

**DISEÑO DE UNA CAJA COMPACTADORA DE BASURA DE 8 YARDAS
CUBICAS (6.12 METROS CUBICOS) Y CONSTRUCCIÓN DE UN
PROTOTIPO**

JOHN JAIME SILVA MARULANDA

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.

2002

**DISEÑO DE UNA CAJA COMPACTADORA DE BASURA DE 8 YARDAS
CUBICAS (6.12 METROS CUBICOS) Y CONSTRUCCIÓN DE UN
PROTOTIPO**

JOHN JAIME SILVA MARULANDA

Trabajo de grado presentado como requisito, para optar al titulo de ingeniero
mecánico

Director
Jaime Torrado Casadiegos
Ingeniero Mecánico

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. y C.

2002

CARTAGENA OCTUBRE 16 DE 2001

SEÑORES:

COMITÉ DE EVALUACION DE PROYECTOS

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR

CIUDAD.

APRECIADOS SEÑORES:

Por medio de la presente me dirijo a ustedes con el fin de manifestarles que he dirigido el trabajo de grado titulado: **"DISEÑO DE UNA CAJA COMPACTADORA DE BASURA DE 8 YARDAS CUBICAS (6.12 METROS CUBICOS) Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO"**. El cual fue desarrollado por El estudiante **JOHN JAIME SILVA MARULANDA**, Como requisito para optar el titulo de Ingeniero Mecánico.

Atentamente

JAI ME TORRADO CASADI EGO
INGENIERO MECANICO

DIRECTOR

CARTAGENA OCTUBRE 16 DE 2001

SEÑORES:

COMITÉ DE EVALUACION DE PROYECTOS

CORPORACION UNIVERSITARIA TECNOLOGICA DE BOLIVAR

CIUDAD

APRECIADOS SEÑORES:

Con la presente me permito presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación, el proyecto de grado titulado "**DISEÑO DE UNA CAJA COMPACTADORA DE BASURA DE 8 YARDAS CUBICAS (6.12 METROS CUBICOS) Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO.** Para optar al titulo de INGENIERO MECANICO.

Atentamente

JOHN SILVA MARULANDA
CC. 9.096.418 de Cartagena

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

CARTAGENA, Octubre 16 de 2001

**A Jaime y Rosalba mis Padres Quienes
con mucho esfuerzo han Logrado hacer
de mi un profesional Y persona de bien
A Dios por la oportunidad de vivir en
este mundo. A mis hermanos, mi novia
y mis amigos.
JOHN.**

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos a:

Emerson Murillo ingeniero, jefe de mantenimiento de la empresa LIME, quien fue de gran ayuda, en la investigación, realización y culminación de este proyecto.

Juan Carlos Pérez ingeniero consultor de la empresa MOCER, por su valioso apoyo.

Angel Hernández por su valioso aporte en el campo de Autocad

Harold Silva medico cirujano y Juan Carlos Vergara ingeniero por su colaboración desmedida.

Edilberto Fortich y Belisario Beltran por su colaboración en la construcción del prototipo.

Y en especial a los trabajadores del **CONSORCIO LIME** quienes me prestaron una ayuda incondicional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
1. CONSORCIO LIME	1
1.1. VISION	1
1.2. MISION	1
1.3. POLITICAS DE CALIDAD	2
1.4. PRINCIPIOS	2
1.5. VALORES	3
1.6 RESIDUOS SOLIDOS	4
1.7 RIESGOS AMBIENTALES PARA LA SALUD	6
1.7.1 Riesgos directos que atentan contra la salud	7
1.7.2 Riesgos indirectos que atentan contra la salud	8
1.8 EFECTOS DE LOS RESIDUOS SOLIDOS EN EL AMBIENTE	8
1.9 SOLO EXISTEN DOS SOLUCIONES PARA LOS RESIDUOS DESTRUIRLOS O RECUPERARLOS	11

2.	CALCULOS	13
2.1.	SELECCIÓN DE LAMINAS LATERALES	13
2.2.	DI SEÑO DE LA PLACA COMPACTADORA	23
2.3.	DI SEÑO DE PERFILES	28
2.4.	DI SEÑO DEL CUERPO DE LOS CILINDROS	33
2.5.	DI SEÑO DEL VASTAGO DE LOS CILINDROS	35
2.6.	DI SEÑO DE PASADORES DE LA PLACA COMPACTADORA	38
2.7.	SELECCIÓN DE LOS CILINDROS COMPACTADORES	41
2.8.	SELECCIÓN DEL CILINDRO EYECTOR	44
2.9.	DI SEÑO DE LOS PASADORES DEL CILINDRO EYECTOR	54
2.10.	CALCULO DE LA PLACA EYECTORA	56
2.11.	CALCULO DE LAS LÁMINAS DEL PISO	60
2.12.	CALCULO DE LOS PERFILES DEL PISO	64
2.13.	SELECCIÓN DEL TOMA-FUERZA	72
2.14.	SELECCIÓN DE LA BOMBA	74
2.15.	DI SEÑO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO	77
2.16.	AJUSTES Y TOLERANCIAS EN LOS PASADORES DE LOS CILINDROS	82
3.	COSTOS ESTANDAR DE FABRICACION	87
3.1.	COSTO ESTANDAR	87

3.2	COSTO ESTANDAR DE UN PRODUCTO	88
3.3	DETERMINACION DE ESTANDARES	88
3.3.2	Estándar de cantidad y precio de materiales directo	88
3.3.3	Estándar de calidad y precio de mano de obra	90
3.4	COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACION	92
3.4.1	Estándar del costo de mano de obra indirecta	92
3.5	COSTO TOTAL DE FABRICACION	93
3.6	COSTOS INDIRECTOS DE OPERACIÓN	93
3.7	TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN	94

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Presiones de residuos generadas por presiones de los cilindros.	20
Cuadro 2. Espesores de láminas para diferentes porcentajes de presión.	22
Cuadro 3. Coeficiente de fricción	48
Cuadro 4. Tomafuerzas para Chevrolet NPR	73
Cuadro 5. Fases del circuito hidráulico	78
Cuadro 6. Materiales directos para la fabricación de la caja compactadora de basura	89
Cuadro 7. Mano de obra directa para la caja compactadora de Basura	91
Cuadro 8. Resumen costo total mano de obra directa	91
Cuadro 9. Costos indirectos de fabricación	92
Cuadro 10. Mano de obra indirecta	92
Cuadro 11. Resumen mano de obra indirecta	93
Cuadro 12. Costo total de fabricación	93
Cuadro 13. Costos indirectos de operación (operadores)	93

Cuadro 14	Resumen costo total de operación (operadores)	94
Cuadro 15.	Costos indirectos de operación (mantenimiento)	94
Cuadro 16.	Costo total de operación	94

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distancia de apoyos	14
Figura 2. Sistema de fuerzas	16
Figura 3. Deflexiones	23
Figura 4. Fuerza sobre la placa compactadora	26
Figura 5. Placa compactadora	27
Figura 6. Fuerza distribuida a través de la lámina	28
Figura 7. Diagrama de momento de la fuerza distribuida	29
Figura 8. Diagrama de momento apoyo	29
Figura 9. Superposición de fuerzas	30
Figura 10. Acción de la fuerza en el perfil	31
Figura 11. Situación de apoyo de la columna	32
Figura 12. Cilindro de pared gruesa	33
Figura 13. Fuerza distribuida sobre el perfil	34
Figura 14. Descripción del cilindro	41
	pág.

Figura 15. Fricción sobre las paredes de las placas	47
Figura 16. Normales entre la superficies	51
Figura 17. Angulo de aplicación de la fuerza	53
Figura 18. Longitud del cilindro	56
Figura 19. Fuerzas en la placa eyectora	57
Figura 20. Representación de la carga en la placa eyectora	58
Figura 21. Dimensiones de la placa apoyada en perfiles Configuración 1.	61
Figura 22. Dimensiones láminas piso	62
Figura 23. Distribución de apoyos	63
Figura 24. Distribución de fuerzas sobre el perfil	64
Figura 25. Diagrama de momento y esfuerzo cortante	65
Figura 26. Diagrama de movimiento	79
Figura 27. Válvula de tres posiciones	80
Figura 28. Sistema hidráulico	81

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Distancia de apoyos	14
Figura 2. Sistema de fuerzas	16
Figura 3. Deflexiones	23
Figura 4. Fuerza sobre la placa compactadora	26
Figura 5. Placa compactadora	27
Figura 6. Fuerza distribuida a través de la lámina	28
Figura 7. Diagrama de momento de la fuerza distribuida	29
Figura 8. Diagrama de momento apoyo	29
Figura 9. Superposición de fuerzas	30
Figura 10. Acción de la fuerza en el perfil	31
Figura 11. Situación de apoyo de la columna	32
Figura 12. Cilindro de pared gruesa	33
Figura 13. Fuerza distribuida sobre el perfil	34
Figura 14. Descripción del cilindro	41
	pág.
Figura 15. Fricción sobre las paredes de las placas	47
Figura 16. Normales entre la superficies	51

Figura 17. Angulo de aplicación de la fuerza	53
Figura 18. Longitud del cilindro	56
Figura 19. Fuerzas en la placa eyectora	57
Figura 20. Representación de la carga en la placa eyectora	58
Figura 21. Dimensiones de la placa apoyada en perfiles Configuración 1.	61
Figura 22. Dimensiones láminas piso	62
Figura 23. Distribución de apoyos	63
Figura 24. Distribución de fuerzas sobre el perfil	64
Figura 25. Diagrama de momento y esfuerzo cortante	65
Figura 26. Diagrama de movimiento	79
Figura 27. Válvula de tres posiciones	80
Figura 28. Sistema hidráulico	81

LISTA DE ANEXOS

		Pág.
Anexo A	Propiedades de los perfiles.	95
Anexo B	Cilindros hidráulicos	96
Anexo C	Especificaciones Técnicas de Laminas	97
Anexo D	Ficha técnica cilindros de una etapa	98
Anexo E	Ficha técnica cilindros de varias etapas	99
Anexo F	Láminas Hot Rolled	100
Anexo G	Ficha técnica Chevrolet NPR	101
Anexo H	Nomenclatura tomafuerza	102
Anexo J	Diagramas de bombas.	103

CONCLUSIONES

Se concluye que el equipo diseñado sirve para trabajar en zonas de difícil acceso, esto gracias a su tamaño y peso lo cual permite un margen mayor de acción sobre la ciudad de Cartagena.

Su diseño contribuye a un mejor servicio en esta ciudad y un mejor desempeño del trabajo a cargo de la empresa CONSORCIO LIME S.A., por lo tanto, se concluye que es de vital importancia en cuanto al problema de contaminación ambiental se refiere.

1. CONSORCIO LIME

1.1 VISION.

LIME Cartagena será empresa líder en el manejo integral del ambiente y servicios especiales de residuos sólidos, domésticos, industriales, patógenos y otros que se produzcan en la ciudad de Cartagena, Mantendrá coberturas acorde con el avance del crecimiento poblacional siendo altamente competitiva y rentable con el uso de tecnologías de punta para el aprovechamiento de los mismos, como en transformación de energía y otras materias primas.

1.2 MISION,

Somos una organización privada líder en la prestación del servicio público de Aseo. Nos proyectamos como una empresa de manejo Integral de residuos Sólidos, Comprometidos con el bienestar del usuario en materia de salud ambiental. Trabajamos y nos esforzamos por una Cartagena sin basuras, proporcionando en operarios y empleados del sistema, niveles de desarrollo personal y organizacional, mediante el uso racional de los recursos y la aplicación de nuevas tecnologías.

Logramos con nuestro compromiso ser una empresa eficiente, eficaz y rentable, satisfaciendo las expectativas de los propietarios y demás organizaciones con las que interactúa.

1.3 POLITICAS DE CALIDAD.

Nuestras políticas de calidad están enmarcadas en el fiel cumplimiento de la visión, de la misión, de los principios y de los valores definidos por el comité gerencial y aprobados por la gerencia general.

Es el compromiso de los que integramos LIME Proyecto Cartagena, respetar, cumplir y revisar periódicamente, esta política de calidad para el crecimiento organizacional y personal.

1.4 PRINCIPIOS

- **DESARROLLO SOSTENIBLE.** Es la capacidad de generar desarrollo mediante la aplicación de tecnologías equilibradas para la permanencia de futuras generaciones en un ambiente sano.
- **RESPECTO POR EL OTRO,** Compartir los límites establecidos por el consorcio a través de sus políticas, normas y procesos educativos continuos, que fomenten la participación, la convivencia y el compromiso.
- **AMOR POR EL TRABAJO.** Realizar el trabajo con convicción, entusiasmo, compromiso y creatividad.
- **CULTURA DEL SERVICIO.** Es desarrollar un lenguaje común alrededor de la prestación del servicio de aseo. Conjunto de actividades alrededor del servicio para el otro, " El limpia la ciudad", "Mantiene limpia la ciudad".
- **CALIDAD.** Entendida como la filosofía de hacer las cosas bien bajo los parámetros de eficiencia y competitividad establecidos por la organización, para satisfacer las necesidades del servicio del aseo de la comunidad cartagenera y demás grupos poblacionales en su área de influencia.

1.5 VALORES.

- **RESPONSABILIDAD.** Es la capacidad de sentirse obligados a dar una respuesta o a cumplir un trabajo sin presión externa alguna.
- **HONESTIDAD.** Es ser consecuente, pensar y actuar por parte de cada una de las personas que integran la organización, generando espacios que fomenten la comunicación y permitan negociaciones frente a objetivos y resultados.
- **CONFIANZA.** Se manifiesta cuando la persona se siente respetada, comprometida, alentada y acogida, en el contexto de una relación dialogante y respetuosa.
- **LEALTAD.** Es la reciprocidad que se manifiesta con actitudes positivas, comportamientos y compromisos para con la empresa, y de esta para con cada uno de sus empleados.

1.6 RESIDUOS SOLIDOS

El origen de la agricultura y de la ganadería en el llano neolítico, permitió al ser humano independizarse de los recursos naturales “espontáneos” para su subsistencia, evitándole además el desplazamiento constante en busca de los mismo e inaugurando la era del transporte y almacenamiento lejos de su lugar de origen.

Al amparo de una mayor seguridad en el alimento y menor desplazamiento obligado, van surgiendo sociedades más estables que dan lugar a un crecimiento poblacional " programado". Como consecuencia de ellos, los ciclos naturales de la materia y de la energía se van alterando, y la acumulación de residuos va teniendo progresivamente mayores dificultades para ser descompuesta y reciclada. El ser humano a pesar de su elevada biomasa (gran tamaño y peso) actúa solo como productor y consumidor y nunca como descomponedor.

Durante siglos, las sociedades rurales han producido básicamente alimentos de fácil asimilación y descomposición, así como también bienes duraderos, tomados a partir de materias primas naturales (madera, cuero, algodón, lana, etc.) o escasamente transformadas (hierro, cuero, algodón, lana, etc.), aprovechando la energía en cantidades producida. El residuo así generado era escaso y fácilmente reciclable: resto de alimento que se daban como alimento al ganado, restos agrícolas o excrementos para abonar la tierra, etc.

Las sociedades actuales urbanas producen una gran cantidad de residuos, muchos de los cuales por sus características son difíciles de reciclar a

diferencia de los provenientes de áreas naturales. Por lo tanto se presenta un enorme volumen de residuos que no alcanzan a ser asimilados por la naturaleza en un corto lapso y por lo tanto, al no existir mecanismos de reutilización la deterioran.

1.6 RIESGOS AMBIENTALES PARA LA SALUD

El problema de los residuos sólidos, en la gran mayoría de los países, y particularmente en determinadas regiones de América Latina, se agrava como consecuencia del acelerado crecimiento de la población y una concentración desmesurada en las áreas urbanas, así como de un desordenado desarrollo industrial, a cambios no contemplados en los hábitos de consumo, y a la ausencia de planificación urbana. Igualmente, influyen otra serie de factores que conllevan a la contaminación del medio ambiente y al deterioro de los recursos naturales.

Desafortunadamente, en la mayoría de los casos, el desarrollo de cualquier región viene acompañado de una mayor producción de residuos sólidos, los cuales si no se controlan y manejan adecuadamente afectan la salud de la

comunidad; Por lo tanto, este se constituye en un motivo esencial para que se implementen las soluciones satisfactorias para realizar una correcta gestión y resolver los problemas de su manejo y disposición final.

La preponderancia de los residuos sólidos como causa directa de enfermedades no está bien determinada. Sin embargo, se les atribuye una incidencia importante en la transmisión de algunas enfermedades. Para comprender con mayor claridad los efectos de los residuos sólidos en la salud de las personas, es necesario distinguir entre los riesgos directos e indirectos.

1.7.1 Riesgos directos que atentan contra la salud. Estos riesgos son ocasionados por el contacto directo con la basura, la cual, a veces, contiene excrementos humanos y de animales; la personas más expuestas son los recolectores, debido a la manipulación de recipientes inadecuados para el almacenamiento de desechos, al uso de equipos inapropiados y la carencia de ropa limpia, guantes y zapatos de seguridad. En esta misma situación se encuentran los segregadores, cuya actividad de separación y selección de materiales es realizada en las peores condiciones sin la más mínima protección. En necesario anotar que en todas estas personas se muestra una incidencia más alta de parásitos intestinales que en el público en general, presentándose una

ocurrencia mayor de lesiones que las de trabajadores del sector industrial, sobre todo en manos, pies así como la aparición de enfermedades respiratorias y en la piel, entre otras.

1.7.2. Riesgos indirectos que atentan contra la salud. Los riesgos causados por el manejo inadecuado de basuras son principalmente indirectos, y afectan al público en general. Ellos se originan por la proliferación de vectores sanitarios tales como moscas, mosquitos, ratas y cucarachas, que encuentran en los residuos sólidos su alimento y las condiciones adecuadas para su reproducción.

Alimentar animales con basuras (cerdos, aves, etc.), es una práctica no recomendable como mecanismo de eliminación de la basura, puesto que se corre el riesgo de deteriorar la salud de las personas. El consumo de cerdos alimentados con basuras causa en los seres humanos enfermedades tales como la triquinosis, cisticercosis, etc.

1.7 EFECTOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL AMBIENTE.

El efecto ambiental más obvio en el manejo inadecuado de la basura es el deterioro estético de las ciudades y el paisaje natural. La degradación del paisaje ocasionada por la basura dispersa, va en aumento cada vez más, deteriorando nuestros ya mermados lugares de solaz y esparcimiento.

- **Contaminación del agua.** Uno de los efectos ambientales más serios consiste en la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ocasionado por la disposición de residuos a los ríos y quebradas y por el líquido percolado "lixiviado" de los botaderos de residuos a cielo abierto.

La descarga de los residuos a las corrientes de agua, incrementan la carga orgánica y disminuye el oxígeno disuelto, aumenta los nutrientes (N,P) y por consiguiente las algas que dan lugar a la eutroficación; Igualmente, causa la muerte de peces, genera malos olores y deteriora el aspecto estético. A causa de esta circunstancia, en muchas ocasiones se ha perdido este recurso tan importante para el abastecimiento o para la recreación de la población.

- **Contaminación del suelo.** Se presenta un deterioro estético y se desvaloriza el terreno sometido al abandono y acumulación de los desechos

sólidos así como las áreas vecinas. Por otro lado se contamina el suelo debido a las distintas sustancias depositadas allí, sin ningún control.

- **Contaminación del aire.** En botadero a cielo abierto es evidente el impacto negativo causado por los residuos, debido a los incendios y humos que reducen la visibilidad, siendo causa de irritaciones nasales y de la vista, así como el incremento en las afecciones pulmonares, además de las molestias originadas por los malos olores.
- **Aspectos administrativos.** Uno de los indicadores que a primera vista reflejan la salud y la calidad de vida de una población es el estado de limpieza y belleza de su ciudad. El manejo de sus residuos y la disposición sanitaria final, determinan en consecuencia la calidad de la administración local y la eficiencia de sus dirigentes así como, obviamente, de quien presenta la primera autoridad, el Alcalde. A través del servicio público de aseo se puede evaluar la voluntad política, la capacidad de gestión y su responsabilidad para brindar la debida protección de la salud pública a los trabajadores, además de obtener un buen aspecto y protección del ambiente en su localidad.

1.8 SOLO EXISTEN DOS SOLUCIONES PARA LOS RESIDUOS: DESTRUIRLOS O RECUPERARLOS.

La eliminación es algo ficticio, pues se basa en la disposición controlada o la incineración, y estos sistemas no eliminan del todo los residuos, sino que los esconden o los transforman en algo inútil y perjudicial para el entorno.

El relleno sanitario es un enterramiento digno, técnicamente preparado para evitar en teoría el máximo de contaminación. Este es un objetivo raramente alcanzado, y en realidad se convierte en un camuflaje del problema. La incineración no es otra cosa que transformar los residuos mediante un complicado, costoso y muchas veces peligroso sistema, en escorias y gases, necesiándose de nuevo el relleno sanitario para eliminar parte de la contaminación y aprovechar energéticamente en alguno de los casos el calor producido.

Disposición controlada e incineración son dos actividades que trasladan el problema de la actividad al entorno con cierta diplomacia, manteniendo la apariencia de la solución e incluso siendo prestados como métodos de "eliminación" de los residuos. Una vez más, la utilización del lenguaje sirve de cobertura a la mentira, ya que la eliminación como tal no existe.

2. CALCULOS

2.1 SELECCIÓN DE LAMINAS LATERALES

Las láminas laterales de la caja compactadora se encuentran sometidas a una presión uniforme a través de toda su área, por esta razón se seleccionan bajo el criterio de placa rectangular sometida a una presión uniforme y apoyada en su perímetro.

Para la selección de las láminas se toma como una situación de máxima carga el momento en el que el compactador esté lleno, ya que al haber menos espacios vacíos se efectúa una transmisión máxima de la carga a los elementos involucrados en la compactación.

Para la selección de la lámina se tiene la siguiente ecuación:

$$s = \frac{2 * a^2}{a^2 + b^2} * P_R * \frac{b^2}{t^2}$$

Ec. 2.1¹

de donde:

s: esfuerzo de flexión

a y **b**: dimensiones de la lámina

P_R: presión ejercida por los residuos sólidos

t : espesor de la lámina

Se calcula la presión ejercida sobre la lámina mediante el análisis de las fuerzas que se ejercen durante el funcionamiento del sistema.

La geometría de la caja mostrada en la figura 1 nos indica las distancias que sirven para calcular el ángulo de aplicación de la carga en el momento de máxima carga.

¹ ESTADOS UNIDOS. UNITED STATES OF NAVAL INSTITUTE. Fundamentos de construcción naval y estabilidad del buque. Annapolis, Maryland – U.S.A. 203p.

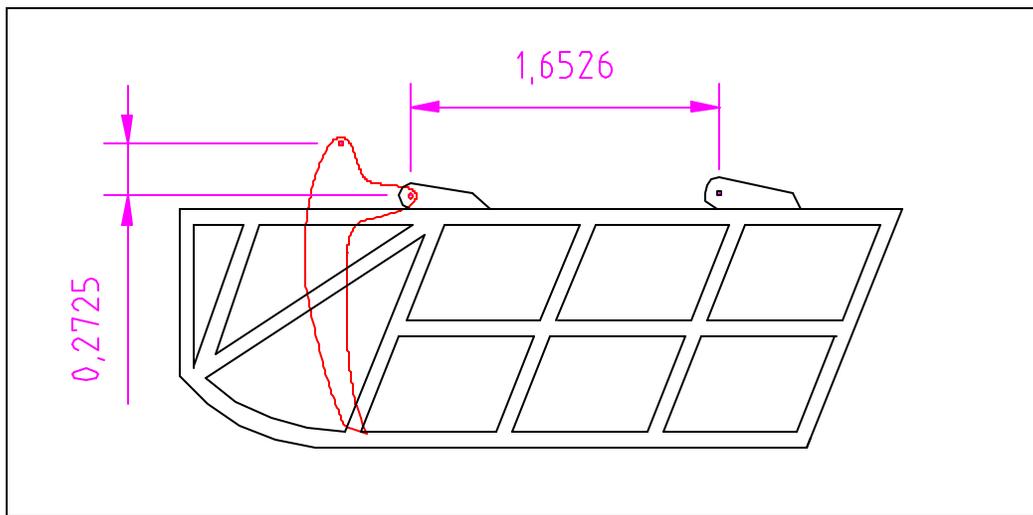


Figura 1. Distancias entre apoyos

Analizando el sistema de fuerzas mostrado en la figura 2 se tiene que haciendo momento en el punto de pivoteo de la placa compactadora (punto A) resulta la siguiente ecuación:

$$10.73'' * F_{cx} + 14.214'' * W = 20.6331 * F_R + 14.633'' * F_{cy} \quad \text{Ec. 2.2}$$

resolviendo:

$$F_c * ((10.73'' * \cos 21.32) - (14.633'' * \sen 21.32)) = 20.6331 * F_R - 14.214'' * W$$

$$4.68 * F_c = 20.6331 * F_R - 14.214'' * W$$

La presión es ejercida por dos cilindros por tanto el término que involucra la presión de estos debe ser multiplicado por el número de cilindros.

$$9.36 * F_c = 20.6331 * F_R - 14.214 * W \quad \text{Ec. 2.3}$$

de donde:

F_c : Fuerza ejercida por el cilindro

F_R : Fuerza ejercida por los residuos sólidos

W : peso de la placa compactadora

Se calcula el peso de la placa compactadora asumiendo láminas de 3/16 in (4.7625 mm).

El volumen es:

$$V = 994 \text{in}^3 : 0.0163 \text{m}^3$$

Para el cálculo del peso se selecciona una placa de acero ASTM-A36 con una densidad de 0.283 lb/in³ (7860 Kg/m³), dicho material es comercial, por tanto ideal para los objetivos de diseño.

El peso es:

$$W = m * g \quad \text{Ec. 2.4}$$

de donde:

m : masa

g : gravedad

para el cálculo de la masa se tiene que:

$$m = \rho * V \quad \text{Ec. 2.5}$$

de donde ρ es la densidad del material.

el peso equivale a:

$$W = 282.35lb_f : 4093.1Kg$$

Ahora incluyendo este valor en Ec. 2.2:

$$9.36 * F_c = 20.6331 * F_R - 4013.34 \quad \text{Ec. 2.6}$$

Se procede a desarrollar un cuadro en el cual a diferentes presiones en los cilindros se producen diferentes presiones de los residuos contra los elementos involucrados.

Se calcula la fuerza en los cilindros mediante la Ecuación:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 2.7}$$

de donde el área se calcula para unos cilindros de diámetro 4":

$$A = p * r^2 \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$A = p * 2^2 = 12.57in^2$$

además el área de la placa compactadora es:

$$A_p = 1694.6775in^2 : 1.093m^2$$

a continuación se desarrolla una tabla la cual considera que el equipo de compactación trabaja con bajas relaciones de compactación por tanto el rango de presiones en el cual se maneja está dentro de los límites designados dentro del cuadro.

Cuadro 1. Presiones de residuos generadas por presiones de los cilindros

P_C p.s.i.	F_C Lb	F_R Lb	P_R p.s.i.
500	6285	3045.64	1.797
600	7542	3615.83	2.13
650	8170.5	3901	2.302
700	8799	4186.1	2.47
750	9427.5	4471.2	2.638
800	10056	4756.31	2.81
900	11313	5326.54	3.143
1000	12570	5896.8	3.4795

En donde P_C presión del cilindro, F_C es la fuerza del cilindro, F_R fuerza de los residuos, P_R es la presión de los residuos.

Por las características de los residuos sólidos se tiene que a medida que el cilindro se extiende, la placa compactadora ejerce una presión sobre esto, la cual va aumentando gradualmente mientras se ocupan los espacios vacíos en el volumen de residuos.

La presión que es ejercida sobre las paredes se incrementa al disminuir los espacios vacíos, por lo tanto, se activará una válvula de alivio en el cilindro eyector (este ejerce contrapresión por su estado estático), permitiendo que la placa eyectora retroceda y así la presión ejercida por los residuos sobre todos los elementos disminuya.

Se toma 600 p.s.i. como presión de compactación, posteriormente se comprobará si la presión cumple con las exigencias de trabajo.

Retomando la Ec. 2.1, se tiene que para el momento crítico de mayor carga (cuando el compactador está lleno) los datos para la ecuación son:

$$s = \frac{2 * a^2}{a^2 + b^2} * P_R * \frac{b^2}{t^2}$$

Ec. 2.1

$$a = 47.65''$$

$$b = 24.6''$$

$$s = 36000 \text{ p.s.i. límite elástico del acero ASTM-A36}$$

Se analiza ahora la variación en los valores del espesor de la lámina a medida que se someta esta a presiones diferentes. En el cuadro 2 se tiene la variación

de la presión de los residuos a diferentes porcentajes de la presión transmitida para una presión en los cilindros de 600 p.s.i. En el diseño se utiliza un factor de seguridad de 1.5², para cálculo de rotura, fatiga o deformación.

Cuadro 2. Espesores de lámina para diferentes porcentajes de presión.

%	P_R 2.13 p.s.i	pulgadas
10	0.213	0.0921
20	0.426	0.1302
30	0.639	0.159
40	0.852	0.184
50	1.065	0.2059
60	1.278	0.225
70	1.491	0.244
80	1.704	0.2605
90	1.917	0.276
100	2.13	0.2912

Del cuadro anterior podemos observar que los espesores de lámina son grandes, para compactaciones bajas, por tanto, la transmisión de la presión de los residuos a las paredes de la caja genera desperdicio de espacio, lo cual a su vez genera más horas de trabajo en la recolección de los residuos sólidos.

Como es sabido si se apoya una lámina por su perímetro y se somete a una presión, dicha lámina tiende a flexarse, entonces, se hace necesario aumentar

² NI EMAN G. Elementos de Máquinas Volumen I, Proyecto y cálculo de uniones, cojinetes y árboles, Edit Labor S.A. 1987. P 85.

el número de apoyos de la lámina para disminuir el área que soporta la presión y por tanto esta área menor soportará mayor presión ver Figura 3.

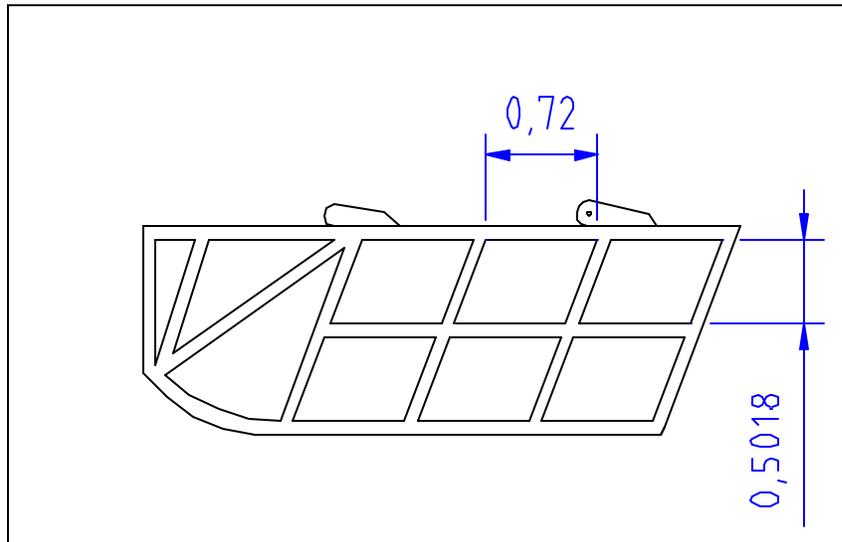


Figura 3. Configuración de varios apoyos

El siguiente procedimiento se realizó para diferentes números de apoyos, siendo el siguiente el más aceptable para las condiciones de trabajo. Los datos que se utilizan para la ecuación 2.1 son:

$$a = 14.17''$$

$$b = 9.878''$$

$$s = 36000 \text{ p.s.i. límite elástico de acero ASTM-A36}$$

$$\text{F.S.} = 1.5$$

Luego:

$$s = \frac{2 * a^2}{a^2 + b^2} * P_R * \frac{b^2}{t^2}$$

Ec. 2.1

$$\frac{36000}{1.5} = \frac{2 * 14.17^2}{14.17^2 + 9.878^2} * P_R * \frac{9.878^2}{t^2}$$

Ec. 2.9

$$t = 0.108in \quad : \quad 2.74mm$$

Estandarizando el valor anterior se tiene una lámina de 1/8 in (3,175 mm).

En el momento en que se esté transmitiendo la presión máxima graduada se accionará la válvula de alivio del gato eyector y por tanto, empezará su carrera de retracción disminuyendo así la presión sobre las láminas laterales.

2.2. DISEÑO DE LA PLACA COMPACTADORA

A continuación se verifica si la lámina que se asumió en los cálculos de la presión a los residuos sólidos es la más indicada para el diseño, ver figura 4.

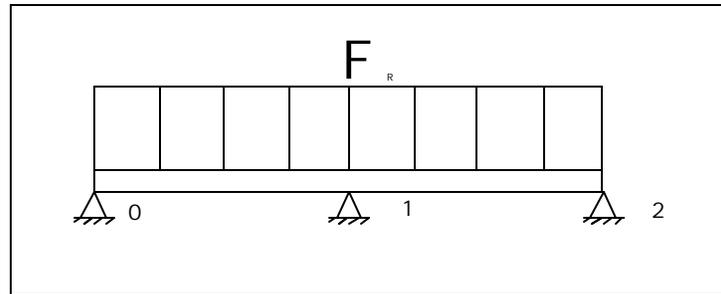


Figura 4. Fuerza sobre la placa compactadora

Utilizando la Ecuación 2.1 véase Figura 4 conociendo que:

$$a = 25.19''$$

$$b = 16.435''$$

$$P = 2.13 \text{ p.s.i.}$$

$$s = \frac{2 * a^2}{a^2 + b^2} * F_R * \frac{b^2}{t^2}$$

Ec 2.1³

³ UNITED STATE OF NAVAL I NSTITUTE. Op. cit. p. 203

reemplazando los valores y con un factor de seguridad de 1.5^4 , para cálculo de rotura, fatiga o deformación.

$$s = \frac{2 * (25.19)^2}{(25.19)^2 + (16.435)^2} * 2.13 * \frac{(16.435)^2}{0.185^2} * 1.5$$

$$s = 34436.24 \text{ psi.} : 237.43 \text{ MPa}$$

Como el esfuerzo máximo es menor que el admisible se tiene entonces que la lámina de $3/16$ in (4.7625 mm) cumple con las exigencias del trabajo.

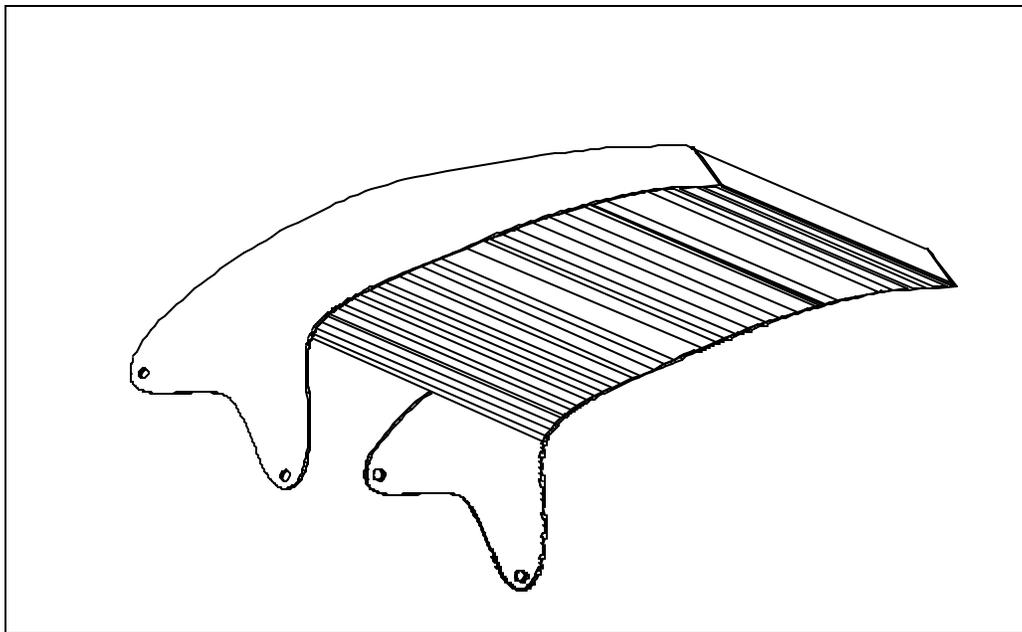


Figura 5. placa compactadora

⁴ NI EMAN G. Op. cit. p 85.

2.3 DISEÑO DE PERFILES

Las paredes de la caja compactadora se encuentran sometidas a presiones uniformes distribuidas a través del área. Se procede luego a calcular las reacciones de la pared señaladas en la Figura 6.

Mediante el teorema de los tres momentos se hallan las reacciones.

El diagrama de momento de una carga distribuida es una parábola en la cual el momento máximo es $PL^2/8$ por tanto el diagrama es el indicado en la Figura 7.

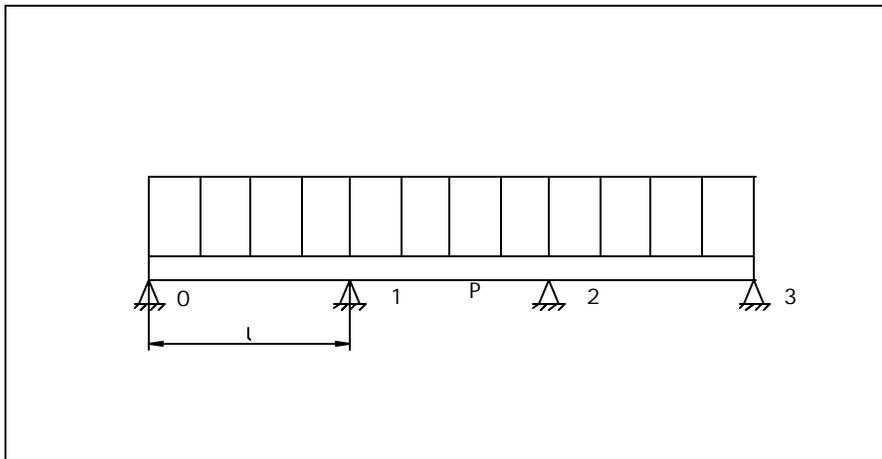


Figura 6. Fuerza distribuida a través de la lámina

Para una viga con carga centrada apoyada en sus extremos será la mostrada en la Figura 8 por tanto mediante superposición se tiene la Figura 9.

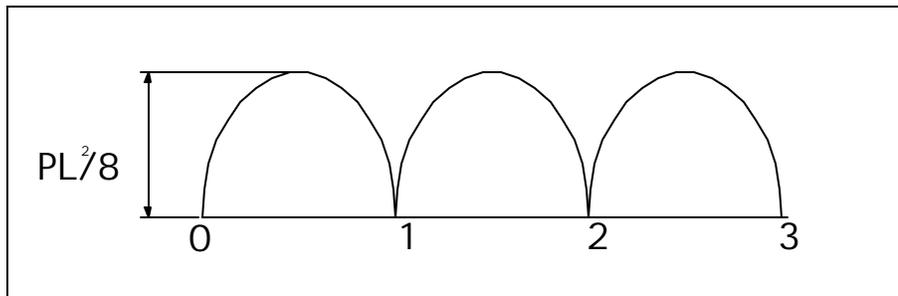


Figura 7. Diagrama de momento de la fuerza distribuida

La magnitud del momento en la Figura 8 es $PL^2 / 10$.

Por tanto del teorema de los tres momentos y resolviendo se tiene que para

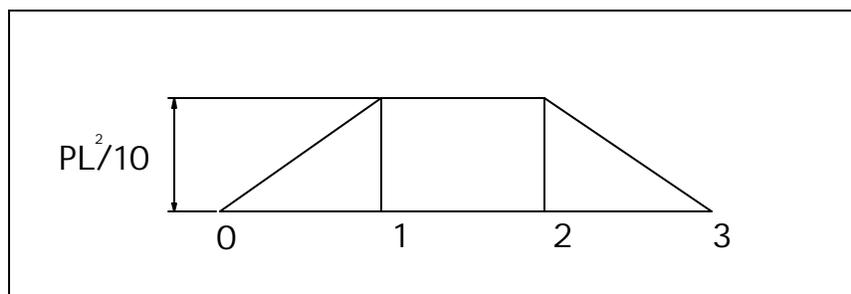


Figura 8. Diagrama de momento apoyos

los dos tramos de la izquierda:

$$4 * M_1 * l + M_2 * l = -\frac{P * l^3}{2} \quad \text{Ec. 2.10}$$

por condiciones de simetría $M_1 = M_2 = -P * L^2 / 10$; luego;

$$R_1 = \frac{11 * P * l}{10} \quad \text{Ec. 2.11}$$

por simetría $R_0 = R_3$ y $R_1 = R_2$, y puesto que la sumatoria de las reacciones debe

ser igual a $3 * P * l$; $R_0 = R_3 = 4 * p / 10$

el momento máximo es $P \cdot l^2 / 8$

Ec. 2.12

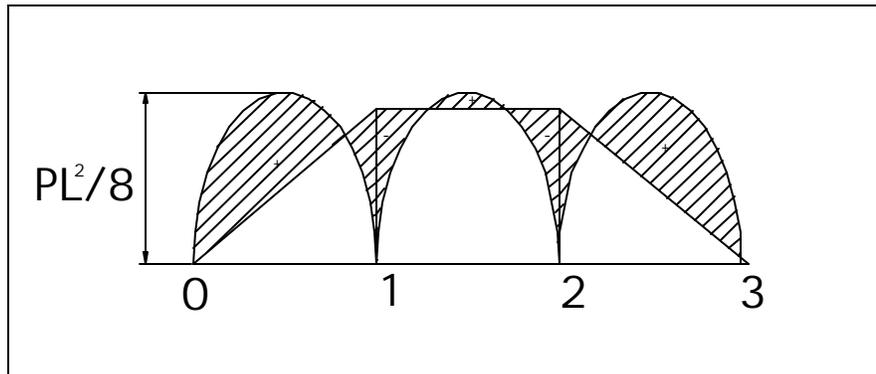


Figura 9. Superposición de fuerzas

$$p = \frac{Pr \cdot Ap}{4 \cdot Lp} = \frac{2.13 \cdot (49.2 \cdot 95.3)}{4 \cdot 41.3} = 60.45Lb$$

Ec. 2.14

La condición de carga de los perfiles está indicada por la Figura 10 en donde:

$$R = \frac{11 \cdot P \cdot L}{10} = \frac{11 \cdot 60.45 \cdot 25.6}{10} = 1702.4Lb$$

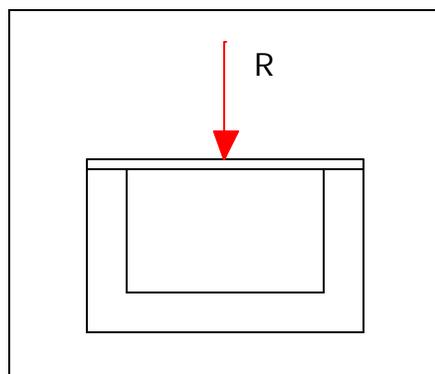


Figura 10. Acción de la fuerza en el perfil

A lo largo del perfil se distribuye uniformemente esta fuerza con una magnitud de:

$$R = \frac{1702.4}{41.3} = 41.22 \text{ lb/in} \quad \text{Ec. 2.15}$$

en la Figura 11 observamos la distribución de esta fuerza.

Como el esfuerzo es:

$$s = \frac{M}{S} = \frac{P * l^2}{S} = 36000 \quad \text{Ec. 2.16}$$

entonces:

$$S = \frac{41.22 * (41.3)^2}{36000} = 0.24 \text{ in}^3$$

del anexo A propiedades de los perfiles laminados de acero se toma:

C4 x 5.4 por ser comercial y cumplir con las condiciones de diseño.

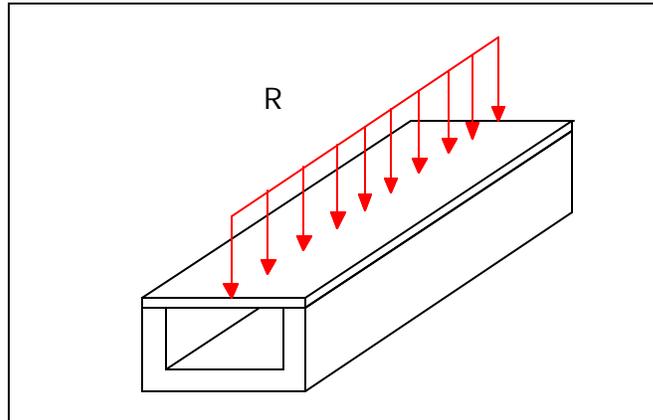


Figura 11. Fuerza distribuida sobre el perfil

2.4 DISEÑO DEL CUERPO DE LOS CILINDROS.

El cuerpo del cilindro se diseña bajo el criterio de cilindro de pared gruesa.

La presión ejercida por los cilindros es empleada como parámetro inicial de diseño y puesto que estos cilindros están sometidos a esfuerzos que generan fatiga se diseñan teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$P = 2S_{sy} * Ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) \quad \text{Ec. 2.17}^5$$

se toma un acero ASTM-A36 y con un factor de seguridad de 2^6 , para el cálculo de rotura o fatiga de los cilindros compactadores:

$$2 * 600 = 2 * 36x10^3 * Ln\left(\frac{r_i + e}{r_i}\right)$$

$$0.016806 * r_i = e$$

para un radio de 4" se tiene:

$$e = 0.0672" : 1.71mm$$

$$e_{st} = 1/8" : 3.175mm$$

ahora para el cilindro eyector:

$$2 * 1437.7 = 2 * 36x10^3 * Ln\left(\frac{r_i + e}{r_i}\right)$$

$$0.041 * r_i = e$$

para un radio de 5.5" se tiene:

⁵ FAI RES, virgil Moring. Diseño de elementos de máquinas. México:Editorial Limusa Noriega editores, 200. p 331.

⁶ NIEMAN, Op. cit. p 85.

$$e = 0.2236" : (5.67\text{mm})$$

$$e_{st} = 1/4" : (6.35\text{mm})$$

2.5 DISEÑO DEL VASTAGO DE LOS CILINDROS.

Para el diseño del vástago de los cilindros se comprueba si la columna es Euler o Johnson mediante el criterio de transición entre columnas largas e intermedias⁷.

$$\frac{le}{k} = \left[\frac{2p^2 E}{S_y} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 2.18}$$

Se selecciona como primera medida un acero inoxidable AI SI 302 con:

$$E = 28 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$S_y = 75 \text{ Ksi}$$

luego:

$$\frac{Le}{k} = 85.845$$

este valor indica que es una columna Johnson, por tanto, bajo el criterio de esfuerzos combinados⁸, se calcula el diámetro del vástago.

⁷ FAIRES, Op. cit. p 277

$$s = S_1 + \frac{Mc}{I}$$

Ec 2.19

$$\frac{S_y}{F.S.} = \frac{\frac{F/A}{\left[1 - \frac{S_y(L_e/k)^2}{4p^2 E}\right]}} + \frac{Mc}{I}$$

el valor de la longitud equivalente para la situación de apoyo del cilindro es:

$$L_e = L$$

Ec 2.20⁹

Para el cálculo de inestabilidad y pandeo el factor de seguridad se toma de 3¹⁰.

Además el valor de K² es:

$$k = D/4$$

reemplazando los diferentes valores se tiene:

$$25000 = \frac{9602}{D^2 - 0.97702} + \frac{86279.8}{D^3}$$

$$D = 1.64'' ; D = 4.1656cm$$

⁸ FAIRES, Op. cit. p. 285

⁹ FAIRES, Op. cit. p. 275, 280

¹⁰ NIEMAN, Op. cit. p 85.

siguiendo los criterios anteriormente citados se calcula el diámetro del vástago del cilindro eyector:

$$\frac{le}{k} = \left[\frac{2p^2 E}{S_y} \right]^{1/2} \quad \text{Ec. 2.18}$$

Se selecciona un acero inoxidable AI SI 302 con:

$$E = 28 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$S_y = 75 \text{ Ksi}$$

luego

$$\frac{Le}{k} = 85.845 \text{ (Johnson)}$$

bajo el criterio de esfuerzos combinados se tiene que:

$$25000 = \frac{32369.62}{D^2 - 2.6923} + \frac{2792078.34}{D^3}$$

$$D = 4.916" \quad ; \quad D = 124.8664 \text{ mm}$$

2.6 DISEÑO DE PASADORES DE LA PLACA COMPACTADORA

para el diseño de los pasadores de la placa compactadora se deben calcular las reacciones en el pasador, para tal efecto se tiene la figura 2 de donde:

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x = F_{Cx} + F_R$$

Ec. 2.21

los datos de esta ecuación son los mismos que se calcularon al momento de diseñar las placa laterales.

$$A_x = 2 * 7025.86 + 3615.83$$

$$A_x = 17667.55 \text{ Lb}$$

para el plano Y se tiene que:

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y = F_{cy} - W$$

Ec. 2.22

$$A_y = 2 * 2742.1 - 282.35$$

$$A_y = 5201.85Lb$$

luego de la ecuación de esfuerzo cortante:

$$t = \frac{F}{A}$$

Ec 2.23

el efecto de la fuerza F será la resultante de las reacciones A_x y A_y :

$$R = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

Ec. 2.24

$$R = \sqrt{(17667.55)^2 + (5201.85)^2}$$

$$R = 18417.43Lb$$

por tanto el diámetro, utilizando acero ASTM A36:

$$21000 = \frac{18417.43}{\mathbf{p} * r^2}$$

resolviendo se tiene que:

$$r = 0.52836in$$

$$d = 1.0567in : 26.67mm$$

2.7 SELECCIÓN DE LOS CILINDROS COMPACTADORES

Del anexo B se toma un cilindro que cumpla inicialmente con las condiciones geométricas que ofrece la caja compactadora.

PMW-4040

Presión máxima. : 2500 psi.

Diámetro Interno: 4"

Carrera : 40"

Diámetro Vástago: 2 "

Longitud en Retracción: 49 "

Espesor : 3/16"

Diámetro Perno: 1.265"

Ver figura 14.

A continuación se procede a verificar si los cilindros seleccionados cumplen con las exigencias de diseño.

La fuerza F_R que se ejerce contra la placa esta dada por la ecuación:

$$F_R = P_R * A_p \quad \text{Ec. 2.7}$$

donde A_p es el área de la placa y es igual a 1694.6775 in^2 entonces:

$$F_R = 1.136 * 1694.6775 = 1925.1536 \text{ lb}$$

luego en figura 46 se hace momento con respecto al punto A y se tiene:

$$\sum M_A = 0$$

$$F_{cx} * 10.73" + W * 14.214" = F_B * 20.6331 + F_{cy} * 14.633" \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$4.68 * F_c = -4013.34 + 39721.886$$

$$F_c = 15056.6 \text{ lb}$$

esta es la fuerza ejercida por los dos cilindros, para un cilindro tenemos que:

$$F_c = 7528.33 \text{ lb}$$

ahora conociendo el área de los cilindros se procede a hallar el área y posteriormente la presión:

$$A_c = 4 * p \quad \text{Ec 2.8}$$

$$P_c = \frac{F_c}{A_c} = \frac{7528.33}{4 * p} = 600 \text{ Psi.} : 4.173 \text{ MPa} \quad \text{Ec. 2.7}$$

600 p.s.i. es el máximo valor al que se someten los cilindros, debido a las condiciones de diseño de las placas laterales.

2.8. SELECCIÓN DEL CILINDRO EYECTOR

Para la selección del cilindro eyector se debe conocer cuál es la fuerza mínima para empezar a mover el volumen de residuos, esto se consigue analizando el sistema de fuerzas actuantes en dicho volumen, ver figura 14.

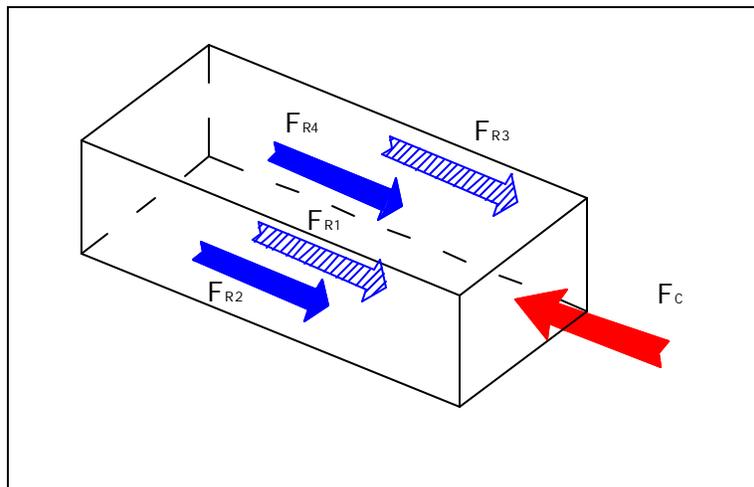


Figura 14. Fricción sobre la paredes de la placas.

Como primera medida se procede a calcular el peso del volumen a mover el cual contiene el peso de las ocho yardas cúbicas de residuos y el peso de la placa eyectora.

El peso de la placa compactadora es:

$$W_p = m * g \quad \text{Ec. 2.4}$$

de donde la masa es:

$$m = \rho * V \quad \text{Ec. 2.5}$$

el volumen de la placa eyectora es:

$$V = 4180.13 \text{in}^3 : 0.0685 \text{m}^3$$

el material seleccionado para esta placa tiene una densidad de 0.283 lb/in^3 .

(7860 Kg/m^3) por tanto:

$$W = 1187.4 \text{Lb}_f$$

para el cálculo del peso de los residuos se utilizan las mismas ecuaciones utilizadas en el cálculo anterior:

$$W = 6662.44Lb_f$$

por tanto el peso total es la suma de los dos pesos:

$$W_T = 7850Lb_f$$

como se observa en la figura 15, las fuerzas de rozamiento actuantes en el sistema generan en el cilindro un mayor esfuerzo al momento de expulsar los residuos, por lo tanto, el cálculo de las magnitudes de estas fuerzas se hace indispensable en la selección del cilindro adecuado para las exigencias de trabajo.

Para calcular la magnitud de las fuerzas de rozamiento se asume que al momento de la eyección se está ejerciendo totalmente la presión calculada para el diseño de las placas laterales, por consiguiente, se tendrán unas normales mostradas en la figura 16.

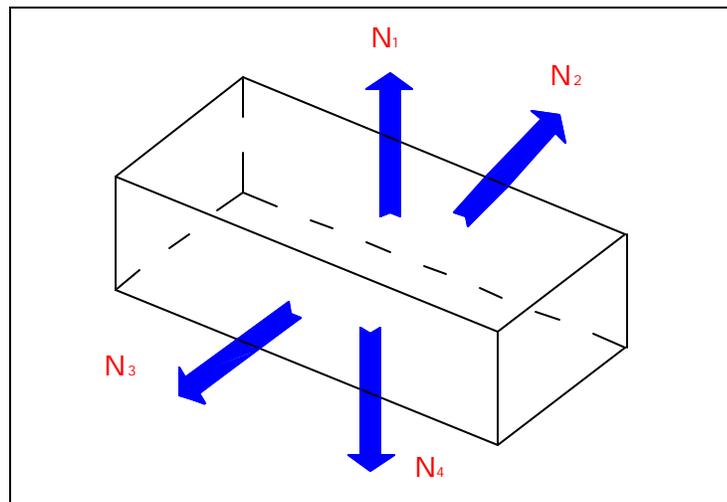


Figura 15. Normales entre las superficies.

El cálculo de las fuerzas de rozamiento se realiza mediante la ecuación:

$$F_R = \mathbf{m} * N$$

Ec. 2.25

en donde \mathbf{m} es el coeficiente de fricción estática y N es la magnitud la fuerza normal entre las dos superficies. Para el coeficiente de fricción se tiene el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Coeficientes de fricción¹¹.

COEFICIENTES APROXIMADOS DE LA FRICCIÓN ESTÁTICA ENTRE SUPERFICIES SECAS	
Acero sobre acero	0.4-0.8
Madera sobre madera	0.2-0.5
Madera sobre metal	0.2-0.6
Metal sobre piedra	0.3-0.7
Metal sobre cuero	0.3-0.6
Madera sobre cuero	0.2-0.5
Tierra sobre tierra	0.2-1.0
Hierro fundido sobre hierro fundido	0.3-0.4
Caucho sobre concreto	0.6-0.8
Caucho sobre hielo	0.05-0.2

Por las condiciones del material que compacta este equipo, la presencia de varios de estos materiales no es de extrañar, por lo tanto, se tomará un coeficiente de fricción de 0.7 como una condición crítica.

Haciendo sumatoria de fuerzas en el sentido de las X se tiene que:

$$\sum F_x = 0$$

de figura 15 se observa que:

$$F_{R1} + F_{R2} + F_{R3} + F_{R4} = F \quad \text{Ec. 2.26}$$

de donde:

$$F_{R1} = \mathbf{m} * N_1$$

$$F_{R2} = \mathbf{m} * N_2$$

$$F_{R3} = \mathbf{m} * N_3$$

$$F_{R4} = \mathbf{m} * N_4$$

las normales para este cálculo son de acuerdo a la figura 16 las siguientes:

¹¹ HIGDON, Stiles Davis. Ingeniería Mecánica tomo 1, pag 207.

$$N_1 = W_T \quad \text{Ec. 2.27}$$

$$N_2 = N_3 = N_4 = P * A = F_p \quad \text{Ec. 2.28}$$

de donde F_p es la fuerza ejercida sobre las paredes de las placas laterales.
 $W_T = 7850Lb_f$

$$F_p = 5901.05Lb_f$$

por tanto de la sumatoria se tiene que:

$$F = 0.7 * 13750 + 0.7 * 5901.05 + 0.7 * 5901.05 + 0.7 * 5901.05$$

$$F = 22017.205Lb_f$$

la fuerza ejercida por el cilindro eyector sobre la placa tiene un ángulo de inclinación indicado en la figura 16.

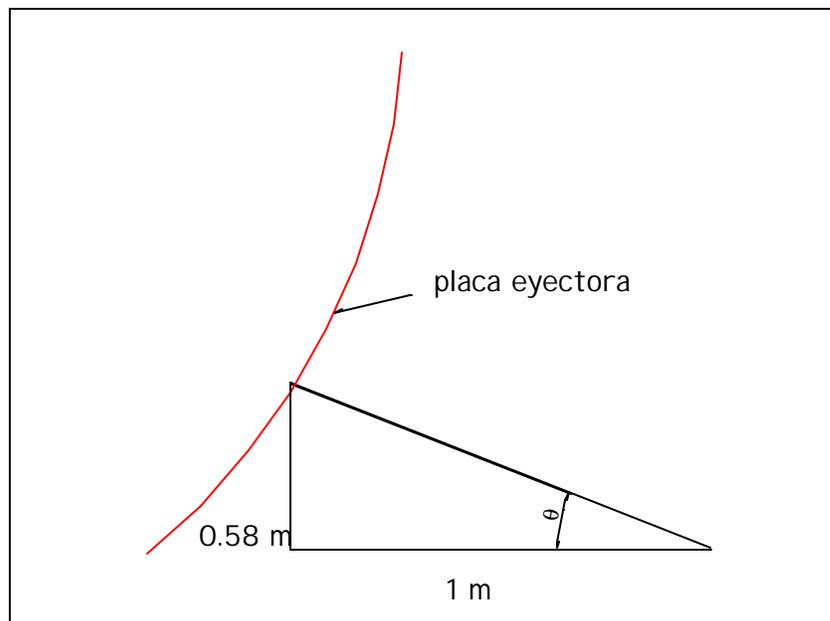


Figura 16. Ángulo de aplicación de la fuerza.

la fuerza ejercida por el cilindro es:

$$\tan \mathbf{q} = \frac{0.58}{1}$$

$$\mathbf{q} = 30^\circ$$

la magnitud de la fuerza es:

$$F = \frac{22017.205}{\cos 30^\circ}$$

$$F = 25423.28 Lb_f$$

la presión de eyección es:

$$F_e = P_e * A_c$$

Ec. 2.7

del anexo B se selecciona un cilindro de las siguientes características:

Diámetro 1ª. Etapa : 5.5"

Diámetro 2ª. Etapa : 4.5"

Diámetro 3ª. Etapa : 3.5"

Presión máxima: 2500 p.s.i.

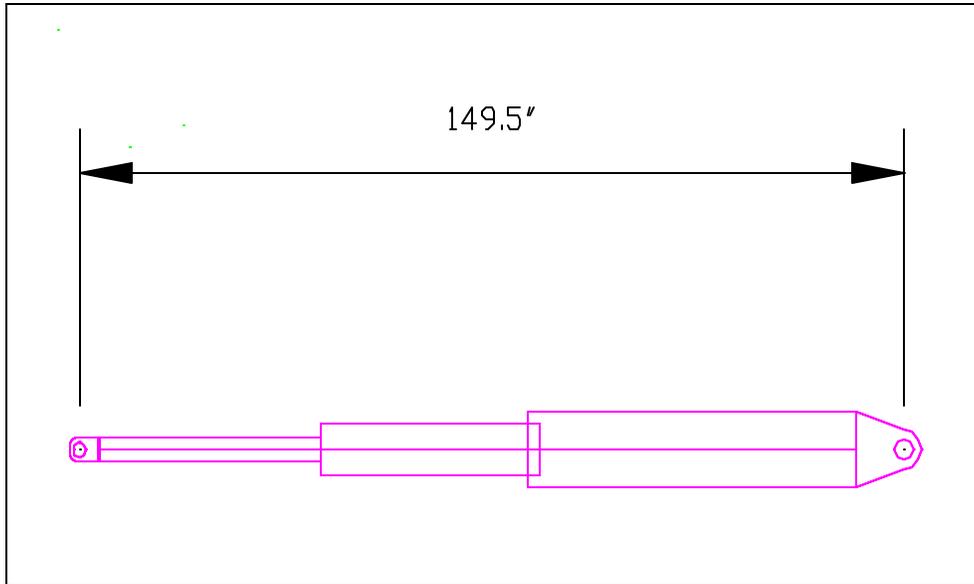
Reemplazando los valores se tiene:

$$P_e = 1434.7 \text{ psi}$$

con esta presión como dato inicial y con la geometría mostrada en la figura 17,

Del anexo D se selecciona un cilindro de doble acción **6397 DA**.

Figura 17. Longitud del cilindro



2.9. DISEÑO DE PASADORES CILINDRO EYECTOR

Dentro de las condiciones de diseño se deben seleccionar las más críticas, para el caso de los pasadores de los cilindros se toma la presión de trabajo máxima que es de 2500 p.s.i. para el cálculo de la fuerza.

$$F_C = P * A \quad \text{Ec. 2.7}$$

el área del cilindro es:

$$A = p * r^2 \quad \text{Ec. 2.8}$$

$$A = p * 5^2$$

$$A = 4p = 78.54in^2$$

por tanto la fuerza ejercida por el cilindro es:

$$F_C = 2500 * 78.54$$

$$F_C = 196349.54Lb$$

mediante la ecuación de esfuerzo cortante se tiene que:

$$t = \frac{F}{A}$$

Ec 2.22

$$t = \frac{196349.54}{p * r^2}$$

el material seleccionado es ASTM A36 que tiene una resistencia a esfuerzo cortante de 21000 p.s.i.:

$$21000 = \frac{196349.54}{p * r^2}$$

resolviendo se tiene que:

$$r = 1.7251in$$

$$d = 3.45in : 87.63mm$$

2.10. DISEÑO DE LA PLACA EYECTORA

La placa eyectora está sometida a su mayor esfuerzo en el momento en que el compactador está lleno, por tanto, los parámetros para utilizar en el diseño son:

- Peso de los residuos en el momento en que el compactador este lleno.
- La fuerza que se ejerce por parte del cilindro eyector.
- Fuerza ejercida por los residuos sólidos sobre la placa. Ver figura 18.

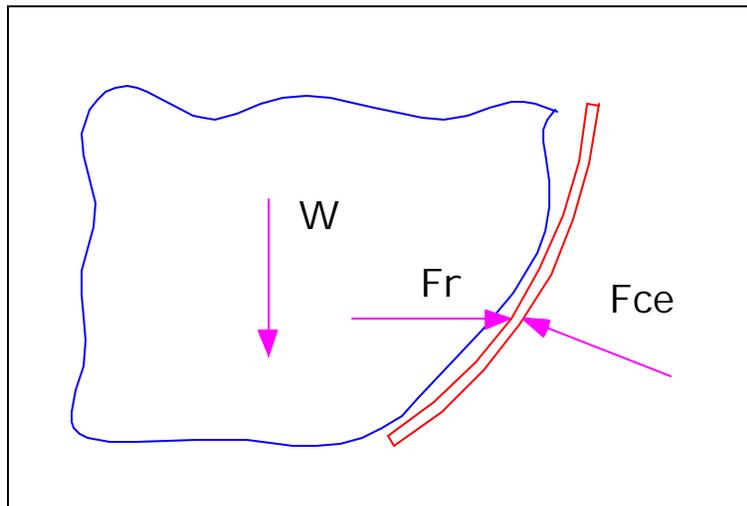


Figura 18. Fuerzas en la placa eyectora

Para efectos de cálculos el estado de la placa se asume como muestra la figura 19.

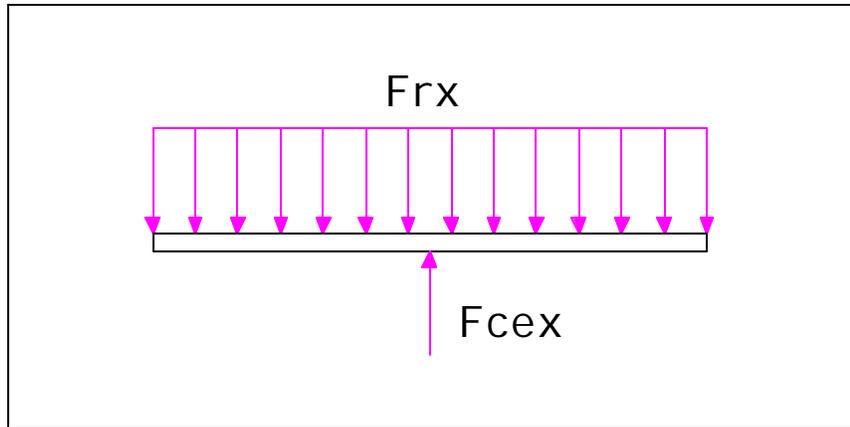


Figura 19. Representación de la carga en la placa eyectora.

El cálculo de la F_{rx} se realiza con:

$$Pr = 2.13 \text{ psi}$$

se procede a realizar el diseño de una estructura la cual no permita la ruptura de la lámina.

Como primera medida se colocarán perfiles C3 x 6 para aumentar la resistencia de la lámina. Ver figura 20.

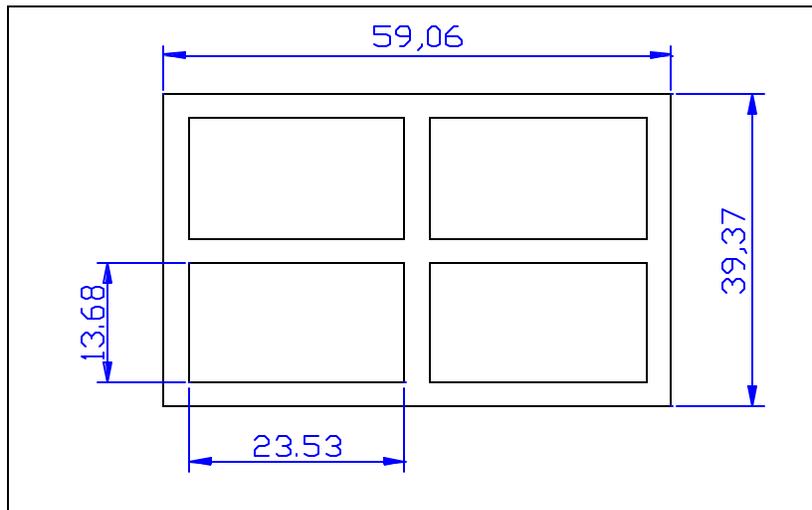


Figura 20. Dimensiones de la placa apoyada en perfiles, configuración 1.

Es procede a calcular el espesor de la lámina que se somete a la fuerza Frx.

$$s = \frac{2 * a^2}{a^2 + b^2} * P_R * \frac{b^2}{t^2}$$

Ec. 2.1¹²

asumiendo un lámina de acero ASTM-A36, y reemplazando los valores es tiene que.

$$\frac{36000}{1.5} = \frac{2 * 11.765^2}{11.765^2 + 6.84^2} * 2.13 * \frac{6.84^2}{t^2}$$

¹² UNITED STATES OF NAVAL INSTI TUDE, Op. cit. p203.

$t = 0.078in$: 1.9812mm Estandarizando este valor queda una lámina de 1/8 in (3.175mm).

La lámina es de un espesor aceptable realizando el diseño desde el punto de vista de la compactación, ahora se procede a estudiar si esta lámina resiste la eyección.

La fuerza que ejerce el cilindro al momento de eyectar es:

$$F_e = 22017.205Lb$$

reemplazando este valor en la ecuación 2.1 se tiene que:

$$\frac{36000}{1.5} = \frac{2 * 11.765^2}{11.765^2 + 6.84^2} * \frac{22017.205}{59.055 * 39.37} * \frac{6.84^2}{t^2}$$

$t = 0.166in$: 4.2614mm Estandarizando se tiene una lámina de 3/16 in (4.7625mm).

2.11 CALCULO DE LAS LAMINAS DEL PISO

El espesor de la lámina del piso se calcula teniendo en cuenta que esta está sometida a la presión de compactación, además de que soporta el peso del volumen de los residuos en el momento en que el compactador está totalmente lleno.

De la figura 21. La presión total es:

$$P_t = \frac{W_r}{A} + P_c \quad \text{Ec. 2.29}$$

$$P_t = \frac{6662.44}{66.93 * 95.6} + 2.13$$

$$P_t = 2.319 \text{ psi}$$

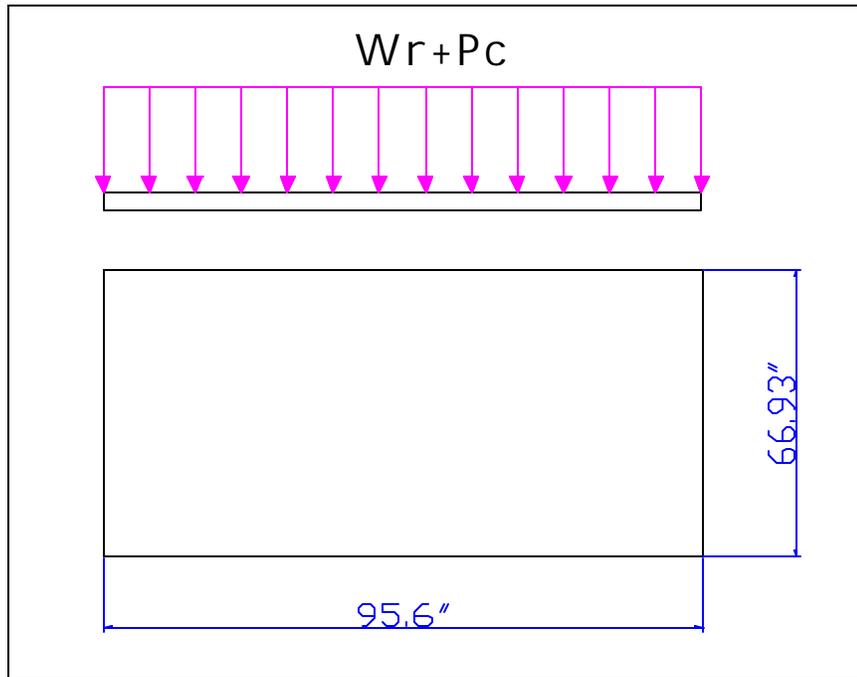


Figura 21. Dimensiones lámina piso.

Con las distancias de la figura 21 se tiene que:

$$\frac{36000}{1.5} = \frac{2 * 47.8^2}{47.8^2 + 33.465^2} * 2.319 * \frac{33.465^2}{t^2}$$

$t = 0.3812in : 9.6825mm$ Estandarizando se tiene una lámina de 7/16 in (11.1125mm), la cual es muy pesada.

Se procede a calcular la resistencia de esta placa colocando una configuración diferente. Ver figura 22.

$$\frac{36000}{1.5} = \frac{2 * 16.7325^2}{16.7325^2 + 15.95^2} * 2.319 * \frac{15.95^2}{t^2}$$

$t = 0.1605$: $4.0767mm$ Estandarizando se tiene una lámina de $3/16$ in ($4.7625mm$).

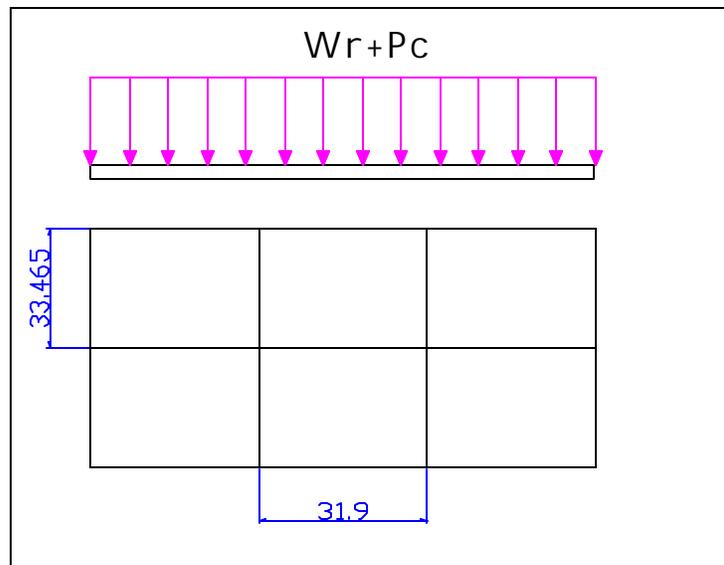


Figura 22. Distribución de apoyos.

Ahora se procede a apoyar la lámina de una forma más consistente. Ver figura 23.

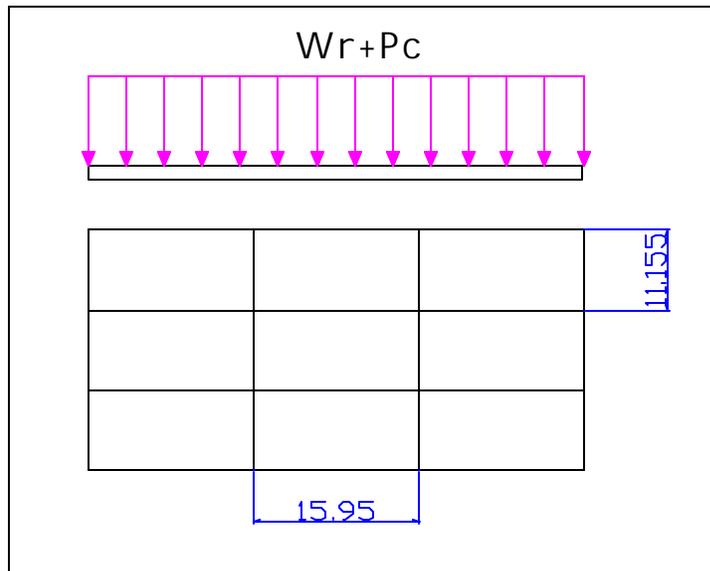


Figura 23. Distribución de apoyos final.

Por tanto:

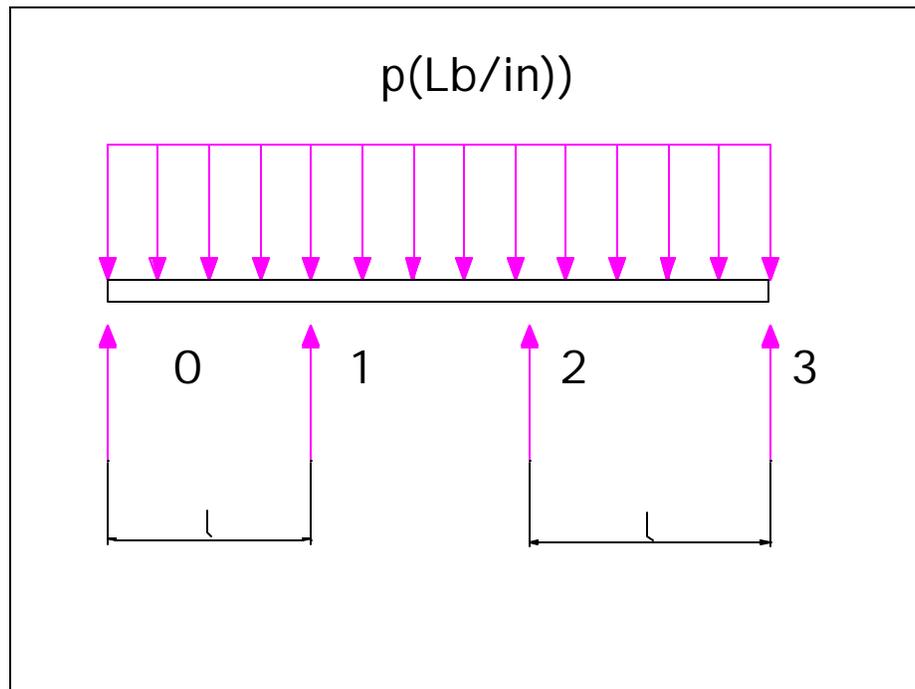
$$\frac{36000}{1.5} = \frac{2 * 11.755^2}{11.755^2 + 15.95^2} * 2319 * \frac{15.95^2}{t^2}$$

$t = 0.127in$: $3.2258mm$ Estandarizando se tiene una lámina de $3/16$ in (4.7625mm).

2.12 CALCULO DE LOS PERFILES DEL PISO

El caso de los perfiles que están soportando el peso de todo el conjunto, tiene como representación el estado de carga que muestra la figura 24.

Figura 24. Distribución de fuerzas sobre el perfil



Se tienen los siguientes diagramas (ver figura 25) siguiendo el procedimiento visto en el cálculo de los perfiles laterales.

Por condiciones de simetría se tiene que:

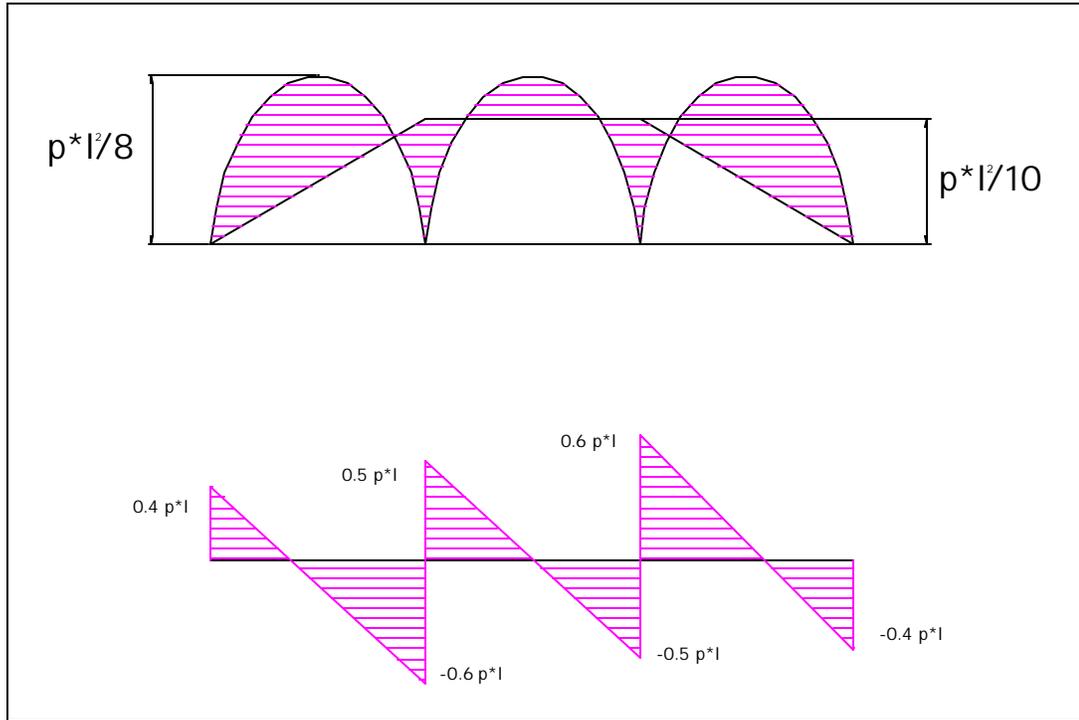


Figura 25. Diagramas de momento y esfuerzo cortante.

$$M_1 = M_2 = -\frac{p^*l^2}{10} \quad \text{Ec. 2.30}$$

además que:

$$R_1 = R_2 \quad \text{y} \quad R_0 = R_3 \quad \text{Ec. 2.31}$$

entonces:

$$R_1 = \frac{pl}{2} + \frac{pl}{2} + \frac{pl}{10} = \frac{11 * pl}{10} \quad \text{Ec. 2.32}$$

puesto que $R_0 + R_1 + R_2 + R_3 = 3 * pl$ Ec 2.33

$$R_0 = R_3 = \frac{4 * pl}{10} \quad \text{Ec. 2.34}$$

reemplazando se tiene que:

$$s = \frac{M}{S} = \frac{p * l^2}{8 * S} \quad \text{Ec. 2.35}$$

de donde:

$$S = \frac{p * l^2}{8 * s} \quad \text{Ec. 2.36}$$

pero el valor de p será calculado con:

$$\sum W = p \quad \text{Ec. 2.37}$$

Esta sumatoria incluye los siguientes pesos:

- Peso de los cilindros compactadores W_c
- Peso del cilindro eyector W_{ce}
- Peso de los perfiles laterales W_{pl}
- Peso de las láminas laterales W_l
- Peso de la placa compactadora W_{pc}
- Peso de la placa eyectora W_{pe}
- Peso de los residuos sólidos W_r
- Peso de las láminas piso W_{lp}

Se empezará con el cálculo de cada uno de los pesos:

W_c . Ver anexo E.

$W_c = 2 * 85lb = 170lb$ esto se calcula en base a que son dos los cilindros compactadores.

W_{ce} ver anexo F.

$W_{ce} = 253lb$

W_{pl} . Ver anexo G. El peso por unidad de longitud es:

$$W = 8.04 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 2.2046 \frac{\text{lb}}{\text{kg}} * \frac{1}{39.37} \frac{\text{m}}{\text{in}}$$

El peso total de los perfiles es:

calculando la longitud total de los perfiles se tiene que:

$$W_{pl} = 0.45022 * 1277.3622 \text{in}$$

$$W_{pl} = 575.093 \text{Lb}$$

WI. Se sigue la siguiente ecuación.

$$Wl = 0.284 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3} * e(\text{in}) * \text{area}(\text{in}^2)$$

Ec. 2.38

como primera medida se calculan las láminas laterales:

$$Wl = 0.284 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3} * 0.125(\text{in}) * 7116.994(\text{in}^2)$$

$$Wl = 505.306 \text{Lb}$$

para las láminas del piso se tiene que:

$$Wlp = 0.284 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3} * 0.1875(\text{in}) * 9439.52(\text{in}^2)$$

$$Wlp = 502.65Lb$$

para la láminas del techo se tiene que:

$$Wlt = 0.284 \frac{lb}{in^3} * 0.125(in) * 7014.384(in^2)$$

$$Wlt = 249.01Lb$$

los datos restantes han sido calculados con anterioridad y serán incluidos en la siguiente expresión:

$$\sum W = 170 + 575.093 + 505.306 + 502.65 + 249.01 + 253 + 282 + 1187.4 + 6662.44$$

$$\sum W = 10387Lb = 4711.42Kg$$

Por tanto se observa que la capacidad de carga del vehículo según anexo H.

Cumple con las exigencias del diseño.

Luego se tiene que:

$$S = \frac{p * l^2}{8 * s}$$

Ec. 2.38

Siendo p el peso dividido entre el número de perfiles.

Se seleccionan 4 perfiles, por tanto

$$W = 2597lb$$

la longitud de los perfiles tiene el espesor de la caja compactadora:

$$p = \frac{W}{l} = \frac{2597}{22.3}$$

Ec. 2.39

$$p = 38.8Lb$$

De ecuación 2.37:

$$S = \frac{38.8 * 22.3^2}{8 * 36000}$$

$$S = 0.0671in^3 : 1.1 \times 10^6 m^3$$

De anexo B se selecciona:

C3 x 4.1

2.13 SELECCIÓN DEL TOMAFUERZA

Para la selección del tomafuerza se debe calcular el torque intermitente mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{HP * 5252}{n} \quad \text{Ec. 2.40}$$

de anexo H se toman los valores correspondientes, entonces se tiene que:

$$T = \frac{135 * 5252}{2800} = 253Lb - ft$$

Posterior a esto se observa el sentido de rotación del motor, el cual en el vehículo seleccionado es opuesto a las manecillas del reloj.

Del cuadro 4 se selecciona:

437XWELX-(4)

MODELO	INTER. TORQ.	DIR. ROT.	MOTOR %			bloqueo	Adaptador	Kit
			HI	LO	Rev			
410XDELX-6	125	ENG	50	-	-	7-A-650(P)	329000-1X	7170-6X
440XXELX-6	85	ENG	62	-	-	7-A-56213(P)	328000-1X	7170-6X

437XWELX-4	180	OPP	62	-	-	-	-	-
440KLELX-6(4)	250	ENG	26	-	-	7-A-550(P)	328000-1X	7170-6X
440KQELX-6(4)	225	ENG	28	-	-	7-A-550(P)	329000-1X	7170-6X
440KSELX-6(4)	200	ENG	39	-	-	7-A-550(P)	329000-1X	7170-6X
440KQELX-6(4)	195	ENG	46	-	-	7-A-550(P)	329000-1X	7170-6X
440KWELX-6(4)	175	ENG	54	-	-	7-A-550(P)	329000-1X	7170-6X
440KXELX-6(4)	140	ENG	64	-	-	7-A-550(P)	329000-1X	7170-6X

Cuadro 4. Tomafuerzas para NPR CHEVROLET.

Se escogen las siguientes características del tomafuerza:

- Tipo de cambiador por cable
- Ensamblaje de acuerdo a la posición del piñón es el (3). Ver anexo J.
- Tipo de salida del motor es eje redondo de 1 ¼"

Por tanto el modelo del tomafuerza es el:

437XWELX-W3XD

2.14 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Se calcula como primera medida el gasto promedio para extender los cilindros encargados de la compactación:

Diámetro del Cilindro = 4"

$$A = \pi/4 d^2$$

$$A = 4 * p$$

El desplazamiento por pulgada cuadrada de carrera en galones es:

$$V = 4 * p \text{ in}^3$$

Ec 2.41

Galones = 0.0544 gal / in

Para los dos cilindros será:

Galones = 0.1088 gal / in

0.1088 galones por pulgada * 30" de carrera = 3.264 gal para extender el cilindro.

El gasto para el cilindro eyector se calcula teniendo los datos de desplazamientos por pulgada en galones de carrera de cada etapa. El cilindro seleccionado es de tres etapas, por tanto se tiene que:

5.5" O.D. = 0.1029 véase anexo C

4.5" O.D. = 0.06885 véase anexo C

3.5" O.D. = 0.04165 véase anexo C

$$\begin{array}{r} \hline 0.213 \end{array}$$

$0.213/3 = 0.071$ galones por pulgada de carrera

$.071$ galones por pulgada* $138.5''$ de carrera = 9.8335 galones para extender el cilindro.

El galonage total es:

$$GT = 9.8335 + 3.264$$

GT = 13.0975 galones aproximadamente.

La bomba a seleccionar está acoplada a un toma-fuerza que en este caso es el 437XWEL-W3XD que entrega un porcentaje del 62 %de la s revoluciones de la caja. Para la mayoría de las bombas se especifican unos rangos de revoluciones en la caja, estas revoluciones están entre 400 rpm. A 2000 r.p.m. se toman como óptimas 1500 rpm.

Para este caso las r.p.m. entregadas a la bomba son:

$$RPM = 1500 * 62\% = 930rpm.$$

Del anexo K a 930 rpm. Se obtiene un gasto de 15 gpm teniendo como ancho de engranaje 2", en una bomba **P30 marca Commercial shearing. Inc.**

Ahora se calcula el tiempo que gastan los cilindros compactadores:

$$t = \frac{gal}{\frac{gal}{min}} = \frac{3.264}{15} = 0.2176min = 13.056seg \quad \text{Ec. 2.42}$$

Para el cilindro eyector:

$$t = \frac{13.0975}{15} = .873min = 52.39seg$$

2.15 DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRAULICO

Para el diseño del circuito hidráulico se explica detalladamente el funcionamiento de la caja compactadora de basura. Inicialmente los cilindros compactadores están retraídos, el cilindro eyector se encuentra extendido, cuando empieza la compactación salen los cilindros compactadores, el cilindro eyector retrocede al detectar una presión calculada, posteriormente los cilindros compactadores se retraen. Este proceso se realiza aproximadamente 7 veces hasta llenar el compactador, por último luego de que el cilindro eyector se retrae totalmente, empieza su proceso de eyección para desocupar finalmente la caja.

A continuación se desarrolla un cuadro el cual indica las fases de los cilindros compactadores y eyector.

Cuadro 5. Fases del circuito hidráulico

FASES	CILINDRO A (COMPACTADOR)	CILINDRO B (COMPACTADOR)	CILINDRO C (EYECTOR)
1	-----	-----	Eyección
2	Compactación	Compactación	Estático
3	-----	-----	Retracción
4	Retracción	Retracción	Estático
5	Compactación	Compactación	Estático
6	-----	-----	Retracción
7	Retracción	Retracción	Estático
8	Compactación	Compactación	Estático
9	-----	-----	Retracción
10	Retracción	Retracción	Estático
11	Compactación	Compactación	Estático
12	-----	-----	Retracción
13	Retracción	Retracción	Estático
14	Compactación	Compactación	Estático
15	-----	-----	Retracción
16	Retracción	Retracción	Estático
17	Compactación	Compactación	Estático
18	-----	-----	Retracción
19	Retracción	Retracción	Estático
20	Compactación	Compactación	Estático
21	-----	-----	Retracción
22	Retracción	Retracción	Estático
23	-----	-----	Eyección

Posteriormente se realiza el diagrama de los movimientos, representado en la figura 26.

En el comportamiento anteriormente graficado se observa que los cilindros en un movimiento deben quedar en posición de retracción o contracción dependiendo de la acción que realicen, para lograr este efecto se seleccionan válvulas de tres posiciones como las que se muestran en la figura 28.

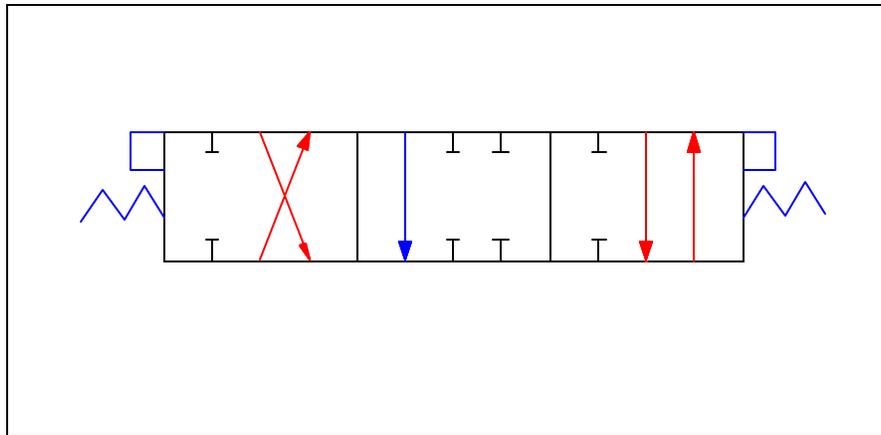


Figura 27. Válvula de tres posiciones

Para lograr el efecto que se grafica para el cilindro eyector, se coloca una válvula de alivio en la línea de extensión del cilindro. La válvula de alivio se gradúa a 600 P.s.i. de acuerdo con los cálculos realizados en la selección de la presión de los cilindros compactadores.

Finalmente se conforma el circuito hidráulico mostrado en la figura 28.

2.15 DISEÑO DEL CIRCUITO HIDRAULICO

Para el diseño del circuito hidráulico se explica detalladamente el funcionamiento de la caja compactadora de basura. Inicialmente los cilindros compactadores están retraídos, el cilindro eyector se encuentra extendido, cuando empieza la compactación salen los cilindros compactadores, el cilindro eyector retrocede al detectar una presión calculada, posteriormente los cilindros compactadores se retraen. Este proceso se realiza aproximadamente 7 veces hasta llenar el compactador, por último luego de que el cilindro eyector se retrae totalmente, empieza su proceso de eyección para desocupar finalmente la caja.

A continuación se desarrolla un cuadro el cual indica las fases de los cilindros compactadores y eyector.

Cuadro 5. Fases del circuito hidráulico

FASES	CILINDRO A (COMPACTADOR)	CILINDRO B (COMPACTADOR)	CILINDRO C (EYECTOR)
1	-----	-----	Eyección
2	Compactación	Compactación	Estático
3	-----	-----	Retracción
4	Retracción	Retracción	Estático
5	Compactación	Compactación	Estático
6	-----	-----	Retracción
7	Retracción	Retracción	Estático
8	Compactación	Compactación	Estático
9	-----	-----	Retracción
10	Retracción	Retracción	Estático
11	Compactación	Compactación	Estático
12	-----	-----	Retracción
13	Retracción	Retracción	Estático
14	Compactación	Compactación	Estático
15	-----	-----	Retracción
16	Retracción	Retracción	Estático
17	Compactación	Compactación	Estático
18	-----	-----	Retracción
19	Retracción	Retracción	Estático
20	Compactación	Compactación	Estático
21	-----	-----	Retracción
22	Retracción	Retracción	Estático
23	-----	-----	Eyección

Posteriormente se realiza el diagrama de los movimientos, representado en la figura 26.

En el comportamiento anteriormente graficado se observa que los cilindros en un movimiento deben quedar en posición de retracción o contracción dependiendo de la acción que realicen, para lograr este efecto se seleccionan válvulas de tres posiciones como las que se muestran en la figura 28.

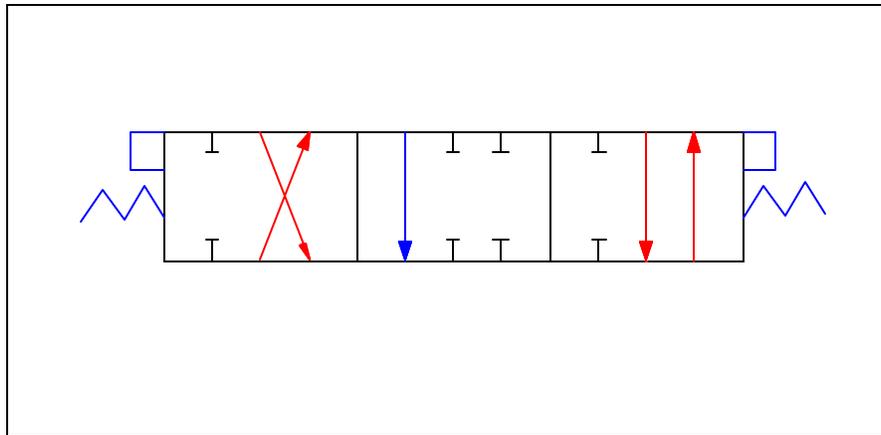


Figura 27. Válvula de tres posiciones

Para lograr el efecto que se grafica para el cilindro eyector, se coloca una válvula de alivio en la línea de extensión del cilindro. La válvula de alivio se gradúa a 600 P.s.i. de acuerdo con los cálculos realizados en la selección de la presión de los cilindros compactadores.

Finalmente se conforma el circuito hidráulico mostrado en la figura 28.

2.16 ajustes y tolerancias en los pasadores de los cilindros.

Los pasadores de los cilindros compactadores y del cilindro eyector presentan dos tipos diferentes de ajustes los cuales son seleccionados de acuerdo a la necesidad del diseño.

Inicialmente se tienen los valores de los diámetros de los pasadores y se selecciona el sistema. Se tiene un diseño de tipo mecánica media¹³ por tanto se selecciona el sistema agujero base.

La calidad del agujero se designa bajo el criterio de industria en general¹⁴ el cual expone un rango de calidades para este tipo de agujeros, las calidades van de 6 a 11.

Se toma entonces una calidad de agujero de 7 y por consiguiente una calidad de eje de 6.

¹³ JIMENEZ Balboa Luis, Prontuario de Ajustes y Tolerancias, Boixareu Editores, 1996. P. 91.

¹⁴ Ibid. , p 93

$$J_{\text{mín}} = 7 \text{ m}$$

$$T = 34 \text{ m}$$

Para el pasador del cilindro compactador de 26.67 mm (1.05") se tienen las siguientes calidades:

$$IT_a = 21$$

$$IT_e = 13$$

para un ajuste apretado entre el agujero del soporte del pasador y el pasador se selecciona la siguiente nomenclatura:

26.67 J₇ m₆

luego se tiene que:

eje 26.67 $\begin{matrix} +12 \\ -9 \end{matrix}$

agujero 26.67 $\begin{matrix} +21 \\ +8 \end{matrix}$

Con estos valores se calculan el juego máximo, el juego mínimo y la tolerancia¹⁶.

$$A_{\text{máx}} = 4\text{m}$$

$$A_{\text{mín}} = -30\text{m}$$

$$T = 34\text{m}$$

Para el pasador del cilindro eyector de 87.63 mm (3.45") se tienen las siguientes calidades:

$$IT_a = 35$$

$$IT_e = 22$$

para un ajuste libre entre el agujero de la base del cilindro y el pasador se selecciona la siguiente nomenclatura:

87.63 H₇ g₆

luego se tiene que:

¹⁶ JIMENEZ, Op. cit. p23

eje 87.63 $\begin{matrix} -12 \\ -34 \end{matrix}$

agujero 87.63 $\begin{matrix} +35 \\ 0 \end{matrix}$

Con estos valores se calculan el juego máximo, el juego mínimo y la tolerancia¹⁷.

$$J \text{ máx} = 69 \text{ } \mu\text{m}$$

$$J \text{ mín} = 12 \text{ } \mu\text{m}$$

$$T = 57 \text{ } \mu\text{m}$$

Para el pasador del cilindro eyector de 87.63 mm (3.45") se tienen las siguientes calidades:

$$IT_a = 35$$

$$IT_e = 22$$

para un ajuste apretado entre el agujero de soporte del pasador y el pasador se selecciona la siguiente nomenclatura:

87.63 J₇ m₆

¹⁷ JIMENEZ, Op. cit. p23

luego se tiene que:

eje $87.63 \begin{matrix} +35 \\ -13 \end{matrix}$

agujero $87.63 \begin{matrix} +22 \\ -13 \end{matrix}$

Con estos valores se calculan el juego máximo, el juego mínimo y la tolerancia¹⁸.

$$A_{\text{máx}} = 48\text{m}$$

$$A_{\text{mín}} = -9\text{m}$$

$$T = 57\text{m}$$

¹⁸ JIMENEZ, Op. cit. p23

