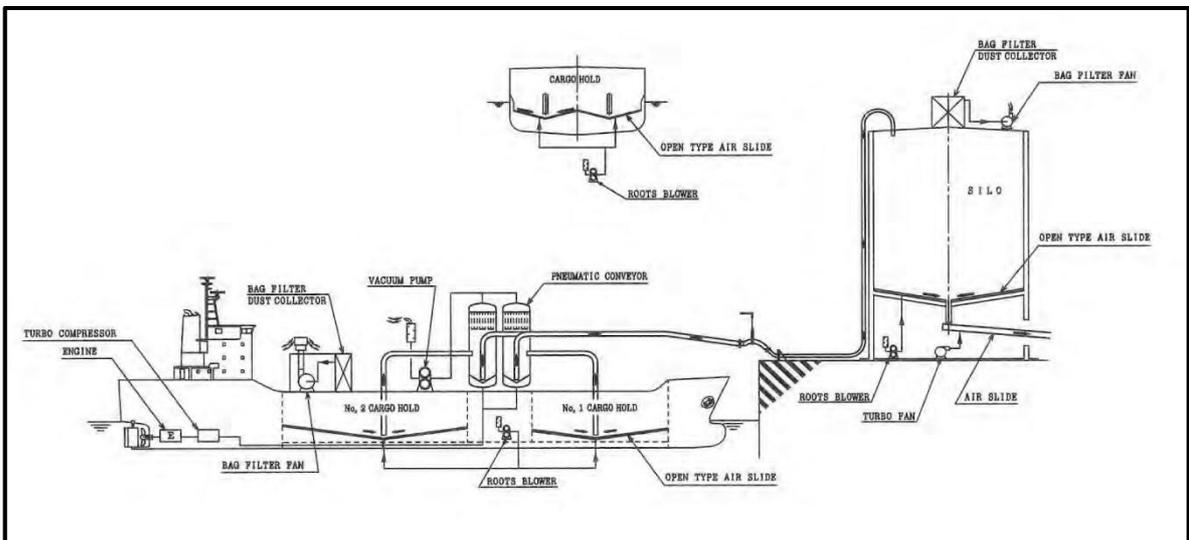


Figura 61. Flujo de descarga Buque Tipo III.

3.2.4 Tipo IV.

Basados en verticales para elevar el cemento sobre cubierta, bombas de tornillo neumáticas y fondos de bodegas fluidificados.

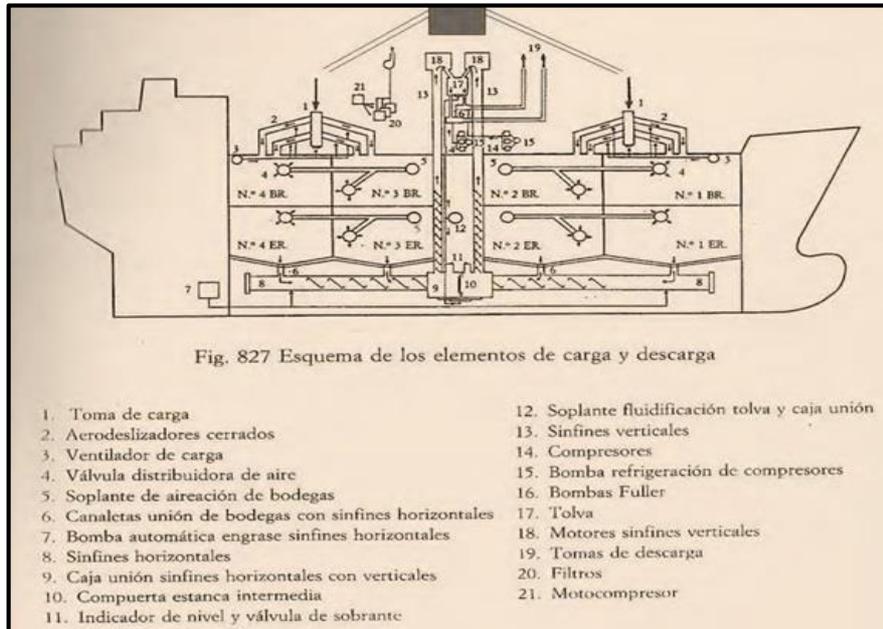


Figura 62. Buque Tipo IV (Esquema del sistema de carga y descarga).

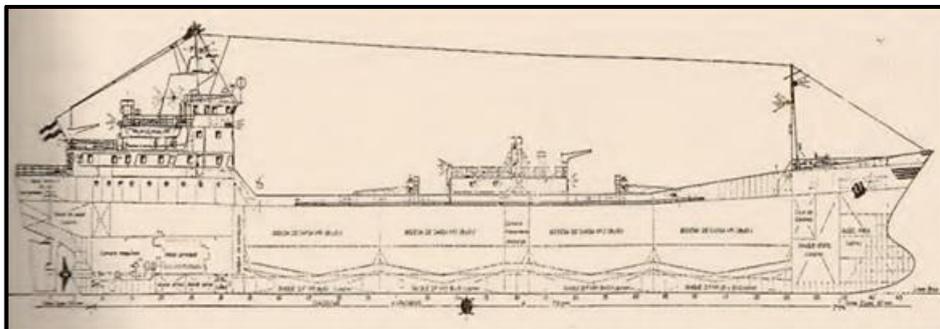


Figura 63. Esquema general MN Cantábico.

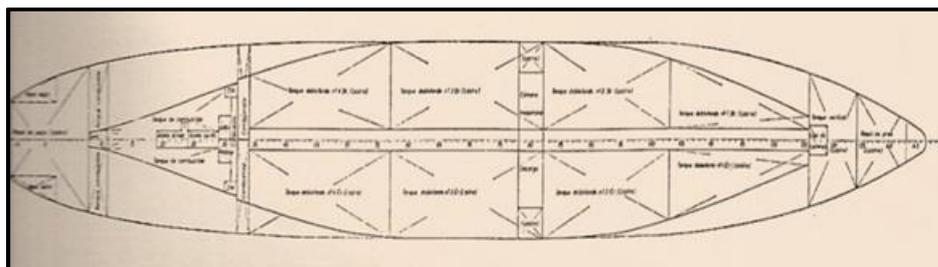


Figura 64. Planta MN Cantábico.

En el esquema general podemos notar que no hay elementos muy diferenciados con el resto de buques cementeros a excepción de la bomba FULLER, los demás elementos que constituyen los demás elementos que constituyen estos barcos son de sobra conocidos (verticales, horizontales, filtros, canaletas con aerodeslizadores, compuertas y los elementos suministradores de aire como son soplantes, ventiladores y compresores) dispuestos de distinta manera, pero con el mismo objetivo. En estos barcos aparece un túnel entre las bodegas, túnel creado para instalar un sin-fín horizontal que transportara el cemento, cemento que es entre las bodegas, túnel creado para instalar un sinfín horizontal que transportará el cemento. Señalar también que las bodegas de proa y de popa están a su vez separadas por un espacio donde confluyen los dos horizontales proa y popa destinado a la instalación de los sinfines verticales y otra maquinaria como soplantes, bombas de refrigeración y bomba de engrase de los horizontales.



Figura 65. Túnel M/N Cementos cantábrico.



Figura 66. Bomba de refrigeración mediante agua salada.



Figura 67. Bomba de engrase de los sinfines.

En el esquema anterior podemos observar una estructura en el centro del buque que es la cámara de bombas o casetón, donde encontraremos todo el equipo de manejo de la carga como las bombas FULLER, los compresores de las bombas, los filtros, el panel de descarga y el panel de alarmas, para operar los elementos durante las operaciones de carga y descarga.



Figura 68. Panel de descarga superior.



Figura 69. Panel de descarga inferior.



Figura 70. Panel de alarmas.



Figura 71. Medios de carga y descarga M/N Cementos Cantábrico.

El funcionamiento de estos barcos durante la descarga es el siguiente:

El cemento es extraído de las bodegas por los fondos fluidificados, diseñados de tal manera que lo conducen hacia las compuertas una por cada media bodega. El horizontal lo recoge y lo conduce hacia la caja baja zona también fluidificada, donde los verticales recogen el cemento, estos elevan el cemento hasta la denominada caja alta que es un repartidor fluidificado que lleva el cemento por medio de canaletas fluidificadas hacia las tolvas de las bombas FULLER, lugar donde se bombea el cemento, a los silos o naves de recepción de cemento en tierra, con lo que finaliza el proceso de descarga neumática de estos buques cementeros.

También tenemos en estos buques la descarga mecánica, la manera de realizarla es cerrando las de caídas a las bombas FULLER y abriendo la caída a unas canaletas con aerodeslizadores que partirán de la caja alta a los costados.

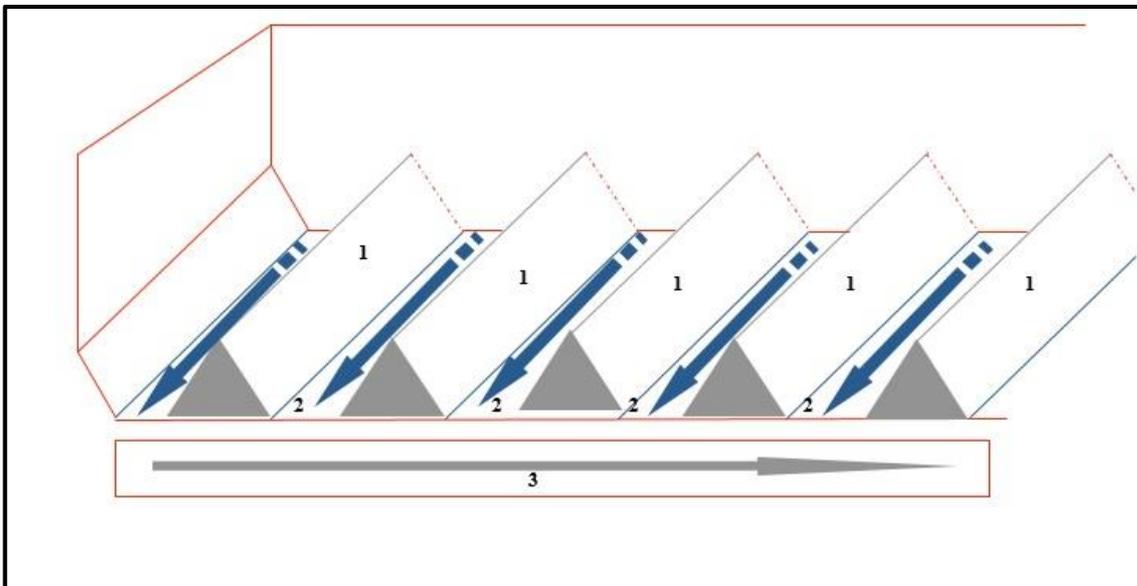


Figura 72. Esquema de las bodegas.

Estos barcos también pueden cargar neumáticamente mediante unas conexiones especiales que se ponen en las tomas mecánicas donde se conectan los camiones.

A continuación, mostraré varios ejemplos de este tipo de buques.

3.2.4.1 MV CEMENTOS CANTABRICO.

<u>M/N CEMENTOS CANTABRÍCO.</u>	
Año Construcción: 1976. Astillero: Astilleros Cantábrico y Riera. GT: 3375. Bandera: española.	Descarga: Neumática 2 bomba Fuller tipo H. 135 TM/h. Carga: Mecánica y Neumática. 2 tomas proa/popa (800 tph)



Figura 73. Vista del Cementos Cantábrico.

3.2.4.2 M/V CEMENMAR TRES

<u>M/N Cemenmar Tres.</u>	
Año Construcción: 1972 Astillero: Astilleros Cantábrico y Riera. GT: 1725. Bandera: española.	Descarga: Neumática 2 bomba Fuller tipo H. 90 t/h. Mecánica: 2 canaletas Aerodeslizadores 180 t/h. Carga: Mecánica y Neumática. 2 tomas proa/popa (300 tph)



Figura 74. Vista M/N Cemenmar Tres.

3.2.5 Tipo V

Este tipo de buques se basan en el empleo de fondos fluidificados de bodegas, bombas de tornillo neumáticas y no emplearan ningún elemento para elevar el cemento sobre cubierta.

A continuación, presentaré el esquema general de este tipo de buques que como siempre puede tener alguna variación.

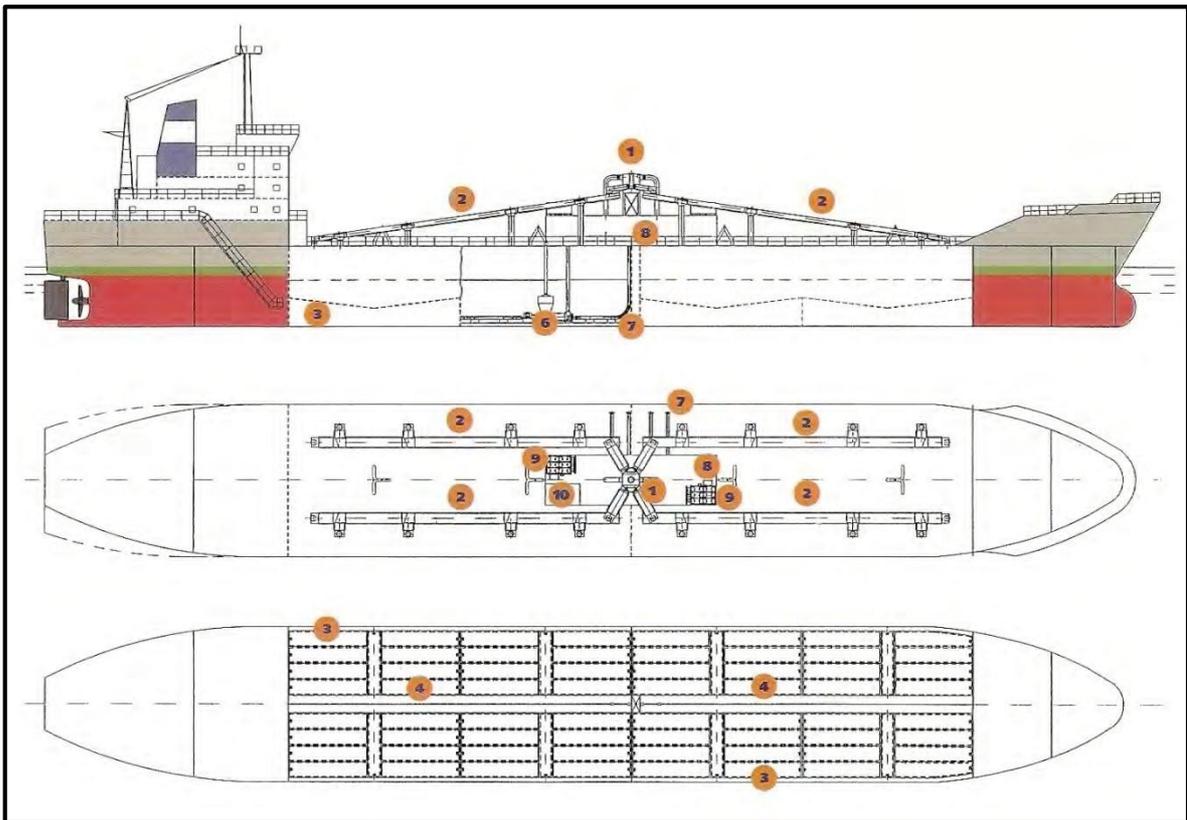


Figura 75. Buques Tipo V.

COMPONENTES DEL SISTEMA	
1. Sistema de recepción de la carga.	7. Líneas de transporte.
2. Canaletas, aerodeslizadores de carga.	8. Casetón con compresores.
3. Fondos de bodega fluidificados.	9. Colectores de Polvo (filtros)
4. Túnel entre las bodegas.	11. Sala de control funcionamiento maquinaria.
5. Bombas de tornillo en túnel.	
6. Bombas de tornillo neumáticas.	

Como en los anteriores casos hay elementos que no pueden ser sustituidos y otros que si entre ellos las canaletas de carga que pueden existir o no existir siendo sustituidas por horizontales o por tomas en cada bodega, o incluso no existir y solo tener carga neumática. En el esquema observamos que tenemos las bombas FULLER situadas en el túnel. Estas bombas se alimentan directamente de las compuertas de cada bodega para efectuar la descarga. Con esta instalación se eliminan los horizontales de proa y popa y los verticales, además el ritmo de descarga es mucho mayor porque se aumentan las líneas. Los demás elementos que constituyen el sistema de carga y descarga son los habituales.

3.2.5.1 M/V GOLIATH.

Este buque australiano solo presenta carga neumática ya que está diseñado para trabajar entre fábricas y silos de la zona por lo que la carga mecánica no fue instalada por decisión de los armadores. La planta de cemento de este buque está diseñada por IBAU Hamburgo.

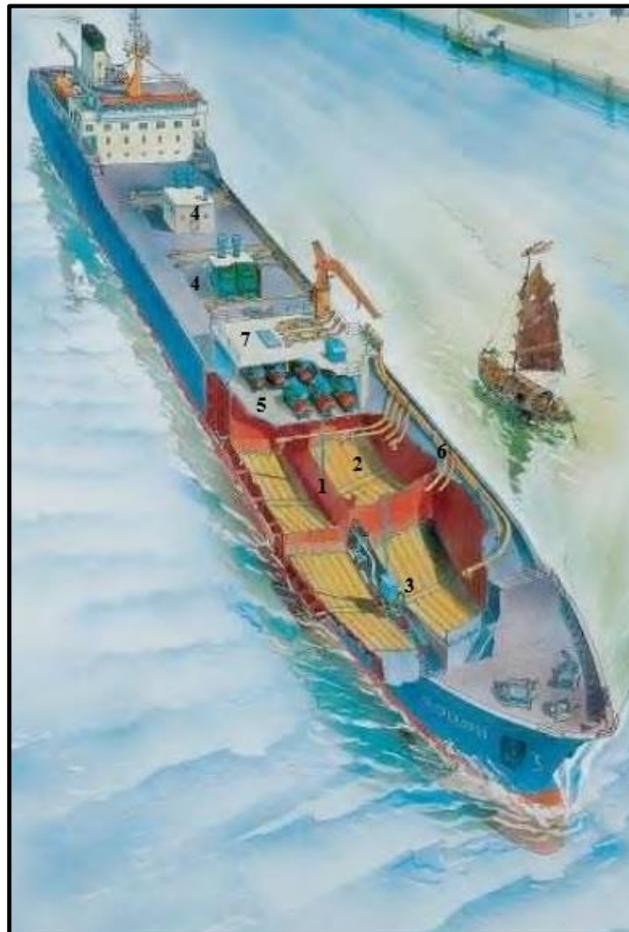


Figura 76. M/V Goliath.

En el dibujo del M/V Goliath podemos diferenciar todas las partes fundamentales de este tipo de buque cementero, (1) túnel entre las bodegas, (2) fondos fluidificados, (3) cada dos medias bodegas tenemos una bomba IBAU que será la encargada de la descarga del cemento, se alimentará de babor y estribor. Este desarrollo de buques lo realiza fundamentalmente IBAU Hamburgo, que crea esta filosofía de descarga anulando horizontales y verticales alimentando estos directamente la bomba IBAU en el túnel.

Podemos ver más elementos de importancia como son los filtros (4), los compresores de descarga (5) que serán usados también en este buque para la carga ya que suministrarán el aire a las bombas de descarga de tierra, las líneas de carga discurriendo por la cubierta (6) y las tomas de carga para suministrar a tierra aire de los compresores (7).

SISTEMA DE CARGA Y DESCARGA DEL M/V GOLIAT
A. Grúa para el manejo de las mangueras de carga y descarga, para facilitar las operaciones de conexión y desconexión.
B. Líneas de carga neumática sobre cubierta.
C. Estructura sobre cubierta con cuatro filtros y los ventiladores de descarga.
D. Estructura sobre cubierta con ocho compresores, suministradores de aire a las bombas.
E. Cuatro bodegas divididas por el túnel en babor y estribor.
F. Cuatro bombas IBAU y Ocho soplantes situadas en el túnel. (Rendimientos de descarga de 1000 t/h).

Añadiré ahora fotos del túnel del M/V Goliath donde se podrá apreciar las bombas y las compuertas de bodega además de una imagen de carga neumática, carga en la que se elimina cualquier emisión de polvo.



Figura 77. Bomba y compuertas M/V Goliath.



Figura 78. Carga neumática M/V Goliath.

3.2.6 Tipo VI.

Basados en fondos de bodegas con transportadores de cadena, verticales para elevar el cemento al nivel de cubierta y bombas de descarga.

Hasta este momento solo hemos visto barcos con los fondos de bodega fluidificados, dejando a un lado los de fondos con cadenas transportadoras. Este tipo de buque con fondos de cadena es el método menos habitual, pero existen.

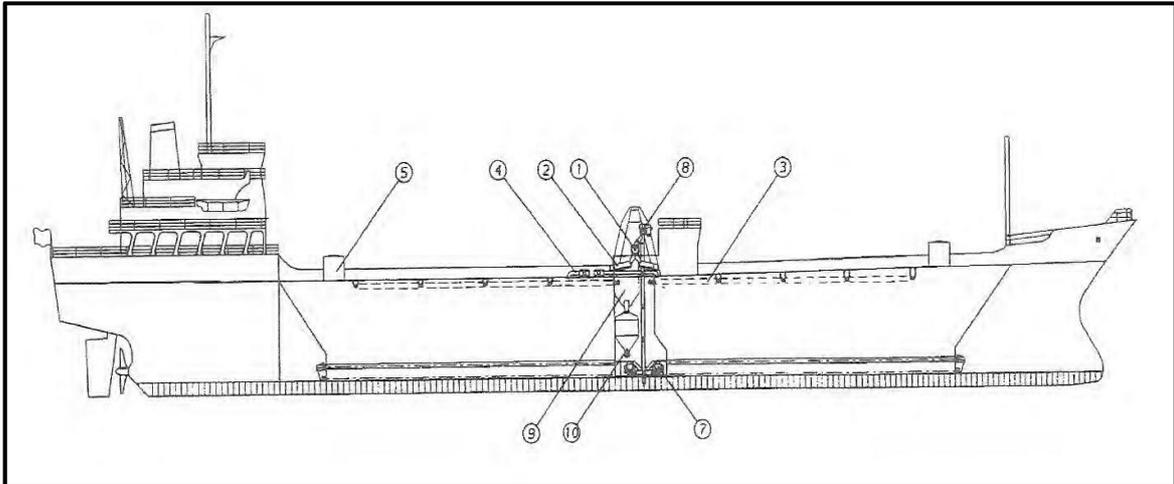


Figura 79. Esquema buque Tipo VI.

Para la carga mecánica el buque se conecta a la instalación de tierra mediante una conexión flexible sobre cubierta, esta conexión puede producirse por babor o estribor, esta conexión de paso a un horizontal (1) y desde ese punto el cemento puede fluir hacia las bodegas por medio de cuatro salidas (2) con válvulas para controlar el asiento. En cada bodega hay dos transportadores de tornillo abiertos colocados longitudinalmente (3) una para cada media bodega, que reparten el cemento durante la carga, estos transportadores están colocados bajo cubierta. El rendimiento es de 300 t/h.

La carga neumática se puede realizar a través de dos líneas (4), una para las dos bodegas de proa y otra para las dos bodegas de popa, cada línea está equipada con válvulas para el control de la escora y el asiento. Una vez superadas estas válvulas el camino del cemento hasta las bodegas es el mismo que con la carga mecánica. Dos filtros están instalados en el buque a proa y popa conectados directamente a las bodegas para la carga neumática. El rendimiento es de 700 y 1000 t/h.

Para la descarga mecánica los transportadores de cadena del fondo (7) conducen el cemento hasta una tolva en el medio del buque, un vertical (8) eleva el cemento hasta la cubierta desde este punto y de ahí lo descarga en el mismo horizontal de carga que está conectado a las instalaciones en tierra. El rendimiento es de unas 660 t/h.

Para la descarga neumática se repite el mismo proceso hasta el vertical que descargará el cemento ahora en una tolva (9) con fondo fluidificado que repartirá el cemento en los tanques de descarga neumática (10), descargando por una línea conectada a tierra por la banda de babor o estribor.



Figura 80.M/V Asia Cement 5.

Conclusión

Estudiar la fabricación, su manipulación y su transporte marítimo es de vital importancia a la hora de querer entender y comprender como funcionan esta industria que tiene gran relevancia en nuestro país ya que es un mercado en el que la industria cementera española tiene gran relevancia internacionalmente ya que nuestro país es uno de los principales exportadores de Clinker y de cemento de Europa.

Los objetivos de este Trabajo de Fin de Master eran:

- Realizar un estudio de la fabricación del cemento, así como de sus principales materias primas y los procesos por los cuales estas materias primas pasan de su estado original al del producto final.
- Analizar los distintos equipos mediante los cuales se realiza esta conversión y señalar sus principales características, así como su funcionamiento.
- Señalar los principales tipos de transportadores y sistemas de manipulación del cemento, sus principios físicos de funcionamiento y diferencia entre ellos, así como todo lo relacionado con las distintas fases y formas de transporte de esta materia.
- Por último, consistía en realizar una descripción de lo que puede llamarse buque cementero en general y realizar una descripción de los distintos tipos de buques cementeros que existen en la actualidad mediante la presentación de ejemplos de buques existentes.

Bibliografía.

Construmatica [Sitio Web]. Materiales de construcción. Cemento [Consulta: 23 Abril 2017].

Disponible en:

<http://www.construmatica.com/construpedia/Cemento>

ConcretOnline [Sitio Web]. Cementos / Cal [Consulta: 12 Mayo 2017].

Disponible en:

http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&task=view&id=2284

Stolzsa [Sitio Web]. Productos y servicio. Transporte neumático y fluidificado [Consulta: 20 Mayo 2017].

Disponible en:

<http://www.stolzsa.com/productos/transporte-neumatico-y-fluidificado-0>

Stolzsa [Sitio Web]. Productos y servicio. Almacenamiento [Consulta: 20 Mayo 2017].

Disponible en:

<http://www.stolzsa.com/productos/almacenamiento>

Stolzsa [Sitio Web]. Productos y servicio. Transporte mecánico [Consulta: 20 Mayo 2017].

Disponible en:

<http://www.stolzsa.com/productos/transporte-mecanico-0>

Holcim [Sitio Web]. Productos y Servicios. Cemento. Cemento, ¿Qué es? [Consulta: 02 Junio 2017].

Disponible en:

<http://www.holcim.es/editorials/proceso-de-fabricacion.html>

Scribd [Sitio Web]. BME Proceso de fabricación de cemento [Consulta: 25 Junio 2017].

Disponible en:

<https://snavarro.files.wordpress.com/2008/09/def-y-elaboracion-cemento.pdf>

Uniovi Virtual [Sitio Web]. Transportes Marítimos Especiales y Estiba (Máster Universitario en Ingeniería Náutica y Gestión del Transporte Marítimo) [Consulta: 03 Julio 2017].

Disponible en:

https://www.campusvirtual.uniovi.es/pluginfile.php/69015/mod_resource/content/1/Transporte%20de%20cemento%20con%20portada-2-LQ.pdf