

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA

TITULO

REDISEÑO DEL SISTEMA DE FUNDICION DE TUBO DE CONCRETO DE LA EMPRESA AMERICAN PIPE AND CONSTRUCTION INTERNATIONAL

AUTORES

GONZALEZ ALCALA, Leonardo, PEREZ OLIVARES, Jose Aldemar

Fecha de terminación: Septiembre de 1999.

DESCRIPCIÓN

Rediseñar el sistema de fundición de tubería de concreto de la empresa AMERICAN PIPE

METODOLOGÍA

Es una investigación de tipo tecnológico en la cual se aumenta la capacidad de producción de concreto, y así obtener una mayor cantidad de tubos de concreto.

DESARROLLO DEL PROYECTO

Para lograr el objetivo propuesto en este proyecto se desarrollaron varios capítulos

La fabricación de tubos de concreto requiere del cumplimiento de ciertas normas nacionales e internacionales para garantizar un producto de optima calidad, lo que implica un procedimiento de mucho cuidado desde la obtención de los materiales, pasando la preparación del concreto, fundición de los tubos hasta el acabado mismo.

En el primer capítulo se hace mención al concreto en forma general, a los tipos de maquinarias empleadas para el mezclado y a las proporciones requeridas de materiales para la fundición de tubos.

Luego se hace referencia al proceso de fabricación de la empresa American Pipe y una descripción histórica y geográfica de la misma

La planta se divide en tres subsistemas para un mejor análisis:

Subsistema de Carga, Subsistema de Mezclado y Subsistema de Descarga. A cada uno se le calculó su capacidad actual que junto con otros parámetros permitieron determinar si era necesario o no su rediseño.

Cada subsistema cuenta con un elemento principal y su respectivo mecanismo de transmisión de potencia.

Se compara entonces el sistema actual de fundición de tubos de concreto, con el rediseño obtenido en el capítulo anterior lo cual condujo a emitir las respectivas recomendaciones.

Por último se hizo un estudio económico para comprobar la factibilidad del proyecto, y además se establecieron las recomendaciones de mantenimiento y seguridad de la planta para el normal funcionamiento de la misma.

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN DE TUBOS DE CONCRETO
DE LA EMPRESA AMERICAN PIPE AND CONSTRUCTION
INTERNATIONAL**

**LEONARDO ANTONIO GONZALEZ ALCALA
JOSE ALDEMAR PEREZ OLIVARES**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2000

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE FUNDICIÓN DE TUBOS DE CONCRETO
DE LA EMPRESA AMERICAN PIPE AND CONSTRUCTION
INTERNATIONAL**

LEONARDO ANTONIO GONZALEZ ALCALA

JOSE ALDEMAR PEREZ OLIVARES

**Trabajo de Grado, presentado como requisito para optar al título de
Ingenieros Mecánicos.**

**Director
BENJAMIN ARANGO
Ingeniero Metalúrgico**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.

2000

ARTICULO 105: La Institución se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los Trabajos de Grado aprobados, los cuales no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Cartagena de Indias Octubre de 1999

CONTENIDO

	Pag.
INTRODUCCIÓN	
1 CONCRETO	3
1.1 DEFINICIÓN	3
1.2 PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO	3
1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DEL CONCRETO	4
1.3.1 Ventajas	4
1.3.2 Desventajas	5
1.4 MATERIALES	5
1.4.1 Cemento Portland.	5

1.4.2	Agregados	6
1.4.2.1	Agregados Finos	6
1.4.2.2	Agregado Grueso	6
1.4.3	Aditivos	6
1.5	PROPIEDADES DEL CONCRETO	7
1.5.1	Trabajabilidad	7
1.5.2	Durabilidad	7
1.5.3	Impermeabilidad	8
1.5.4	Cambio de Volumen	8
1.5.5	Resistencia	9
1.5.6	Escurrimiento Plástico	12
1.5.7	Peso por pie Cubico	12
1.6	PROPORCIONAMIENTO	13
1.7	COLOCACIÓN DEL CONCRETO	13
1.8	PRECOLADO	15
1.9	CURADO DEL CONCRETO	15
1.10	MEZCLADO	16
1.10.1	Mezcladoras según la Forma del Recipiente.	17
1.10.1.1	Mezcladora de Caída Libre	17
1.10.1.2	Mezcladora de Acción Forzada	19
1.10.2	Mezcladora según su Transportabilidad	20
1.10.2.1	Mezcladoras Estáticas	20

1.10.2.2 Mezcladora Portátil	20
1.10.2.3 Mezcladora de Remolque	21
1.10.3 Características de las Mezcladoras	21
1.10.3.1 Capacidad de la Cuba (Tambor)	21
1.10.3.2 Velocidad de Rotación de la Cuba	21
1.10.3.3 Tiempo de Mezclado	22
1.10.3.4 Producción Horaria	22
1.10.4 Designación	22
1.10.4.1 Tipo	22
1.10.4.2 Tamaño	23
1.10.5 Rotulado	23
1.11 TUBOS DE CONCRETO	24
1.12 DEFINICION Y CLASIFICACIONES DE LOS TUBOS DE CONCRETO	25
1.12.1 Definición en los tubos de concreto	25
1.12.2 Clasificación de los tubos de concreto	27
1.13 CONDICIONES GENERALES DE LOS TUBOS DE CONCRETO	27
2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	29
2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA Y RESEÑA HISTORICA	29
2.2 TUBERIA DE CONCRETO PRODUCIDA POR AMERICAN PIPE	30
2.3 PLAN DE OPERACIÓN DE LA EMPRESA	31
2.3.1 Acondicionamiento Previo al Proceso de Fundición	31

2.3.2	Preparación del Concreto	32
2.3.3	Mezclado del Concreto	33
2.3.4	Vaciado y Distribución	34
2.3.5	Secado, Curado y Almacenamiento	34
2.4	CANTIDAD DE MATERIALES	35
3	CALCULO DE LAS CAPACIDADES, VELOCIDADES, POTENCIA Y RENDIMIENTOS	38
3.1	SUBSISTEMA DE CARGA	38
3.1.1	Verificación de la Capacidad del Cargador	41
3.1.2	Dimensionamiento del Cargador Mecánico	45
3.1.3	Análisis de Fuerzas en el Cargador Mecánico	54
3.1.3.1	Peso del Cargador Mecánico	54
3.1.3.2	Peso de los Materiales	62
3.1.3.3	Reacciones en el Eje de Rotación	65
3.1.4	Momentos de Inercia del Cargador y los Materiales	65
3.1.4.1	Calculo del Momento de Inercia del Cargador	65
3.1.4.2	Momento de Inercia del Volumen de los Materiales a Mezclar respecto al eje de Rotación R	72
3.1.5	Selección del Cable	74
3.1.6	Calculo de Velocidades del Tambor del Cable y del Cargador	76
3.1.7	Potencia Necesaria para Levantar el Cargador Mecánico	78
3.1.8	Selección de la Cadena	79
3.1.9	Selección del Acople	81

3.1.10	Diseño del Eje del Cargador	81
3.1.11	Selección de Rodamientos para el Eje del Cargador	88
3.2	SUBSISTEMA DE MEZCLADO DEL CONCRETO	89
3.2.1	Verificación de la Capacidad del Cargador	90
3.2.2	Dimensionamiento del Tambor Mezclador	93
3.2.3	Dimensionamiento de las Palas del Tambor Mezclador	94
3.2.4	Calculo de la Velocidad del Tambor Mezclador	96
3.2.5	Potencia Requerida por el Tambor Mezclador	97
3.2.5.1	Fuerzas Dentro del Mezclador	98
3.2.5.2	Momentos de Inercia de las Palas	99
3.2.5.3	Momento de Inercia del Tambor Mezclador	105
3.2.5.4	Peso Total del Tambor Mezclador	109
3.2.5.5	Torque requerido para el Funcionamiento del Tambor	111
3.2.6	Calculo de las Correas (Sistema Transmisión Potencia Tambor)	113
3.2.7	Diseño de los ejes para los Apoyos del Tambor	118
3.2.8	Selección de los Rodamientos para los ejes de los Apoyos	121
3.2.9	Tanque	121
3.2.10	Conducto de Descarga	123
3.3	SUBSISTEMA DE DESCARGA	124
3.3.1	Verificación de la Capacidad del Cangilón	125
3.3.2	Dimensionamiento del Cangilón	126
3.3.3	Calculo de la Velocidad de Desplazamiento del Cangilón	127

3.3.4	Potencia Requerida para Transportar el Concreto Mediante el Cangilón	127
3.3.4.1	Fuerzas Actuantes en el Cangilón	128
3.3.5	Reacción y Tensión en el Cable	133
3.3.6	Selección del Cable	136
3.3.7	Diseño de los ejes del Cangilón	137
3.3.8	Selección de Rodamientos para los Ejes del Cangilón	140
3.3.9	Verificación de la Capacidad de la Tolva de Descarga	141
4.	ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	143
4.1	SUBSISTEMA DE DESCARGA	143
4.2	SUBSISTEMA DE MEZCLADO	145
4.3	SUBSISTEMA DE DESCARGA	146
4.4	CALCULO DELA CAPACIDAD DEL SISTEMA	148
5	MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	150
5.1	OBJETIVO DEL MANTENIMIENTO	150
5.2	SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS PARA EL MANTENIMIENTO	151
5.2.1	Cargador Mecánico	152
5.2.2	Tambor de la Mezcladora	152
5.2.3	Cangilón y Tolva	152
5.2.4	Motor Eléctrico	152
5.2.5	Correas	153
5.2.6	Cables	153

5.2.7 Rodamientos	154
5.2.8 Tanque de Agua	155
5.2.9 Reductores de Velocidad	155
5.2.10 Cadenas	155
5.3 SEGURIDAD DEL SISTEMA	156
6 ESTUDIO ECONOMICO	158
6.1 INVERSIÓN INICIAL	158
6.2 GASTOS GENERALES DE FABRICACIÓN	160
6.2.1 Costos y Gastos de Producción	160
6.2.1.1 Costos de Producción	160
6.2.1.2 Gastos Generales de Administración y Venta	161
6.3 CALCULO DEL TIEMPO E RETORNO DE LA INVERSIÓN	163
7 CONCLUSIONES	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pag
Figura 1. Curvas de Esfuerzo-Deformación para el concreto	11

Figura 2. Mezcladoras de Caída Libre	18
Figura 3. Mezcladoras de Acción Forzada	20
Figura 4. Cargador Mecánico existente	39
Figura 5. Elementos de Accionamiento del Cargador Mecánico	40
Figura 6. Vistas del Cargador Mecánico	42
Figura 7. Angulo de reposo del Cargador Mecánico	44
Figura 8. Despiece del Cargador Mecánico	46
Figura 9. Pieza A	47
Figura 10. Pieza B	49
Figura 11. Pieza C	50
Figura 12. Pieza D	52
Figura 13. Nuevo diseño del Cargador Mecánico	53
Figura 14. Sección A y E	54
Figura 15. Sección B	56
Figura 16. Sección C	57
Figura 17. Sección D	59
Figura 18. Sección F	60
Figura 19. Sección G	61
Figura 20. Materiales Sólidos en el Cargador	62
Figura 21. Cargas actuantes en el Cargador Mecánico	64
Figura 22. Ejes de Referencia para los Momentos de Inercia de la sección D	68

Figura 23. Distribución de los Materiales Sólidos en el Cargador	72
Figura 24. Diagrama Cuerpo Libre del Eje del Cargador	82
Figura 25. Diagramas de Momento del Eje del Cargador	83
Figura 26. Elementos de Accionamiento del Tambor Mezclador	90
Figura 27. Dimensiones Actuales del Tambor	91
Figura 28. Dimensionamiento del Tambor	93
Figura 29. Dimensiones de las Palas del Tambor Mezclador	95
Figura 30. Volumen del Concreto en la Pala	98
Figura 31. Ubicación del Peso del Concreto	99
Figura 32. Sección Inclínada de la Pala. Lado de la Carga	100
Figura 33. Parte Intermedia de la Pala	103
Figura 34. Sección Inclínada de la Pala. Lado de la Descarga	104
Figura 35. Cuerpo del Tambor Mezclador	106
Figura 36. Cuerpo del Cilindro Abierto	106
Figura 37. Paredes Laterales del Tambor Mezclador	108
Figura 38. Disposición de los Rodillos Soportes y sus Ejes	118
Figura 39. Diagrama de Cuerpo Libre del eje de los Rodillos Soporte	118
Figura 40. Diagrama Momento del Eje Soporte	119
Figura 41. Conducto de Descarga	123
Figura 42. Elementos de Accionamiento del Cangilón	125
Figura 43. Ubicación del Peso Total del Cangilón y el Concreto	128
Figura 44. Paredes Laterales del Cangilón	128

Figura 45. Pared Inclínada del Cangilón	129
Figura 46. Pared Vertical del Cangilón	130
Figura 47. Piso del Cangilón	131
Figura 48. Fuerzas Actuantes en el Cangilón	134
Figura 49. Diagrama de Cuerpo Libre del eje del Cangilón	137
Figura 50. Diagrama de Momento del eje del Cangilón	138
Figura 51. Tolva de Descarga	141
Figura 52. Nueva Disposición de los Elementos de Accionamiento del Cargador Mecanizo	143
Figura 53. Nueva Disposición d los Elementos de Accionamiento del Tambor Mezclador	145
Figura 54. Nueva Disposición de los elementos de Accionamiento del Cangilón	147
Figura 55. Diagrama de Ingresos y Egresos	164

LISTA DE CUADROS

	Pag
Cuadro 1. Dimensiones del tubo de 2.50 m de longitud	26
Cuadro 2. Capacidad de los Tanques, Descarga Inicial e Incrementos de Descarga para Tanques Automáticos	122

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Costos de los Equipos y Materiales	158
Tabla 2. Costos Mano de Obra	159
Tabla 3. Costos Alquiler de equipos y Transporte	159
Tabla 4. Costos Sueldo Mano de Obra Directa MOD	161
Tabla 5. Costos Mano de Obra Indirecta MOI	161
Tabla 6. Costos Materiales Directos	162
Tabla 7. Costos Materiales Indirectos	162
Tabla 8. Gastos de Administración y Venta	162

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en la ciudad de Cartagena se ha suscitado un incremento en los proyectos de inversión hacia el mejoramiento de las redes de agua potable y alcantarillado de la ciudad, por lo que la demanda de la tubería necesaria para la ejecución de estos proyectos ha aumentado.

Esto ha provocado que las empresas del sector de las tuberías de concreto se hallan visto abocadas a mejorar e implementar mejores procesos de producción, en particular la empresa American Pipe and Construction International quien abarca la mayor parte de este mercado en la ciudad.

El objetivo de este estudio es el aumento de la capacidad de producción de la planta, la cual es de $0.1 \text{ m}^3 / \text{min.}$ (0.5 m^3 cada 5 min.).

La empresa American Pipe tiene una serie de equipos los cuales se adaptaron para conformar la planta pero sin el respaldo de algún estudio de diseño.

En el estudio realizado se determina la capacidad actual de los elementos que componen la planta, se analizan los sistemas de transmisión de potencia y se toman decisiones para su rediseño.

También se hace una comparación entre el sistema actual y el rediseño con sus respectivas recomendaciones.

Se elaboran unas recomendaciones de mantenimiento para los equipos que componen el sistema de fundición.

Para la realización de este estudio se analizaran datos tomados en la empresa, informaciones de libros, catálogos especializados y la asesoría del personal de dicha planta

1. CONCRETO

1.1 DEFINICIÓN.

El concreto (hormigón) es un material temporalmente plástico que mediante reacción química se convierte luego en una mezcla sólida. Para obtener concreto se debe mezclar cemento, agregado fino, agregado grueso, aire, agua y, si es necesario, algunos aditivos. Las proporciones de estos componentes pueden ser variadas para conseguir características deseadas tales como resistencia adecuada, facilidad de colocación y durabilidad, al mínimo costo.

1.2 PROPORCIONAMIENTO DEL CONCRETO

Por lo general, se acepta la resistencia a la compresión como la medida principal de la calidad del concreto y, aunque esto no es absolutamente cierto, existe una relación aproximada entre la resistencia a la compresión y las otras propiedades mecánicas. Los métodos para proporcionar (o dosificar) intentan, por lo general, dar al concreto una resistencia predeterminada a la compresión.

La mezcla de concreto se proporciona a se diseña para una condición particular, en varias formas:

- 1) Por selección arbitraria basada en la experiencia y en la practica común, como una parte de cemento, dos partes de arena, cuatro partes de grava (escrita 1:2:4);
- 2) Proporcionando con base en la relación (razón) agua – cemento, supuesta por criterio que da la experiencia o determinada por medio de las mezclas tentativas con los materiales y las condiciones dadas;

- 3) Combinando los materiales con base en los huecos entre los agregados o en curvas de análisis mecánico, a fin de obtener el mínimo de huecos, y por tanto concreto de máxima densidad para un contenido dado de cemento.

1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DEL CONCRETO.

1.3.1 Ventajas

- ⑩ Alta relación resistencia – costo en muchas aplicaciones.
- ⑩ Mientras está plástico, puede colocarse con facilidad dentro de formas o cimbras a temperaturas normales para producir casi cualquier forma.
- ⑩ La cara expuesta puede trabajarse a una superficie dura, lisa o áspera, capaz de soportar el efecto del desgaste por el tráfico de camiones o aviones o puede tratarse para crear los efectos arquitectónicos deseados.
- ⑩ Tiene una alta resistencia al fuego y a la penetración del agua.

1.3.2 Desventajas

- ⑩ En ocasiones, el control de calidad no es tan bueno como para otros materiales de construcción, porque con frecuencia el concreto se prepara en el sitio en condiciones en donde no hay un responsable absoluto de su producción.

- ⑩ El concreto es un material de relativa fragilidad. Su resistencia a la tensión es pequeña comparada con su resistencia a la compresión. No obstante, esta desventaja puede contrarrestarse reforzando o prefirzando el concreto con acero. La combinación de los dos materiales, o sea el concreto reforzado o armado, posee muchas de las mejores propiedades de cada uno.
- ⑩ Tiene aplicación en una gran variedad de construcciones, como estructuras para edificios, pisos y entrespisos, techos y muros, puentes, pavimentos, pilotes, presas y tanques.

1.4 MATERIALES

1.4.1 Cemento Portland. Es una mezcla de Cal, Sílice, Oxido de aluminio y Oxido de Hierro. Esta mezcla se somete a un proceso de trituración y luego a uno térmico para obtener una sustancia llamada Clinker. Este se tritura hasta formar en polvo fino el cual recibe el nombre de Cemento Portland.

1.4.2 Agregados. Los agregados no son más que las arenas, Gravas naturales y la piedra triturada. Constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica de concreto.

1.4.2.1 Agregados Finos. Los agregados finos se obtienen luego de procesar Piedra Pome, Cenizas Volcánicas, Toba, Diatomita y Cenizas Industriales. La resistencia mecánica del concreto que contiene este agregado está en función de su peso, que puede variar desde 35 hasta 115 lb/pie³.

1.4.2.2 Agregado Grueso. Estos agregados se obtienen de diversos productos de canteras y minerales, como la Barita, Limonita, Hematita, limenita y Magnetita.

1.4.3 Aditivos. Los aditivos se añaden como ingredientes al concreto antes o durante la mezcla, para modificar, mejorar o impartir propiedades especiales a las mezclas de concreto. Los aditivos más comunes son: los agentes retenedores de aire, el cloruro de calcio, las puzdanas, reductores de agua y de control de fraguado.

1.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO

Mediante el control de los ingredientes, es posible variar las características del concreto en un grado considerable.

1.5.1 Trabajabilidad. Es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto. Aunque la trabajabilidad resulta difícil de evaluar, en esencia, es la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad.

1.5.2 Durabilidad. Es otra importante propiedad del concreto. El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufridos por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad, incluyendo de 2 a 6% de aire con agente inclusor de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie.

Los agentes químicos, como ácidos inorgánicos, ácidos acético y carbonico y los sulfatos de calcio, sodio, magnesio, potasio, aluminio y hierro, desintegran o dañan el concreto. Cuando puede ocurrir contacto entre estos agentes y el concreto, se debe proteger el concreto.

La resistencia al desgaste, por lo general, se logra con un concreto denso, de alta resistencia, hecho con agregados duros.

1.5.3 Impermeabilidad. Es una propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectados, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como el curado cuidadoso por tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad.

1.5.4 Cambio de Volumen. Es otra característica del concreto que se debe tener en cuenta. La expansión debida a las reacciones químicas entre los ingredientes del concreto puede ocasionar pandeo y la contracción al secarse puede ocasionar grietas.

La expansión debida a la reacción álcali – agregados puede evitarse con agregados que no sean reactivos. La expansión debida al calor de hidratación del cemento puede reducirse manteniendo lo más bajo posible el contenido de cemento, y enfriando los agregados, agua y concreto en las formas.

La expansión debida a aumentos de temperatura ambiente puede reducirse con la producción de concreto de menor coeficiente de dilatación.

Un valor promedio útil del coeficiente de expansión térmica, para los cálculos, es de 5.5×10^{-6} pulg / pulg °F.

La contracción al secar puede reducirse, casi siempre, disminuyendo agua en la mezcla. Ahora bien, con menor cantidad de cemento o con un curado cuidadoso en húmedo, también se reduce la contracción.

1.5.5 Resistencia. Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general, se determina por la resistencia final de una probeta en compresión; pero, en ocasiones por la capacidad de flexión o de tensión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad.

La resistencia a la compresión del concreto a los 28 días puede calcularse a partir de la resistencia a los siete días con una formula propuesta por W. A. Slater (Proceedings of the American Concrete Institute, 1926):

$$S_{28} = S_7 + 30 \sqrt{S_7} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde S_{28} = resistencia a la compresión a los 28 días, lb / pulg²

S_7 = resistencia a los 7 días, lb / pulg²

Se acostumbra determinar la resistencia a la compresión del concreto mediante especímenes en forma de cilindros normales, hechos de acuerdo con las especificaciones ASTM C192 o C31.

La C192 esta destinada para investigaciones o para seleccionar una mezcla (especímenes de laboratorio).

La C31 se aplica para trabajo en ejecución (especímenes de campo)

Las pruebas se deben efectuar como se recomienda en ASTM C39.

El diagrama de esfuerzos – deformación del concreto de una resistencia especifica a la compresión es una línea curva, figura 1.

El esfuerzo máximo se alcanza cuando hay una deformación de 0,002 pulg / pulg, después de la cual desciende la curva.

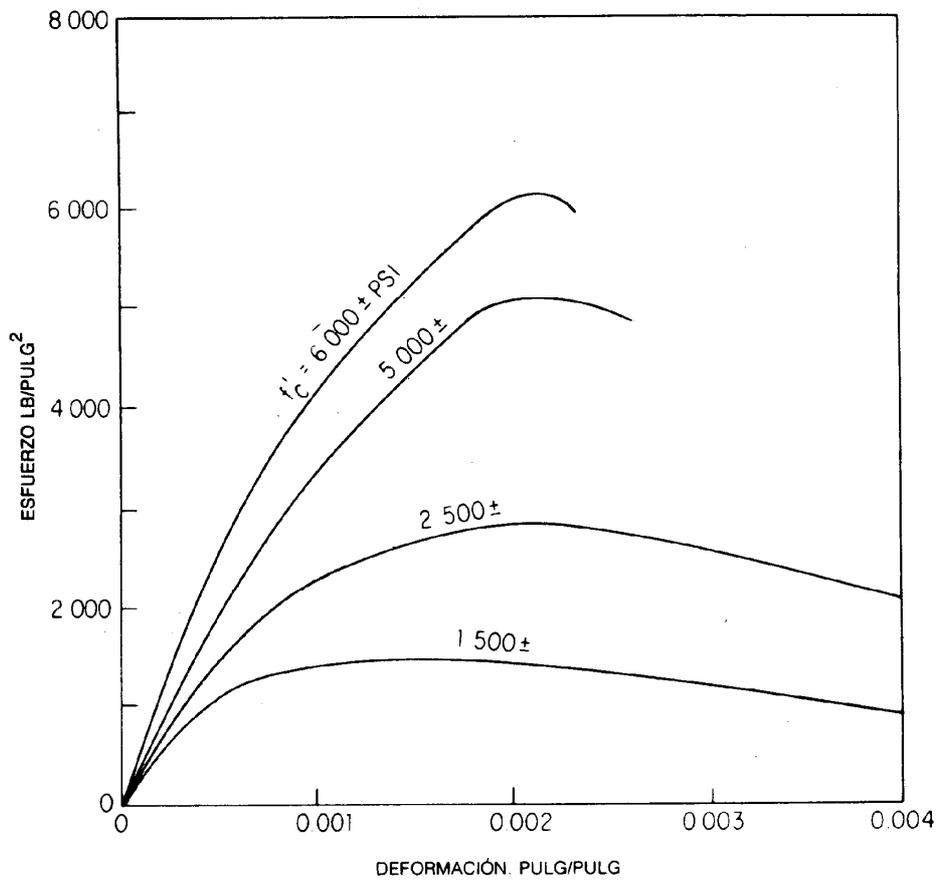


Figura 1. Curvas de Esfuerzo - Deformación para el Concreto

El modulo de elasticidad de uso general en los proyectos de concreto es un modulo secante. En la norma ACI 318 – 71, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, se determina con:

$$E_C = w^{1.5} 33 \sqrt{f'_C}$$

Ecuación 2

Donde: w = peso del concreto, lb / pie³

f'_c = resistencia especifica a la compresión a los 28 días, lb / pulg²

Para el concreto normal, con $w = 145$ lb / pie³

$$E_c = 57000 \sqrt{f'_c}$$

El modulo y la resistencia aumentan con la edad.

1.5.6 Ecurrimiento Plástico. Es una deformación que ocurre con carga constante durante largo tiempo. La deformación del concreto continua, pero con una rapidez que disminuye con el tiempo. Es, más o menos, proporcional al esfuerzo con cargas de trabajo y aumenta cuando se incrementa la proporción agua – cemento; disminuye cuando aumenta la humedad relativa.

1.5.7 Peso por Pie Cubico. El peso por pie cubico del concreto con arena y agregado normales es de unas 145 lb. Puede ser un poco menor, si el tamaño máximo del agregado grueso es menor de 1 ½ pulg. Puede aumentarse con agregado más denso; puede disminuirse utilizando un agregado ligero, aumentando el contenido de aire o incorporando un aditivo espumante o de expansión.

1.6 PROPORCIONAMIENTO

Con el fin de cumplir con las características que exigen las condiciones de servicio al mínimo costo, el primer procedimiento es seleccionar los componentes.

Para efectos de economía, la cantidad de cemento se debe mantener al mínimo y la proporción de agua – cemento debe ser lo más grande que sea posible; con la selección del agregado del tamaño máximo y de acuerdo con los requisitos de la obra, se obtienen vacíos con pequeño volumen. Lo que con lleva al empleo de una cantidad menor de cemento. Además, con una alta proporción de agua – cemento resulta una resistencia a la compresión, durabilidad e impermeabilidad deseadas y sin contracción excesiva.

Como las variables son numerosas, se aconseja proporcionar o dosificar las mezclas con la preparación y prueba de lotes experimentales.

1.7 COLOCACIÓN DEL CONCRETO

Se debe tener control en la caída del concreto en las cubetas, tolvas, carretillas o formas, para evitar la segregación. Para tal fin se utiliza la mezcladora inclinada y además, secciones de tubo de bajada para que el concreto caiga vertical en el centro del depósito objetivo.

Existen diversos equipos para facilitar la colocación del concreto:

Los cangilones, es preferible no utilizarlos cuando la distancia es muy lejos, para evitar separación, afloramiento o pérdida de revenimiento en exceso de 1 pulg. Hay que tener control de la cantidad y dirección de la descarga.

Por lo general, en el uso de camiones se debe volver a mezclar el concreto dado que ocurre estratificación con una capa de agua en la parte superior y el agregado en el fondo.

El concreto lanzado se aplica mediante "pistola" o alimentador mecánico, mezcladora y compresor. El aire comprimido y la mezcla seca alimentan la pistola, que los lanza en chorro por una boquilla equipada con un múltiple perforado. El agua que circula por las perforaciones se mezcla con la mezcla seca antes de expulsarla.

Las carretillas son utilizadas para el transporte en distancias cortas, por lo general desde una tolva hasta las formas.

Cualquier método o equipo utilizado, se debe depositar lo mas cerca posible de su lugar final, para evitar la homogeneidad y otras características, se emplean los vibradores eléctricos y neumáticos para asegurar un estrecho contacto entre el concreto, las formas, los refuerzos y otros materiales inmersos.

1.8 PRECOLADO

El precolado hace referencia a los productos del concreto que son hechos en un lugar que no corresponde a su posición final. Pueden ser reforzados o sin reforzar. Entre ellos están: Tubos, Ladrillos, Bloques, Losas, Vigas y Trabes, Armaduras y sus componentes, Cunetas, Antepechos, Umbrales, Pilotes, Cabezas de Pilotes y Muros. Con el precolado es más fácil mantener el control de calidad y producir concreto de mayor resistencia que colado en obra.

1.9 CURADO DEL CONCRETO

El efecto que tiene el secado después del fraguado inicial es la demora o impedimento de la hidratación completa. Para mejorar dicha hidratación se realizan ciertas operaciones, a las que se denominan curado.

El curado más común es el mantenimiento de un ambiente húmedo mediante la adición de agua; las superficies de concreto expuestas se mantienen mojadas en forma continua por aspersion o inundación o con un cubrimiento de tierra, arena o sacos que se mantienen mojados.

Con vapor dentro de una cámara se hace el curado al concreto precolado y al colado en tiempo muy frío. la hidratación se acelera con la temperatura superior a la normal y el concreto alcanza una alta resistencia rápida, las temperaturas que se mantienen suelen ser entre 100 y 165° F.

El curado en autoclave (con vapor y a alta presión) mantiene el concreto en una atmósfera saturada a temperaturas más altas que el punto de ebullición del agua. Por lo general, las temperaturas están entre 325 y 375° F a presiones manometricas entre 80 y 170 lb / pulg² se aplica para mampostería de concreto.

1.10 MEZCLADO

Teniendo los componentes del concreto la dosificación adecuada, se procede al mezclado, etapa que se lleva a cabo, según la naturaleza de la obra, en forma manual o mediante una mezcladora mecánica (también llamada hormigonera).

La mezcladora es una máquina en la cual se introducen sucesivamente los componentes del concreto: arena, grava, cemento y agua. Se compone de una cuba giratoria o fija y de palas fijas o móviles respecto a la cuba. Si la mezcladora es de pequeña o mediana capacidad, posee un bastidor montado sobre ruedas de hierro o neumáticos. Por encima de los 750 o 1000 litros de capacidad, las hormigoneras son fijas y se les denominan centrales de hormigón; estas últimas están provistas de un dispositivo de vaciado y uno de carga.

La norma ICONTEC 1757 clasifica las mezcladoras de acuerdo a la forma del recipiente y a su transportabilidad.

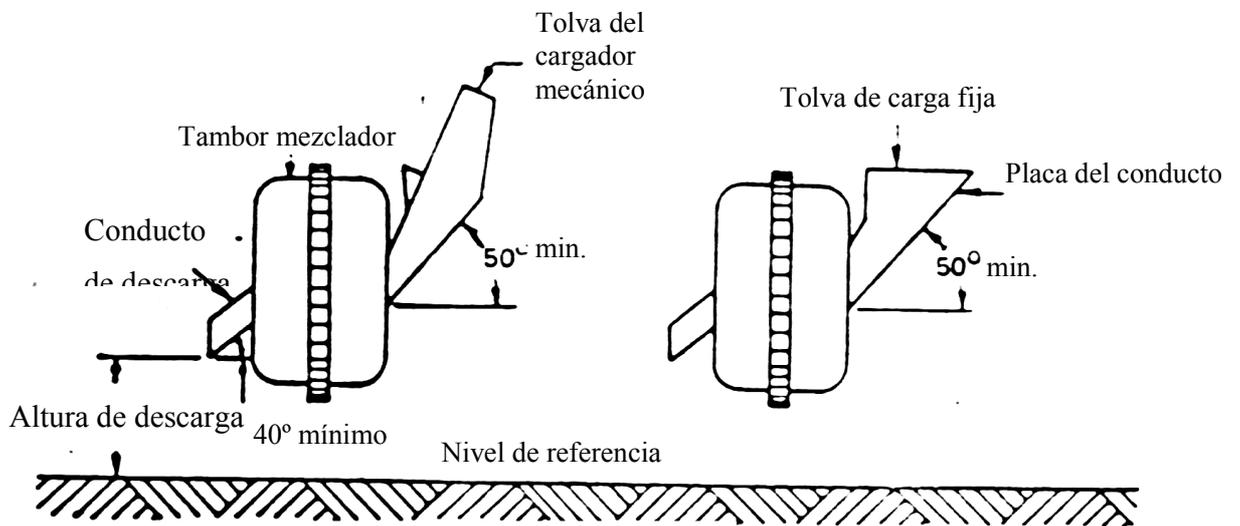
1.10.1 Mezcladoras según la Forma del Recipiente. Según la forma del recipiente las mezcladoras pueden ser de caída libre (Tipo Tambor) y de acción forzada (Tipo Cubeta)

1.10.1.1 Mezcladora de Caída Libre. Es aquella que posee un tambor que gira alrededor de un eje horizontal o inclinado y tiene generalmente una serie de aspas montadas internamente. La acción de mezclado se realiza cuando una porción de la carga es levantada mientras el tambor gira y, en un cierto punto de cada revolución, cae hacia la base del tambor, donde se combina

con otras partes de la carga en una secuencia continua hasta formar una mezcla homogénea.

Esta clase de mezcladoras se divide (ver figura 2)

- ✓ Mezcladoras de Tambor Inclinable: El tambor tiene un eje inclinado y un compartimiento simple,
- ✓ Mezcladoras de Tambor no Inclinable: El tambor gira en una dirección alrededor de un eje horizontal y consta de un compartimiento simple con dos aberturas.
- ✓ Mezcladoras de Tambor Reversible: El tambor gira alrededor del eje horizontal. La dirección de movimiento se invierte en el momento de la descarga.



Mezcladoras no inclinables

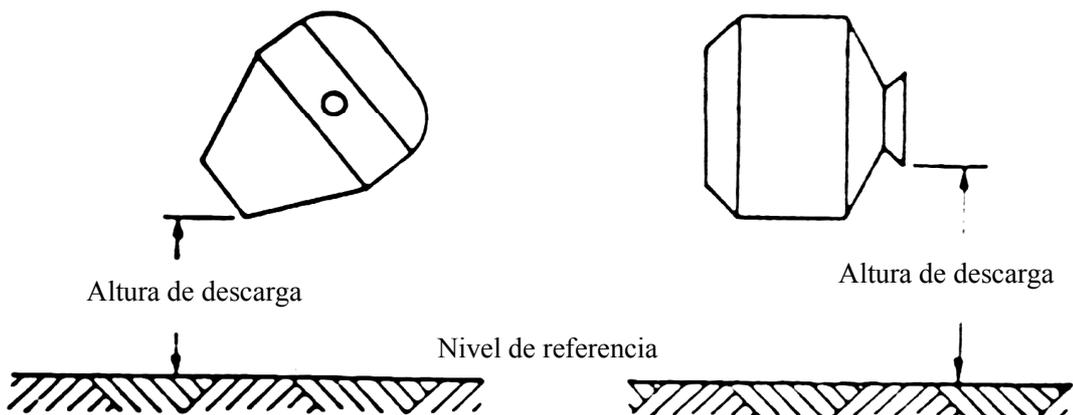


Figura 2. Mezcladoras de Caída Libre.

1.10.1.2 Mezcladoras de Acción Forzada. Aquella que posee una cubeta (o canal), la cual tiene aspas (o paletas) que se mueven relativamente unas a otras.

La acción de mezclado se realiza por los movimientos relativos entre la mezcla, la cubeta y las aspas. Esta clase de mezcladoras se divide en (ver figura 3):

- ✓ Mezcladora de Canal Anular: Cubeta estacionaria con paletas estacionarias.
- ✓ Mezcladora de Cubeta Estacionaria: Aquella que posee una cubeta estacionaria con paletas colocadas concéntricamente y uno o más grupos de paletas giratorias planetarias.
- ✓ Mezcladora de Cubeta Giratoria: Aquella que posee una cubeta giratoria con paletas giratorias no planetarias colocadas excéntricamente.
- ✓ Mezcladora de Canal Axial: Aquella que posee un canal estacionario con uno o más grupos de paletas giratorias montadas alrededor.

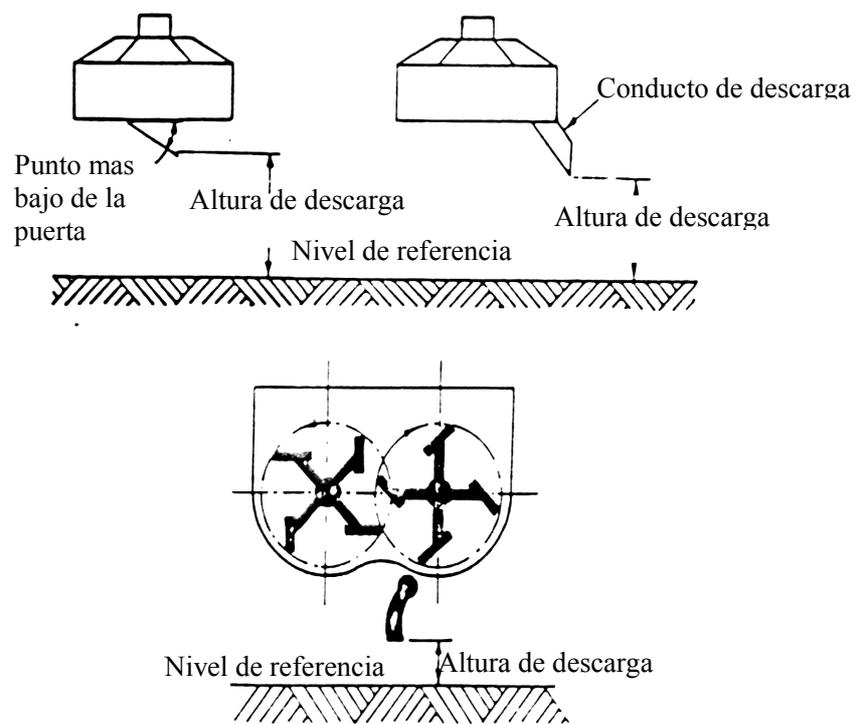


Figura 3. Mezcladoras de Acción Forzada

1.10.2 Mezcladoras según su Transportabilidad. Según su transportabilidad las mezcladoras pueden ser estáticas, portátil o de remolque.

1.10.2.1 Mezcladoras Estáticas. Aquella no prevista de ruedas y usualmente construida dentro de una planta de mezcla.

1.10.2.2 Mezcladora Portátil. Aquella acondicionada con ruedas de forma simple.

1.10.2.3 Mezcladora de Remolque. Aquella acondicionada con ruedas de vehículo automotor de modo que pueda ser conducida o remolcada eficiente y seguramente a la máxima velocidad permitida para la mezcladora.

1.10.3 Características de las Mezcladoras. Además de su peso y de la potencia de sus motores, las características principales de las hormigoneras son:

1.10.3.1 Capacidad de la Cuba (Tambor). Se determina la capacidad en volumen de áridos y de cemento introducidos en cada carga. A ello corresponde una producción de hormigón en cada amasada que da un volumen de hormigón colocado. La relación entre estas dos cantidades (la

primera es evidentemente más grande), se puede estimar en 1.35 si el hormigón es apisonado, y de 1.55 si es vibrado.

1.10.3.2 Velocidad de Rotación de la Cuba. Depende del diámetro de esta. No es preciso, en efecto, sobrepasar una determinada fuerza centrífuga, que conduciría a la segregación de los materiales, agrupándose los gruesos en la periferia. Si D es el diámetro de la cuba medido en metros, y n la velocidad de rotación expresada en revoluciones por minuto, se debe respetar la formula:

$$D \times n^2 = 350 \text{ ó } 450.$$

1.10.3.3 Tiempo de Mezclado. Para estar bien mezclados, los materiales deben recorrer una determinada distancia. La duración del mezclado dependerá, pues del diámetro de la cuba (tambor). Será igualmente función del tipo de hormigonera. Es preciso no sobrepasar una determinada duración para que no produzca segregación. Se admite, generalmente, que el número de vueltas del tambor debe ser como mínimo de 20 ó 30 para una mezcladora de eje horizontal (o sea, de una duración de un minuto a un minuto y 30 segundos si el diámetro del tambor es de 1 m), y de 30 a 40 para hormigoneras de eje inclinado (o sea, un tiempo de mezcla de 1.5 minutos a 2 minutos para un tambor es de 1 m). La duración máxima será del orden de

tres veces la duración mínima. Si el diámetro de la mezcladora aumenta, el número de revoluciones deberá crecer con la raíz cuadrada del diámetro.

1.10.3.4 Producción Horaria. Depende de las características precedentes y de los tiempos muertos de llenado y vaciado.

1.10.4 Designación.

1.10.4.1 Tipo. La mezcladora de hormigón se designa por un número que representa su capacidad de carga nominal en dm^3 para tamaños que contengan hasta 1000 dm^3 y en metros cúbicos para tamaños mayores de 1000 dm^3 , conjuntamente con una (s) letra (s) indicando el tipo de mezcladora, de la siguiente manera:

Tipo Tambor inclinable I

Tipo Tambor no inclinable NI

Tipo Tambor reversible R

Tipo Acción forzada F

La letra sigue al número en aquellos casos donde esté represente la capacidad en dm^3 y lo precede en aquellos casos donde el número representa la capacidad en metros cúbicos

1.10.4.2. Tamaño. Las mezcladoras deben ser de uno de los siguientes tamaños:

Tipo tambor inclinable 100I, 150I, 175I, 200I y 250I

Tipo tambor no inclinable 175NI, 200NI, 250NI, 350NI, y 750NI

Tipo tambor reversible 200R, 250R, 350R, 500R

Tipo acción forzada 200F, 250F, 350F, 500F, 750F, 1000F, F1.5 y F2.0

El tamaño de la mezcladora debe ser tal que sobre el nivel del suelo, pueda contener todos los materiales y mezclarlos homogéneamente sin derramarlos para producir el volumen de hormigón dado.

1.10.5 Rotulado. Cada mezcladora deberá tener una placa de características con letras grabadas, adheridas en algún sitio visible sobre el armazón, con la siguiente información:

- Nombre del fabricante
- Numero de referencia de la máquina
- Velocidad del tambor o la cubeta, en rev/min.
- Velocidad del motor, en rev/min.
- Año de fabricación
- Tamaño de la mezcladora, en dm^3 ó en m^3

1.11 TUBOS DE CONCRETO

El empleo de los tubos de concreto se extiende de una manera progresiva, no solamente en la conducción y distribución de aguas potables, alimentación de servicios industriales, aprovechamientos hidroeléctricos, riegos, etc., sino también en redes de alcantarillado, vertido de industria, desagües.

La utilización de las tuberías de concreto presenta notables ventajas frente a las fabricadas con otros materiales o elementos componentes, en virtud de sus características. Entre ellas pueden citarse:

- ✓ La pérdida de carga por rozamiento es reducida, debido al acabado de su superficie interior.
- ✓ La pérdida de carga se mantiene constante a lo largo del tiempo, debido a que no se producen incrustaciones o crecimientos en su superficie interior.
- ✓ Los gastos de conservación y mantenimiento quedan reducidos al mínimo.
- ✓ Económicamente, resultan más aceptables que los tubos metálicos o de cerámica.

Ha de señalarse que el peligro que podría presentar el ataque del concreto por las aguas residuales se limita a casos concretos, que pueden resolverse con unas dosificaciones adecuadas o adaptando medidas de protección.

La norma ICONTEC 401 establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a que deben someterse los tubos de hormigón reforzado de sección circular.

1.12 DEFINICION Y CLASIFICACIONES DE LOS TUBOS DE CONCRETO

1.12.1 Definición en los tubos de concreto

- ✓ Diámetro nominal: Diámetro interior del tubo.
- ✓ Diámetro interior real: El especificado por el productor y que debe estar entre los valores indicados en el cuadro 1.
- ✓ Carga D: Cociente que resulta de dividir la carga total aplicada al tubo hasta obtener su agrietamiento o su rotura, por el diámetro nominal y la longitud ensayada. La unidad de la carga es N / m / mm, (kgf /m / cm).

Cuadro 1

- ✓ Agrietamiento: Se considera que se alcanza el agrietamiento, cuando se presenta una grieta de 0,30 mm de ancho en una longitud de 30 cm.

- ✓ Refuerzo Perimetral de Acero: Refuerzo de acero (sea circular, doble circular, circular y elíptico, por cuadrantes, etc.) que, unido con el refuerzo longitudinal, constituye la canasta de refuerzo del tubo.

1.12.2 Clasificación de los Tubos de Concreto. De acuerdo con su resistencia, los tubos se clasifican en cinco clases, a saber: Clase I, Clase II, Clase III, Clase IV y Clase V.

1.13 CONDICIONES GENERALES DE LOS TUBOS DE CONCRETO

Los tubos deben estar fabricados con cemento Portland, agregados minerales, agua y acero de refuerzo. El cemento Portland debe cumplir con las normas ICONTEC 30, 121 y 321, su contenido en el hormigón en ninguna caso debe ser inferior a 350 Kg. de cemento por 1 m³ de mezcla de hormigón.

Los agregados deben cumplir con la norma ICONTEC 174, no siendo aplicables los requisitos de gradación; la mezcla de los agregados se hace por medios mecánicos; y debe producir un hormigón efectivo.

Los aditivos (acelerantes, retardantes, etc.) que se utilicen cumplirán con la norma ICONTEC 1299, y se utilizarán cuando exista un convenio previo.

El agua debe ser aparentemente limpia y exenta de sustancias que puedan afectar la calidad del hormigón. En caso de duda, deben efectuarse ensayos de resistencia del hormigón, para determinar su posible utilización.

El acero de refuerzo debe cumplir con las normas ICONTEC 161 y 248; el transporte y vaciado del hormigón debe hacerse por medios que eviten segregación y el desplazamiento del acero de refuerzo.

La resistencia especificada para el hormigón debe ser la alcanzada en un periodo no mayor de 28 días; el tiempo de curado debe ser el necesario para alcanzar dicha resistencia.

2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA Y RESEÑA HISTORICA

American Pipe and Construction International es una empresa dedicada a la fabricación de tuberías de concreto y aceros. En Colombia, actualmente existen tres fabricas y oficinas dedicadas a la fundición de tuberías de concreto ubicadas en las ciudades de Santa Fe de Bogotá, Cali y Cartagena.

En Cartagena, la planta de fundición de tubería de concreto se localiza sobre la margen derecha de la carretera la Cordialidad en el Km 1 que de Cartagena conduce a Barranquilla.

Iniciando labores en el año 1992, cuenta con su propia planta generadora de energía alimentada con ACPM, mas instalaciones físicas en su mayoría desmontables, hechas por el departamento de mecánica en Santa Fe de Bogotá pero que no cuenta con planos y en la que algunos elementos son montados en forma empírica. Además cuenta con oficinas, instalaciones para

el mantenimiento de la planta, bodega de insumos, patios suficientes para el almacenamiento de los tubos.

2.2 TUBERIAS DE CONCRETO PRODUCIDAS POR AMERICAN PIPE

La empresa produce tubería de concreto reforzado (RCP) en diámetros entre 24 pulgadas y 2.44 metros. Se fabrican para múltiples usos como colectores de aguas lluvias, sistemas de alcantarillado sanitarios, conducciones de agua potable, alcantarillas y sistemas de riego, lo que indica la gran versatilidad, seguridad y economía a largo plazo.

Incorporando las cantidades precisas de acero de refuerzo en la pared de concreto densamente compactada, la tubería de concreto reforzado se diseña para soportar grandes cargas.

Dentro de la línea de producción standard pueden soportar presiones internas hasta 53 lbs/pulg² y un relleno hasta de 6 m, sobre la clave del tubo, aproximadamente.

Las características que se tienen en cuenta para la fabricación de las tuberías son:

Resistencia: El concreto y el acero se combinan para obtener los mejores resultados y una óptima seguridad.

Durabilidad: La tubería de concreto ha sido utilizada en condiciones de agua potable y servida por varios siglos. Ningún otro producto es comparable en durabilidad.

Características de flujo: La pared interior completamente lisa proporciona excelentes características de flujo.

Calidad: El control de calidad y la inspección en fábrica, aseguran la calidad y el cumplimiento adecuado de las normas.

Economía: La facilidad de instalación, el funcionamiento correcto sin necesidad de mantenimiento, la resistencia a la corrosión y su larga vida, redundan en grandes economías.

Especificaciones: La tubería de concreto reforzado se fabrica cumpliendo los requisitos de las especificaciones ICONTEC 401 y ASTM C-76 y la tubería de concreto para baja presión bajo las especificaciones ASTM C-361.

2.3 PLAN DE OPERACIÓN DE LA EMPRESA

2.3.1 Acondicionamiento Previo al Proceso de Fundición. Antes de iniciar el proceso de fundición de los tubos, todos los dispositivos de transporte, carga, descarga y de mezcla se someten a una inspección de limpieza y mantenimiento; así mismo se inspecciona la planta generadora de energía, elementos de transmisión de potencia, de accionamiento mecánico, eléctricos y neumáticos para verificar que estén en buenas condiciones de funcionamiento.

De otro lado, se inicia el proceso de construcción de la canasta metálica de refuerzo, el corte del Tee-lock o tela plástica utilizada para proteger el tubo de la corrosión debido al ácido sulfúrico que emiten las aguas residuales.

Así mismo se verifican la compactación y nivelación del terreno donde van los moldes a recibir el concreto proveniente del proceso.

2.3.2 Preparación del Concreto. Este proceso se inicia con la colocación de los materiales cerca de a la mezcladora.

La arena y la grava, se apilan a lado y lado del Skip o cuchara de alimentación del tambor de la mezcladora.

Así mismo el cemento se obtiene de los silos que se encuentran bastante cerca. El agua es llevada a un tanque de alimentación por medio de una bomba y a través de este se vierte al interior del tambor de la mezcladora en forma precisa y exacta.

En una báscula se pesan las cantidades de arena, grava y cemento necesarios para obtener $\frac{1}{2} \text{ m}^3$ de concreto, cada uno de los cuales se vierte en un recipiente donde es marcado el volumen que ocupa y que se toma como patrón para las siguientes porciones.

Con el tambor de la mezcladora en rotación se hace llegar una cierta cantidad de agua al interior de este antes de verter los otros materiales; con esto se busca limpiar sus paredes del concreto que se adhiere de anteriores mezclas.

Así mismo el cargador mecánico es llenado con todos los agregados en su orden, grava, arena y cemento con el fin de que haya un deslizamiento de los materiales por el conducto de descarga del cargador mecánico.

Después estos son vertidos al tambor de la mezcladora y así mismo se agrega el resto de agua necesaria.

2.3.3 Mezclado del Concreto. El proceso de mezclado de los ingredientes se realiza en el interior del tambor de la mezcladora. El tiempo aproximado en cada mezclada es de 90 segundos aproximadamente para obtener $\frac{1}{2} \text{ m}^3$ de concreto.

2.3.4 Vaciado y Distribución. Obtenida la amasada, se procede al vaciado en el cangilón a través del conducto de descarga de la mezcladora y que se encuentra en la parte opuesta al cargador mecánico.

El cangilón se eleva hasta la parte superior de la tolva de descarga que tiene forma de embudo en cuya parte inferior posee una compuerta que permite controlar la caída del concreto a las carretillas para que sea llevado a cada uno de los moldes.

2.3.5 Secado, Curado y Almacenamiento. Una vez vaciado el concreto en el molde debe permanecer en ellos 24 horas; en el caso de emplear acelerantes se deja alrededor de 6 horas. Después de estos tiempos los moldes son retirados y trasladados a un sitio donde se someten a un curado por aspersión; el cual consiste en hacer permanecer los tubos durante siete días en el rocío de agua, para obtener las propiedades adecuadas, buen acabado y de dimensiones precisas. Luego del curado, los tubos son llevados a los patios de almacenamiento.

De cada lote de tubos obtenido se toma uno para someterlo a prueba hidrostática y verificar así las características y propiedades exigidas por las normas.

2.4 CANTIDAD DE MATERIALES

- **Cantidad de agua**

Por experiencia American Pipe and Construction International ha adoptado el contenido de agua en $130 \text{ l} / \text{m}^3 = 130 \text{ k} / \text{m}^3$ con lo cual se asegura un abastecimiento de 1”

$$\frac{A}{C} = \frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.421$$

- **Masa – Cemento**

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{0.421} = \frac{130 \text{ kg}}{0.421} = 309 \text{ kg/m}^3$$

Se empleara por seguridad un contenido de cemento de 400 Kg. / m³ por encima de lo especificado por la norma ICONTEC 401.

De acuerdo a ensayos realizados en la empresa se obtuvo una mezcla ideal del 62% de grava y 38% de arena.

La densidad aparente de la mezcla se obtiene mediante la expresión

$$d_m = \frac{d_a * d_g}{a * d_g + b * d_a} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

d_m = Densidad aparente de la mezcla

d_a = Densidad aparente de la arena = 2472 Kg. / m³

d_g = Densidad aparente de la grava = 2555 Kg. / m³

a = Porcentaje de arena en la mezcla / 100 = 0.38

g = Porcentaje de grava en la mezcla / 100 = 0.62

$$d_m = \frac{(2472) * (2555)}{0.38 * (2555) + 0.62 * (2472)}$$
$$d_m = 2523 \text{ kg / m}^3$$

Para obtener un concreto de 5000 lb por cada m³ de concreto deben agregarse:

Cemento: 400 Kg. / m³

Arena: 711 Kg. / m³

Grava: 1162 Kg. / m³

Agua: 130 Kg. / m³

Volumen de Cemento:

$$(400 \text{ Kg. / m}^3) / (3140 \text{ Kg. / m}^3) = 0.1274 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

Volumen de Agua:

$$(130 \text{ Kg. / m}^3) / (1000 \text{ Kg. / m}^3) = 0.13 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

El porcentaje de grava y arena es $1 - 0.1274 - 0.13 = 0.7426 \text{ m}^3 / \text{m}^3$ por lo tanto la masa de grava y arena es:

$$\text{Masa Grava – Arena} = 0.7426 \text{ m}^3 / \text{m}^3 * 2523 \text{ kg. / m}^3$$

$$\text{Masa Grava – Arena} = 1874 \text{ Kg. / m}^3$$

el 62% de esa masa es grava y el 38% restante de esta es arena, por lo que

Masa de la Grava

$$1874 \text{ Kg. / m}^3 * 0.62 = 1162 \text{ Kg. / m}^3$$

Volumen de la Grava:

$$(1162 \text{ Kg} / \text{m}^3) / (2555 \text{ Kg} / \text{m}^3) = 0.4548 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

Entonces, el volumen de arena es:

Volumen de arena:

$$1 - V_{\text{agua}} - V_{\text{cemento}} - V_{\text{grava}}$$

$$1 - 0.130 - 0.1274 - 0.4548 = 0.2828 \text{ m}^3 / \text{m}^3$$

3. CALCULO DE CAPACIDAD, VELOCIDADES Y POTENCIA

En este capítulo se desarrollan los cálculos de capacidad, velocidades y potencias de los dispositivos mecánicos que intervienen en el sistema de fundición de tubos de concreto; específicamente desde la alimentación de los materiales hasta la descarga del concreto.

Para tal efecto, se han dividido en tres subsistemas:

- ✓ Carga de los materiales (subsistema de Carga)
- ✓ Mezclado del concreto (subsistema de Mezclado)
- ✓ Descarga del concreto (subsistema de descarga)

3.1 SUBSISTEMA DE CARGA

El elemento básico del sistema de carga es el cargador mecánico como el que muestra la figura 4, utilizado para recibir y descargar al tambor de la mezcladora las cantidades medidas de materiales sólidos sin derramarlos.

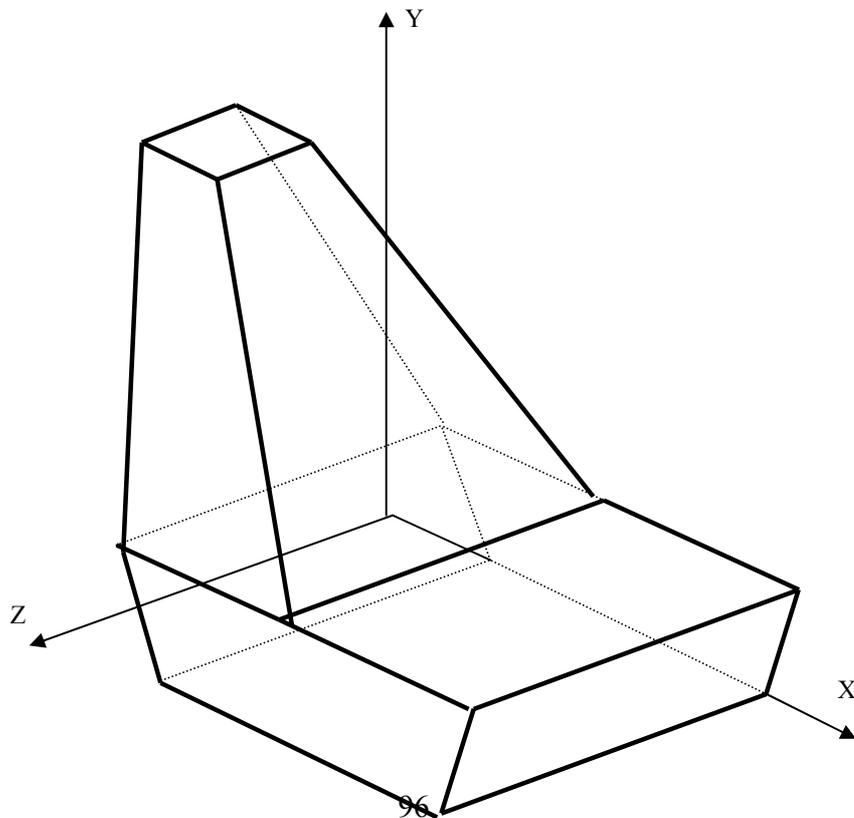


Figura 4. Cargador Mecánico existente.

Para su accionamiento cuenta con los siguientes elementos (ver figura 5)

- a) Motor eléctrico trifásico de 15 HP y 1750 r.p.m., el cual transmite potencia a través de un sistema de poleas.
- b) Dos correas en v montadas en un par de poleas de dos canales y de 15 cm de diámetro.
- c) Un reductor de velocidad cuya velocidad de entrada es de 1750 r.p.m. y de salida de 38,4 r.p.m.; relación de velocidad 45.57:1
- d) Transmisión por cadena de rodillos cuyos sprocket menor tiene 18 cm de diámetro y 30 dientes y el sprocket mayor cuenta con 70 dientes y 45 cm de diámetro.
- e) Un freno del tipo utilizado en camiones accionado por medios neumáticos el cual se usa para detener mediante desacople el giro del tambor del cable.
- f) Un tambor de 16.5 cm de diámetro para enrollamiento del cable.
- g) Cable de acero de $\frac{1}{2}$ pulg y 400 cm de longitud aproximadamente.

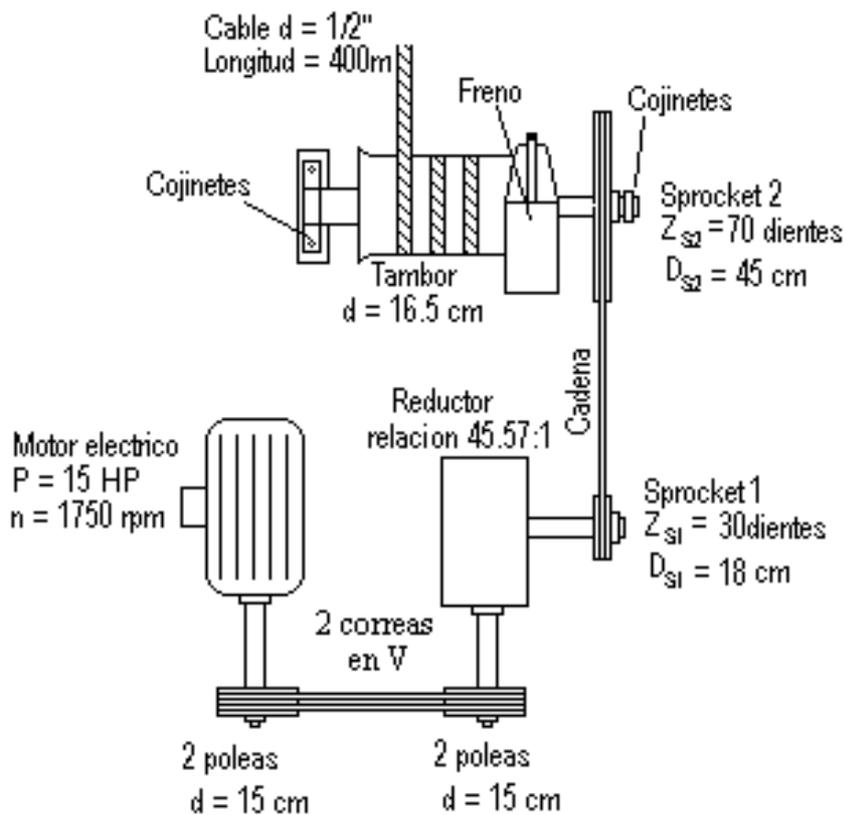


Figura 5. Elementos de Accionamiento del Cargador Mecánico.

3.1.1 Verificación de la Capacidad del Cargador. El actual cargador está diseñado con laminas de acero soldadas, cuyo espesor es de 3/16 in. En la figura 4 se muestran las vistas frontal y lateral del cargador, además de sus dimensiones actuales con las cuales se calculará la actual capacidad del elemento.

El volumen de carga es el área de un trapecio (vista lateral) multiplicado por el ancho L (vista frontal), ecuación (4).

$$\text{Volumen de carga} = \text{área trapecio} \times L = \frac{[B + b] * h * L}{2}$$

Ecuación 4

Donde:

B = base mayor; 1.18 m.

b = base menor; 0.88 m.

H = altura; 0.3262 m.

L = ancho; 1.28 m.

Reemplazando tenemos:

$$V_{\text{carga}} = \frac{(1.18 + 0.88) * (0.3262) * (1.28)}{2}$$

$$V_{\text{carga}} = 0.43 \text{ m}^3$$

De estos resultados y de las mediciones hechas en la planta, surgen las siguientes razones para el rediseño del cargador:

- a) Capacidad insuficiente del cargador mecánico para obtener 1 m³ de concreto en una sola vaciada al tambor de la mezcladora de los materiales sólidos necesarios.
- b) Con la capacidad del cargador actual sería necesario efectuar dos vaciadas de materiales para obtener 1 m³ de concreto, lo que implica un mayor gasto de tiempo en la operación.
- c) Cuando el cargador mecánico se encuentra en su parte mas inclinada superior, no cumple con la norma ICONTEC 1757, la cual sugiere que este ángulo no sea menor de 50° respecto a la horizontal. Actualmente este ángulo es de 43° (ver figura 7) dificultando de esta manera el desplazamiento de los materiales hacia el tambor de la mezcladora; lo que con lleva a una perdida de tiempo al tratar de evacuarlos sometiendo el cargador a golpes.

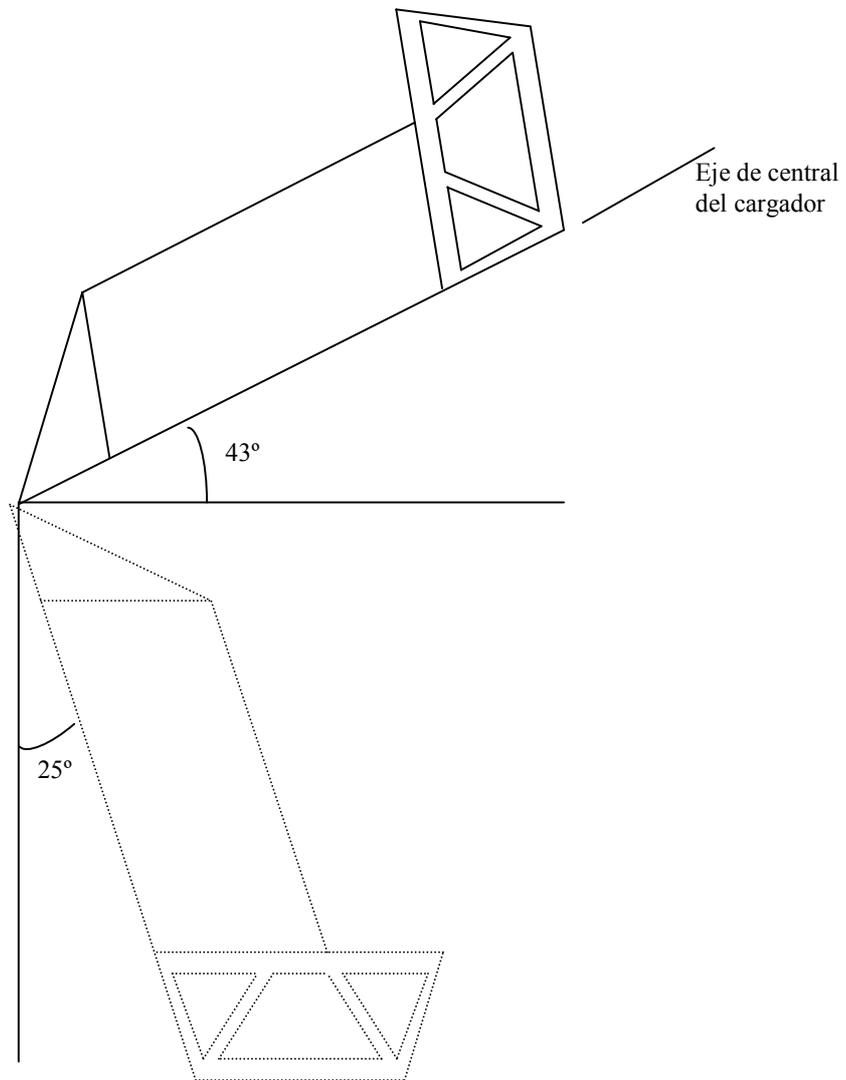


Figura 7. Angulos de Reposo del Cargador Mecánico.

3.1.2 Dimensionamiento del Cargador Mecánico. Atendiendo a las anotaciones en el numeral anterior en lo concerniente al ángulo de inclinación central del eje del cargador con respecto a un eje horizontal

cuando este se encuentra en su posición mas alta y a las condiciones de espacio y facilidad de manejo de los materiales a mezclar, se procede a especificar las dimensiones para un nuevo cargador.

Para obtener una mejor ilustración del procedimiento a seguir tomaremos como guía la figura 8 que muestra un despiece de las partes que constituirán el cargador mecánico. Algunas de las dimensiones que se utilizaron para los cálculos del nuevo cargador son asumidas y otras tomando como referencia el actual cargador.

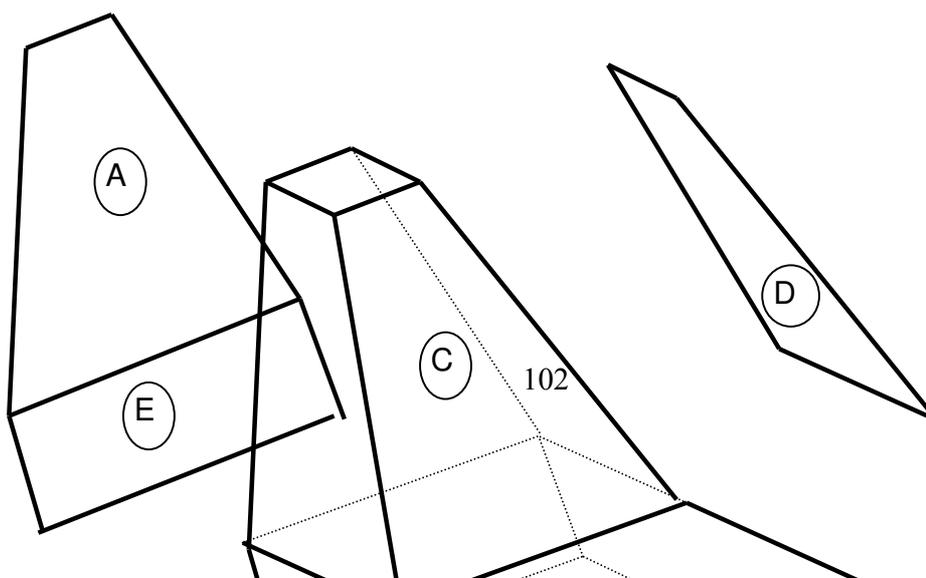


Figura 8. Despiece del Cargador Mecánico

Pieza A

Actualmente el ángulo que forma esta lamina con una línea vertical es de 25° (ver figura 7) cuando el cargador esta en posición de recibir los materiales, con lo que se obtiene un ángulo de 43° aproximadamente cuando el cargador esta en su posición inclinada más alta (ver figura 7)

Tomando para el nuevo cargador un ángulo de partida de 37° se superaría ampliamente los 50° como mínimo que exige la norma ICONTEC 1757; y tomando como partida la distancia del eje de rotación (punto de pivote O) hasta el suelo la cual es de 92.4 cm, se obtienen el resto de las dimensiones del cargador mecánico donde las medidas de la base inferior y superior del trapecio se asumen por conveniencia.

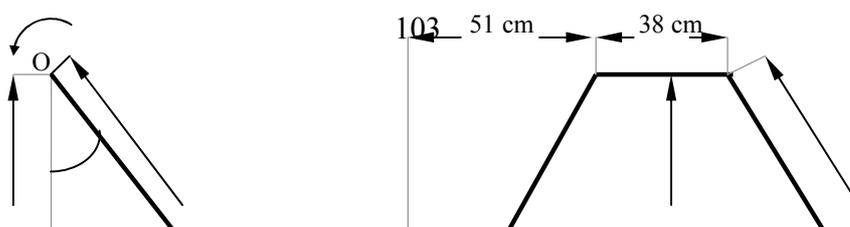


Figura 9. Pieza A

Por lo tanto

$$h = \frac{92.4 \text{ cm}}{\cos \theta_p}$$

$$h = \frac{92.4 \text{ cm}}{\cos 37^\circ}$$

$$h = 115.7 \text{ cm}$$

$$\tan \phi = \frac{h}{51 \text{ cm}}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{115.7 \text{ cm}}{51 \text{ cm}} \right)$$

$$\phi = 66.2^\circ$$

Entonces la dimensión l sería

$$l = \frac{h}{\text{Sen}\phi}$$

$$l = \frac{115.7 \text{ cm}}{\text{Sen } 66.2^\circ}$$

$$l = 126.4 \text{ cm}$$

El cateto m viene a estar dado por:

$$m = (92.4 \text{ cm}) \text{ Tan } \theta_p$$

$$m = (92.4 \text{ cm}) \text{ Tan } 37^\circ$$

$$m = 69.6 \text{ cm}$$

Pieza B

La lamina B varia sus dimensiones en sus paredes laterales. Asignando algunas dimensiones y conociendo que el ancho del colector es de 140 cm tenemos:

Volumen del Deposito = área del trapecio x ancho del colector Ecuación 5

$$1000000 \text{ cm}^3 = (140 + 95) / 2 * a * 140$$

Despejando la dimensión a se tiene que:

$$a = 60.8 \text{ cm}$$

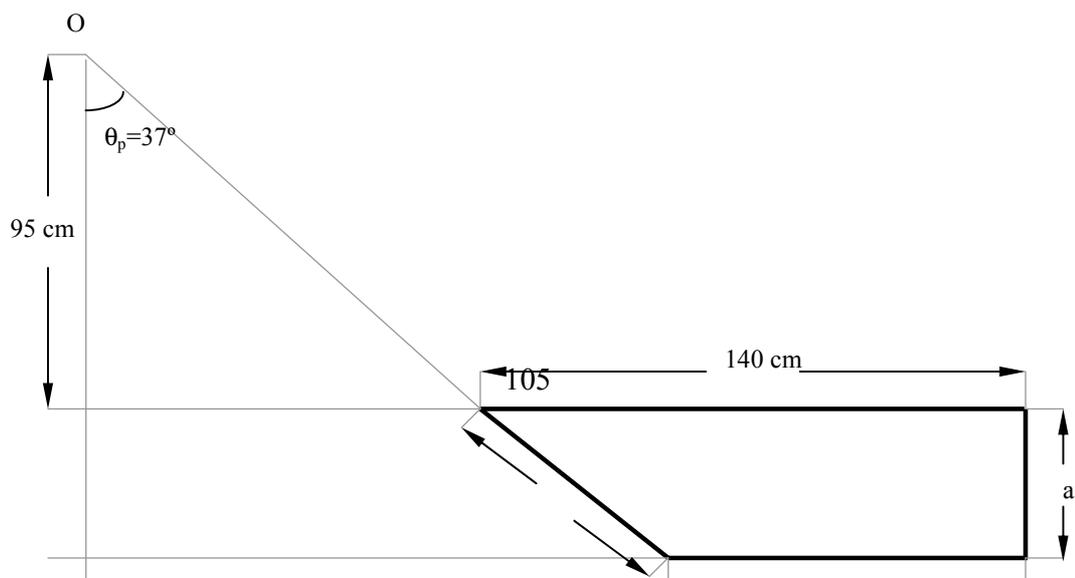


Figura 10. Pieza B

Por lo que:

$$b = \frac{a}{\cos \phi_p}$$
$$b = \frac{60.8 \text{ cm}}{\cos 37^\circ}$$

$$b = 76.13 \text{ cm}$$

Pieza C

Las dimensiones de la tapa del conducto del cargador se determinan de la siguiente manera

$$d = m + 60 - 30; \text{ donde } m = 69.6 \text{ cm (ver pieza A)}$$

$$d = 99.6 \text{ cm}$$

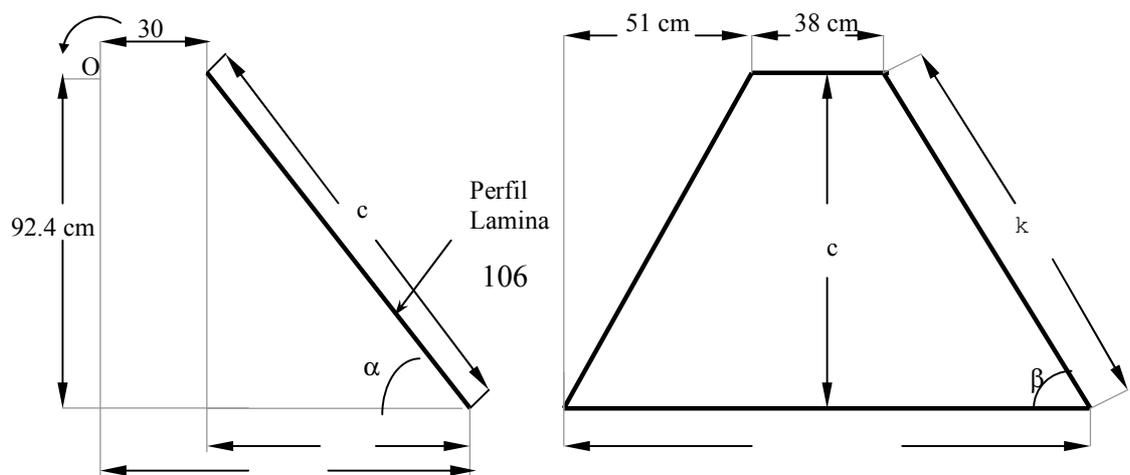


Figura 11. Pieza C

Ahora

$$\text{Tan } \alpha = \frac{92.4 \text{ cm}}{d}$$

$$\text{Tan } \alpha = \frac{92.4 \text{ cm}}{99.6 \text{ cm}}$$

$$\alpha = 42.8^\circ$$

$$C = \frac{95.4 \text{ cm}}{\text{Sen } \alpha}$$

$$C = \frac{95.4 \text{ cm}}{\text{Sen } 42.8^\circ}$$

$$C = 135.8 \text{ cm}$$

$$\text{Tan } \beta = \frac{C}{51 \text{ cm}}$$

$$\text{Tan } \beta = \frac{135.8 \text{ cm}}{51 \text{ cm}}$$

$$\beta = 69.4^\circ$$

Por lo tanto

$$k = \frac{C}{\text{Sen } \beta}$$

$$k = \frac{135.8\text{cm}}{\text{Sen } 69.4^\circ}$$

$$k = 145.0 \text{ cm}$$

Pieza D

Las dimensiones de las laminas laterales del conducto del cargador vendrían a estar determinadas por:

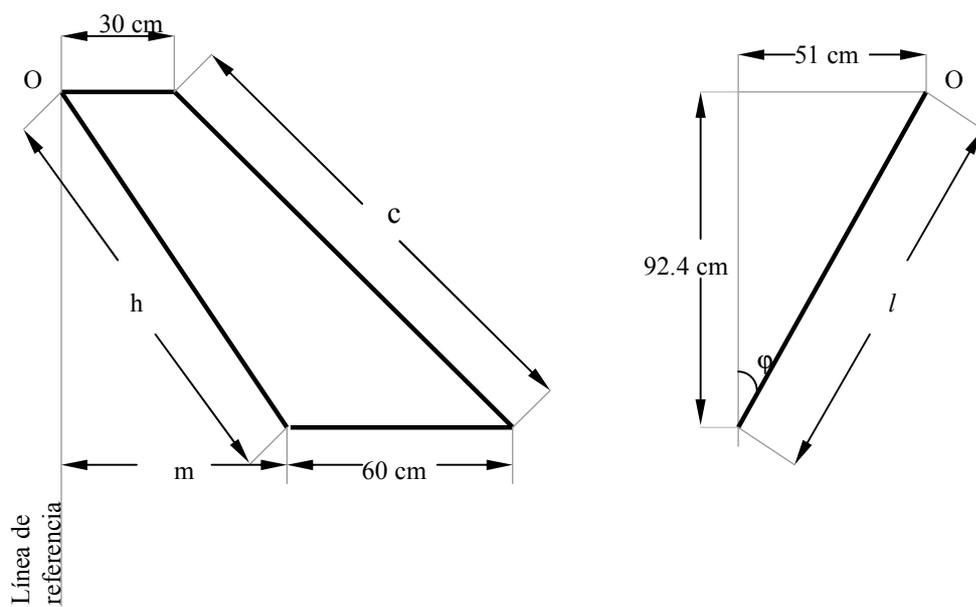


Figura 12. Pieza D

Donde:

$$h = 115.7 \text{ cm (ver figura 9)}$$

$$c = 135.8 \text{ cm (ver figura 11)}$$

$$e = \sqrt{(92.4 \text{ cm})^2 + (51 \text{ cm})^2} = 105.5 \text{ cm}$$

$$\text{Tan } \varphi = \frac{51 \text{ cm}}{92.4 \text{ cm}}$$

$$\varphi = 28.9^\circ$$

En la figura 13 se muestra el cargador mecánico con sus nuevas dimensiones

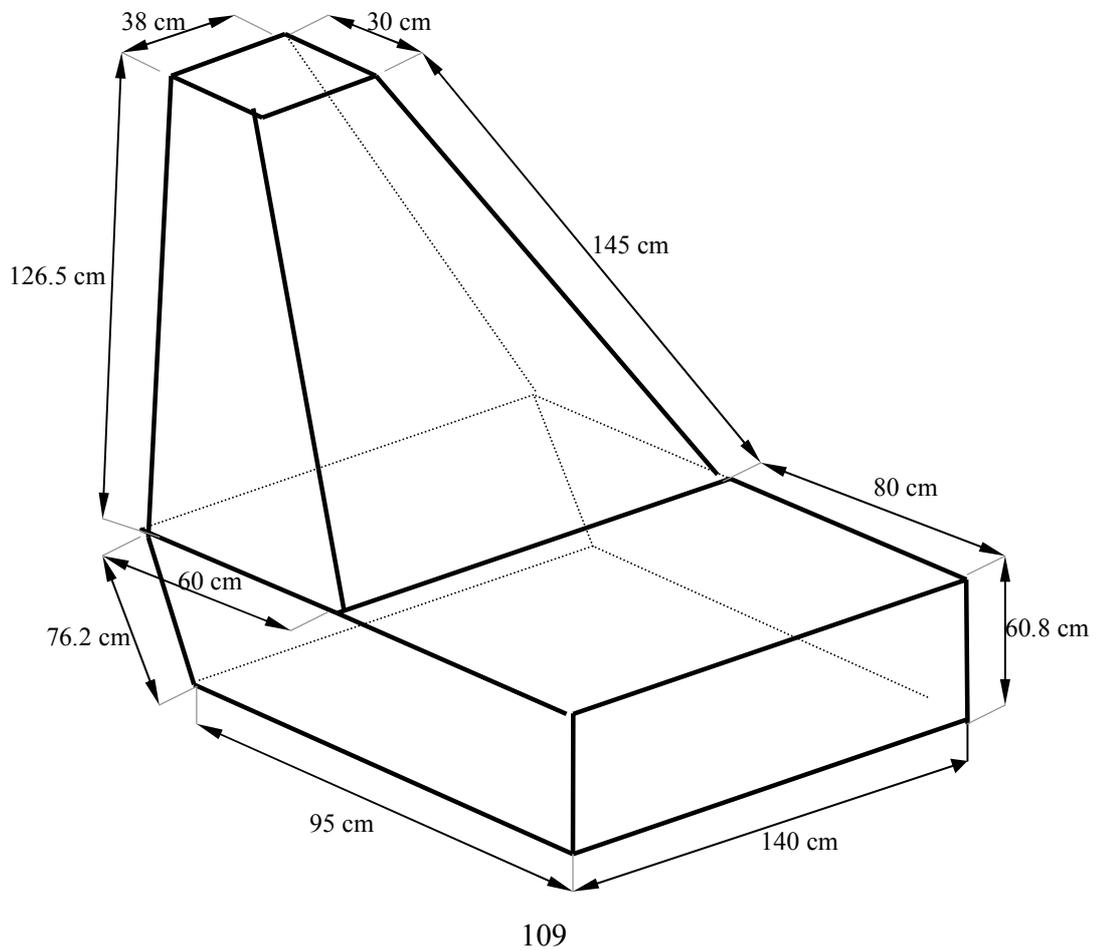
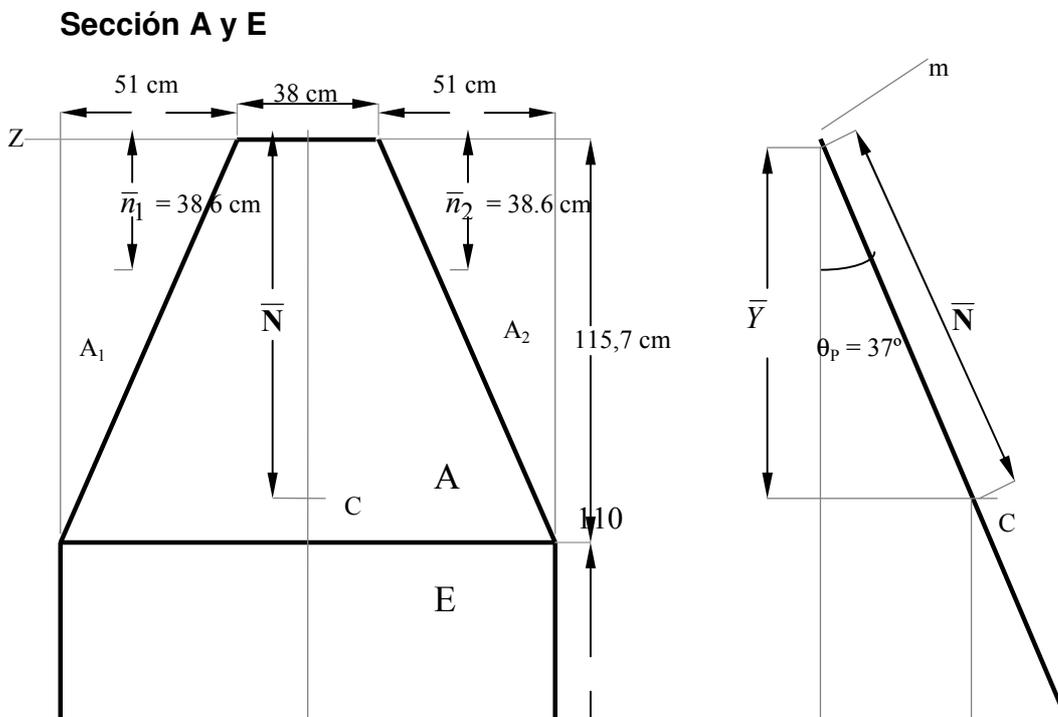


Figura 13. Nuevo Diseño del Cargador Mecánico.

3.1.3 Análisis de Fuerzas en el Cargador Mecánico

3.1.3.1 Peso del cargador mecánico. Las fuerzas actuantes en el cargador mecánico son su propio peso y el peso de los materiales (grava, arena y cemento), los cuales se vierten al cargador sin mezclar uno con otro, asegurando de ese modo una medida correcta de cada tamaño. Para determinar la ubicación de estas fuerzas respecto al eje de rotación, se debe calcular el centroide del cargador, teniendo en cuenta o seccionando cada una de las partes que lo conforman tal y como se hizo en la sección 3.1.2 (ver figura 8)



Eligiendo el sistema de coordenadas, notamos que el centroide C debe estar sobre el eje n puesto que este es de simetría; así $\bar{Z} = 0$

Dividiendo el área total en tres componentes A_1 , A_2 y $R_{\text{rectángulo}}$ usamos la ecuación

$$\bar{N} = \frac{\sum_i A_i \bar{R}_i}{\sum_i A_i} \quad \text{Ecuación 6}$$

El cálculo se realiza en el siguiente cuadro.

Componente	Area, cm ²	\bar{n}_i , cm	$A_i \bar{n}_i$, cm ³
Rectángulo	140 * 191.8 = 26852	95.9	2.575x10 ⁶
A1	115.7 * 51/2 = -2950.3	38.6	-0.113x10 ⁶
A2	-2950.3	38.6	-0.113x10 ⁶
	$\sum_i A_i = 20951.4$		$\sum_i A_i \bar{n}_i = 2.349x10^6$

$$\bar{N} = \frac{2.349x10^6 \text{ cm}^3}{20951.4 \text{ cm}^2} = 112.1 \text{ cm}$$

Por lo tanto

$$\bar{X} = \bar{N} \text{ Sen } \theta_p = (112.1 \text{ cm}) \text{ Sen } 37^\circ = 67.4 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = \bar{N} \text{ Cos } \theta_p = (112.1 \text{ cm}) \text{ Cos } 37^\circ = 89.5 \text{ cm}$$

El peso específico de la lámina utilizada es de 7860 kg / m^3 , este valor se utilizará para los siguientes cálculos.

El volumen de la lamina A y E es:

$$V_{A+E} = \frac{(20951.4 \text{ cm}^2)(0.47625 \text{ cm})(1 \text{ m}^3)}{(100 \text{ cm})^3}$$

$$V_{A+E} = 9.978 \times 10^{-3} \text{ cm}^3$$

El peso de la lámina con un espesor $t = 3/16''$ (0.47625 cm)

$$W_{A+E} = \text{Peso Especifico} \times \text{Volumen} = (7860 \text{ kg/m}^3)(9.978 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$W_{A+E} = 78.42 \text{ Kg}$$

Sección B

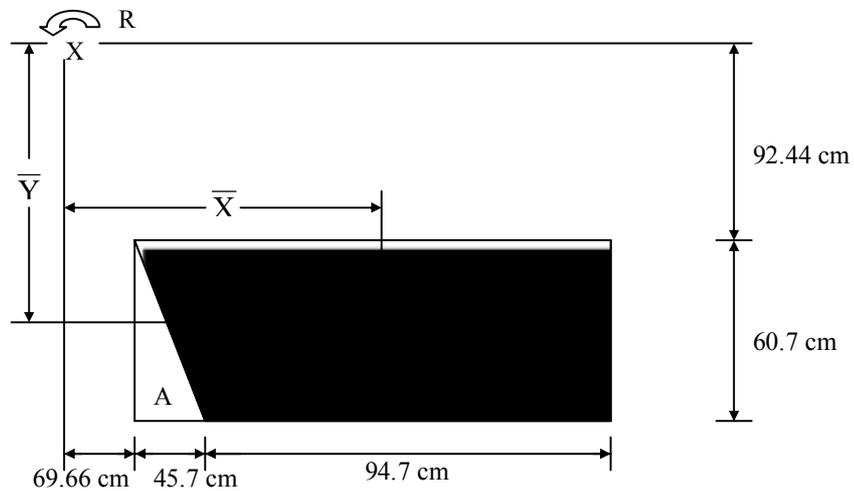


Figura 15. Sección B

El calculo se realiza en el siguiente cuadro

Componentes	Area cm^2	$\bar{X} \text{ cm}$	$\bar{Y} \text{ cm}$	$\bar{X}A \text{ cm}^3$	$\bar{Y}A \text{ cm}^3$
Rectángulo	8522.28	162.7	122.74	1386574.96	1046450.7
A	-1387	84.89	132.9	-117742.43	-184332.3

Σ	7135.28	1268832.53	862118.4
----------	---------	------------	----------

$$\bar{X}_g = \frac{1268832.53}{7135.28} = 177.83 \text{ cm}$$

$$\bar{Y}_g = \frac{862118.4}{7135.28} = 120.82 \text{ cm}$$

Volumen de la lámina B

$$\nabla_B = 7135.28 * 0.47625 / 100^3$$

$$\nabla_B = 0.003752 \text{ m}^3$$

Peso de la lámina B

$$W_B = 0.003398 * 7860 * 90.8$$

$$W_B = 261.7 \text{ N}$$

Como son dos láminas tienen un peso total de:

$$W_B = 523.4 \text{ N}$$

Sección C.

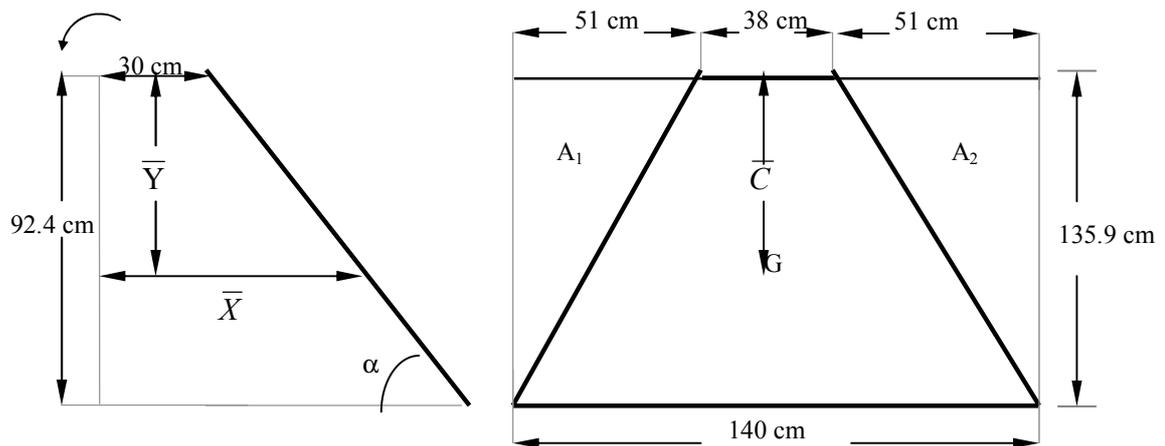


Figura 16. Sección C

El cálculo se realiza en el siguiente cuadro

Componentes	A cm ²	\bar{C} cm	$\bar{C} A$ cm ³
Rectangulo	19026	67.95	1292816.7
A ₁	-3465.45	45.3	-156984.9
A ₂	-3465.45	45.3	-156984.9
Σ	12095.1		978846.9

$$\bar{C} = \frac{978846.9}{12095.1} = 80.93 \text{ cm}$$

$$\bar{X}_C = 30 + \bar{C} \text{Cos} \alpha = 30 + 80.93 \text{Cos} 42.85 = 89.33 \text{ cm}$$

$$\bar{Y}_C = \bar{C} \text{Sen} \alpha = 80.93 \text{Sen} 42.85 = 55 \text{ cm}$$

Volumen de la placa C

$$\forall_C = 12095.1 * 0.47625 / 100^3 = 0.00576$$

Peso de la placa

$$W_C = 0.00576 * 7860 * 9.8$$

$$W_C = 443.7 \text{ N}$$

Sección D.

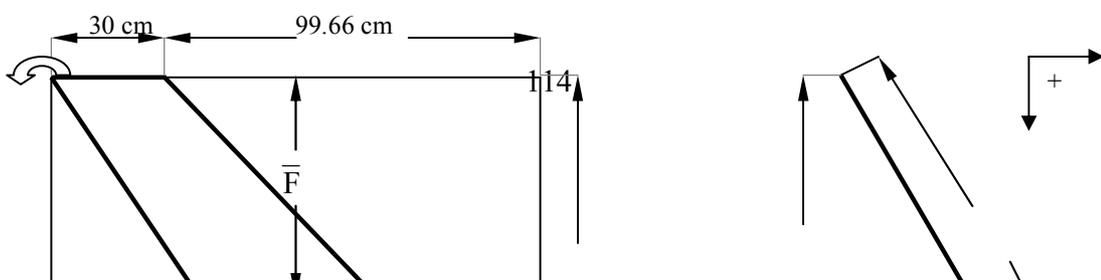


Figura 17. Sección D

El cálculo se realiza en el siguiente cuadro

Componente	A cm ²	\bar{X} cm	\bar{f} cm	$\bar{X} A$ cm ³	$\bar{f} A$ cm ³
Rectangulo	13679.13	64.83	52.75	886818	721574.1
A ₁	-3674.6	23.22	70.33	-85324.2	-258434.6
A ₂	-5257	96.44	35.16	-506985	-184836.1
Σ	4747.53			294508.8	278303.4

La abscisa y ordenada del centroide están dadas por

$$\bar{X} = \frac{294508.8}{4747.53} = 62 \text{ cm} \qquad \bar{F} = \frac{278303.4}{4747.53} = 58.62 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = \bar{F} \text{ Sen } \varepsilon = 58.62 \text{ Sen } 61 = 51.27 \text{ cm}$$

El volumen de la sección es

$$\nabla_D = 4747.53 \times 0.47625 / 100^3 = 2.261 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

El peso de la sección es

$$W_D = 0.00261 \times 7860 \times 9.8 = 174.16 \text{ N}$$

Como son dos placas, entonces:

$$W_D = 348.32 \text{ N}$$

Sección F

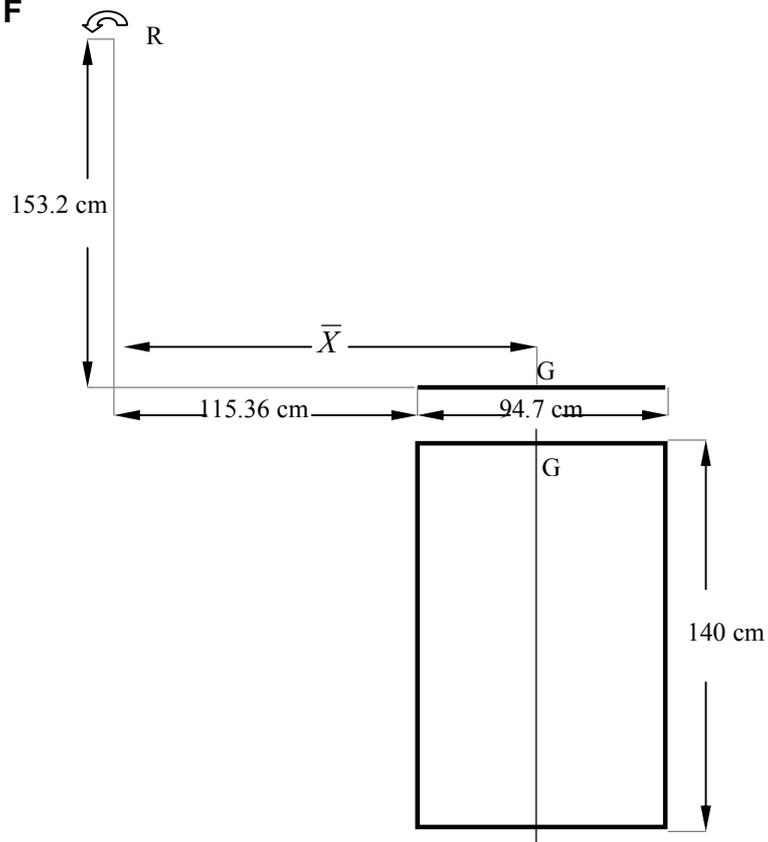


Figura 18. Sección F

$$\bar{X}_F = 162.71 \text{ cm}$$

$$\bar{Y}_F = 153.2 \text{ cm}$$

El volumen de la sección es:

$$\forall_F = 100 \times 140 \times 0.47625 / 100^3 = 0.006668 \text{ m}^3$$

El peso de la sección es:

$$W_F = 0.006668 * 7860 * 9.8$$

$$W_F = 513.62 \text{ N}$$

Sección G

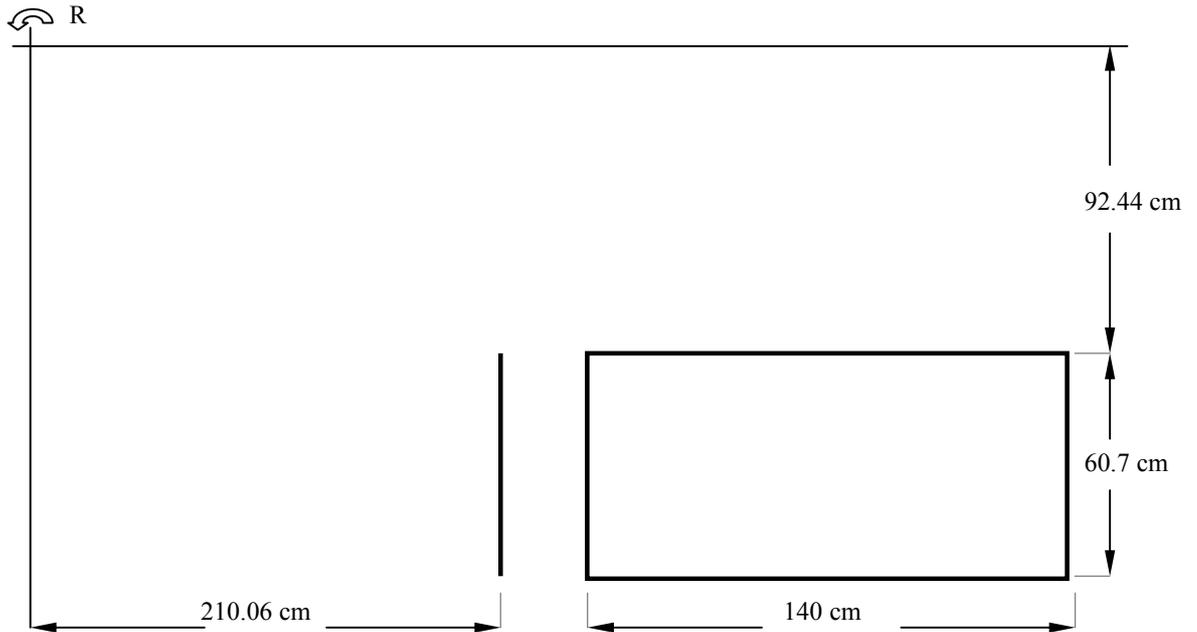


Figura 19. Sección G

$$\bar{X}_G = 210.06 \text{ cm}$$

$$\bar{Y}_G = 122.8 \text{ cm}$$

El volumen de la sección es:

$$\forall_G = 140 * 60.7 * 0.47625 / 100^3 = 0.00405 \text{ m}^3$$

El peso de la sección es:

$$W_G = 0.00405 * 7860 * 9.8 = 312.28 \text{ N}$$

3.1.3.2 Peso de los materiales

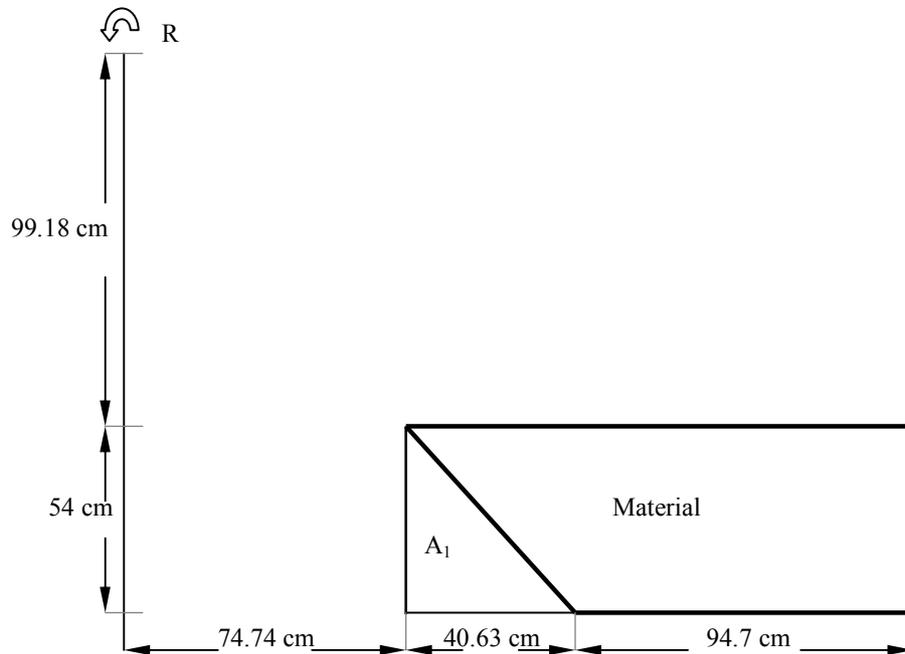


Figura 20. Materiales sólidos en el cargador

Componente	A cm ²	\bar{X} cm	\bar{Y} cm	$\bar{X} A$ cm ³	$\bar{Y} A$ cm ³
Rectangulo	7311.23	142.4	126.2	922677.23	922677.23
A ₁	-1097.52	88.28	135.2	-96889	-148384.7
Σ	6213.71			825788.23	774292.53

$$\bar{X} = \frac{825788.23}{6213.71} = 132.9 \text{ cm}$$

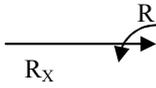
$$\bar{Y} = \frac{774292.53}{6213.71} = 124.61 \text{ cm}$$

El peso de los ingredientes del concreto

$$W_m = m_m * g$$

$$W_m = 2273 * 9.8$$

$$W_m = 2275.4 \text{ N.m}$$



La figura 21 muestra las fuerzas actuantes en el cargador. Aplicando en el eje R se tiene

$$+\circlearrowleft \sum M_R = 0$$

$$F(\cos 53.33) * 210.06 = 348.32 * 62 + 523.4 * 177.83 + 513.6 * 162.7 + 312.28 * 210.06 + 443.7 * 89.33 + 67.4 - 768.2 + 22275.4 * 132.9$$

$$F = 26.43 \text{ KN}$$

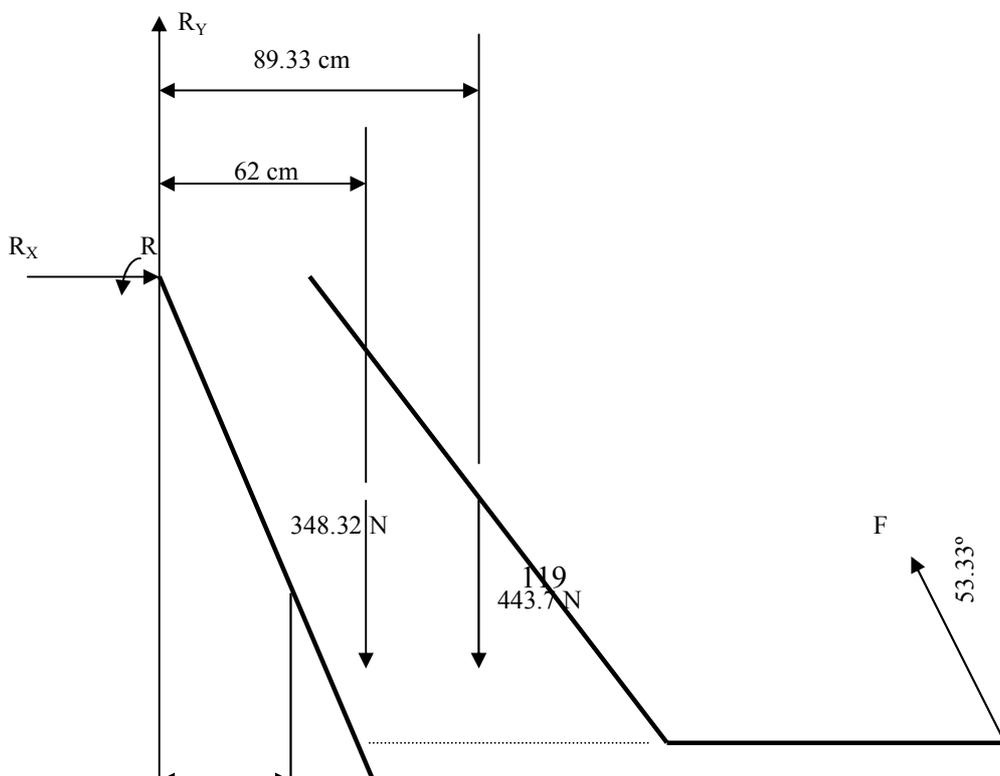


Figura 21. Cargas actuantes en el cargador mecánico

3.1.3.3 Reacciones en el eje de rotación

Reacción horizontal, R_x esta dada por:

$$R_x = F \text{ sen } 53.33$$

$$R_x = 26.43 * \text{Sen } 53.33 = 21.2 \text{ KN}$$

Reacción Vertical, R_y esta dada por:

$$R_y = W_T - F \text{ Cos } 53.33$$

$$R_y = 25184.92 - 26430 * \text{Cos } 53.33$$

$$R_y = 9.4 \text{ KN}$$

Nota: el peso total W_T es la sumatoria del peso de cada sección del cargador y el peso de los ingredientes.

3.1.4 Momentos de inercia del cargador y los materiales

3.1.4.1 Calculo del momento de inercia del cargador. Se determina el momento de inercia con respecto al eje de rotación del cargador (R). Al igual que en el análisis de fuerzas se descompone el cargador en secciones. Por la disposición de las laminas que forman el cargador conviene el empleo de los conceptos de momento de inercia con respecto a un eje arbitrario y ejes paralelos.

Sección A y E.

De acuerdo a la figura 14 el momento de inercia de la placa A y E con respecto al eje de pivote R esta dada por:

$$I_R = I_{rectangulo} - 2I_{A_i} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$I_R = \left[\frac{1}{3} * 140 * 191.74^3 - 2 * \frac{1}{12} * 51 * 115.74^3 \right] * 7860 * 0.47625 / 100^3$$

$$I_R = 1182077.7 \text{ kg.cm}^2$$

Sección B

De acuerdo a la figura 15 el momento de inercia de la placa B con respecto al eje de pivote R esta dada por:

$$I_R = I_P + m(153.14^2 + 69.66^2) \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

$$I_P = I_{P \text{ rectangulo}} - I_{P \text{ triangulo}}$$

Ecuación 9

El subíndice P indica el eje que pasa por la base inferior izquierda en la figura 15

$$I_P = \left[\frac{1}{3} 140.4 * 60.7 (140.4^2 + 60.7^2) - \frac{1}{12} 45.7 * 60.7 (45.7^2 + 60.7^2) \right] * 7860 * 0.47625 / 100^3$$

$$I_P = 243801.83 \text{ kg.cm}^2$$

Sabiendo que la masa de la sección es:

$$m = 26.7 \text{ kg.}$$

$$I_R = 243801.83 + 26.7 * (153.14^2 + 69.66^2)$$

$$I_R = 999528.65 \text{ kg.cm}^2$$

Como son dos placas

$$I_R = 1999057.30 \text{ kg.cm}^2$$

Sección C

De acuerdo a la figura 16 el momento de inercia de la placa C con respecto al eje de pivote R esta dada por:

$$I_R = I_{NN} + 3 * 30^2 = (I_{NN \text{ rectangulo}} - 2I_{NNA_1}) + m * 30^2$$

Ecuación 10

Donde el subíndice NN es un eje longitudinal en la parte inferior de la sección

$$I_R = \left[\frac{1}{3} * 140 * 135.9^3 - 2 * \frac{1}{12} 51 * 135.9^3 \right] * 7860 * 0.47625 / 100^3 + 45.3 * 30^2$$

$$I_R = 399361.6205 \text{ kg.cm}^2$$

Sección D

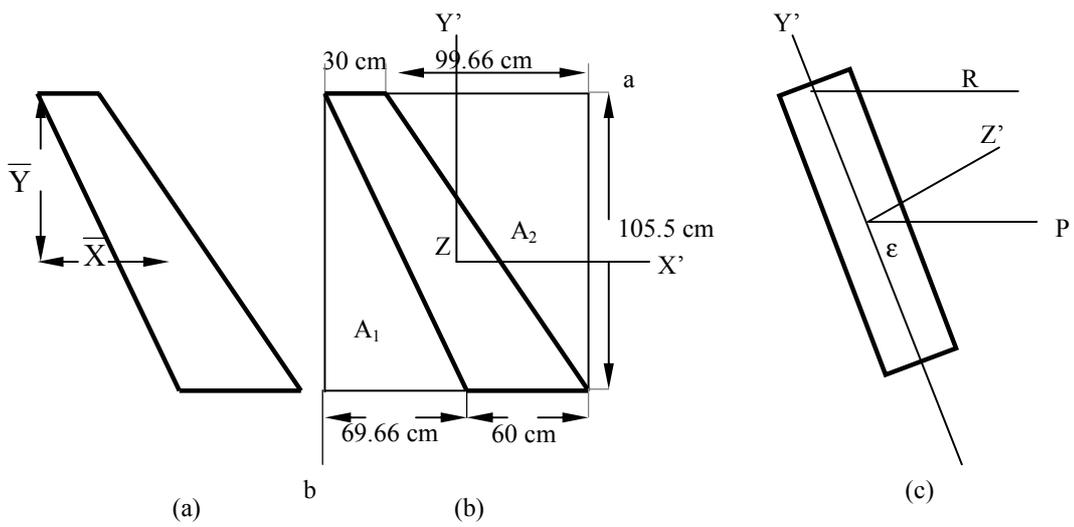


Figura 22. Ejes de referencia para los momentos de inercia de la sección D

$$I_R = I_P + m(\bar{X}_D^2 + \bar{Y}_D^2)$$

Ecuación 11

Donde

$$I_P = I_{y'} \lambda_y^2 + I_{z'} \lambda_z^2$$

Ecuación 12

El momento de inercia respecto al eje Z (perpendicular al papel) es:

$$I_z' = I_{x'} + I_{y'} \quad \text{Ecuación 13}$$

Remplazando la ecuación 13 en la ecuación 12, tenemos

$$I_P = I_y \lambda_y + (I_{x'} + I_{y'}) \lambda_z \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$$\lambda_{y'} = \text{Cos } \varepsilon \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\lambda_{z'} = \text{Cos } (90 - \varepsilon) \quad \text{Ecuación 16}$$

$$I_{x'} = I_a + m (105.5 - \bar{Y}_D)^2 \quad \text{Ecuación 17}$$

$$I_{y'} = I_b + m \bar{X}_D^2 \quad \text{Ecuación 18}$$

De la figura 22b se tiene los siguientes momentos de inercia:

Momento de inercia respecto al eje a

$$I_a = I_{a \text{ rectangulo}} - (I_{aA_1} + I_{aA_2}) \quad \text{Ecuación 19}$$

$$I_{a \text{ rectangulo}} = \frac{1}{3} * 129.66 * 105.5^3 = 50750712.23 \text{ cm}^4$$

$$I_{aA_1} = \frac{1}{12} * 69.66 * 105.5^3 + \frac{69.66 * 105.5}{2} * 105.5^2 = 47618840.22 \text{ cm}^4$$

$$I_{aA_2} = \frac{1}{12} * 99.66 * 105.5^3 = 9752074.617 \text{ cm}^4$$

Remplazando en la ecuación 19, tenemos:

$$I_a = 6620202.6 \text{ m}^4$$

El momento de inercia de masa con respecto al eje a, es:

$$I_a = 6620202.6 * 7860 * 0.47624 / 100^3 = 24781.6 \text{ kg.cm}^2$$

Para calcular el momento de inercia con respecto al eje b, se procede de igual manera que como el eje a

$$I_{b \text{ rectangulo}} = \frac{1}{3} 105.5 * 129.66^3 * 7860 * 0.47625 * \frac{1}{100^3}$$

$$I_{b \text{ rectangulo}} = 76656547.73 \text{ cm}^4$$

$$I_{bA_1} = \frac{1}{12} 105.5 * 69.66^3 = 2971814 \text{ cm}^4$$

$$I_{bA_2} = \frac{1}{12} 105.5 * 99.66^3 + \frac{105.5 * 99.66}{2} * 129.66^2 = 97082577.92 \text{ cm}^4$$

El momento de inercia respecto al eje b, es:

$$I_b = 23397844.19 \text{ cm}^4$$

El momento de inercia de masa con respecto al eje b, es:

$$I_b = 23397844.19 * 7860 * 0.47625 / 100^3 = 87585.74 \text{ kg.cm}^2$$

La masa de la sección es:

$$m_D = 17.77 \text{ kg}$$

Remplazando el valor de la masa, de I_a y de \bar{Y}_D en la ecuación 13, se tiene

$$I_{x'} = 24781.6 + 17.77(105.5 - 58.62)^2 = 63835.34 \text{ kg.cm}^2$$

Remplazando el valor de la masa, I_b y de \bar{X}_D en la ecuación 14, se tiene



Sabiendo que el valor de ϵ es 61° y remplazando en las ecuaciones 11 y 12, se tiene:

$$\lambda_y = \text{Cos } 61^\circ = 0.845$$

$$\lambda_{z'} = \text{Cos } 29^\circ = 0.875$$

Los valores de λ_y , λ_z , I_y y I_z se reemplazan en la ecuación 12 para obtener:

$$I_p = 155893.62 * 0.485 + (63825.34 + 155893.62) * 0.875$$

$$I_p = 267871 \text{ kg.cm}^2$$

Llevando el valor de I_p , m_D , \bar{X}_D y \bar{Y}_D en la ecuación 11, se tiene:

$$I_R = 267871.25 + 17.77 * (62^2 + 51.27^2)$$

$$I_R = 382889.6 \text{ kg.cm}^2$$

Como son dos placas

$$I_p = 765779.2 \text{ kg.cm}^2$$

Sección F

De acuerdo a la figura 18 el momento de inercia de la placa F con respecto al eje de pivote R esta dada por:

$$I_R = \frac{1}{12} m 94.7^2 + m (\bar{X}_C^2 + \bar{Y}_C^2) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$I_R = 52.41 \left(\frac{94.7}{12} + 162.71^2 + 153.2^2 \right)$$

$$I_R = 2618019.73 \text{ kg.cm}^2$$

Sección G

De acuerdo a la figura 16 el momento de inercia de la placa G con respecto al eje de pivote R esta dada por:

$$I_R = \frac{1}{12} m 60.7^2 + m (\bar{X}_D^2 + \bar{Y}_D^2)$$

Ecuación 21

$$I_R = 31.83 \left(\frac{20.7^2}{12} + 210.06^2 + 153.14^2 \right)$$

$$I_R = 2160751 \text{ kg.cm}^2$$

La suma de los momentos de inercia de cada sección da el momento de inercia total del cargador es:

$$I_C = 765779.2 + 1999057.3 + 2618019.73 + 2160751 + 399361.62 + 1182077.7$$

$$I_C = 9125046.55 \text{ kg.cm}^2$$

3.1.4.2 Momento de inercia del volumen de los materiales a mezclar respecto al eje de rotación R. Se considera cada capa de material como una placa rectangular con el fin de simplificar los cálculos referentes a su momento de inercia

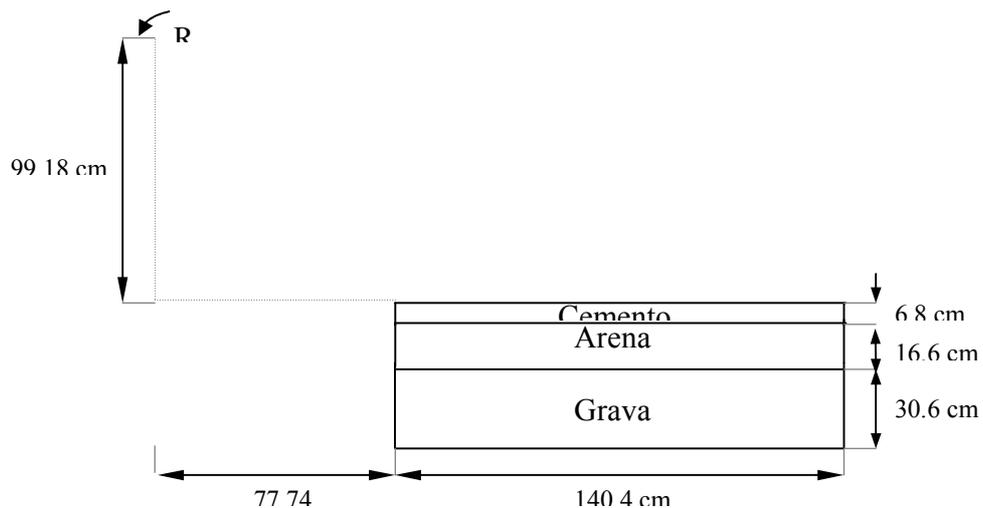


Figura 23. Distribución de los materiales sólidos en el cargador

Momento de inercia del volumen de grava I_G

La masa de la grava es, $m = 1162$

$$I_R = \frac{1}{12} 1162(30.6^2 + 140.4^2) + 1162(144.94^2 + 137.88^2)$$
$$I_G = 48500959.7 \text{ kg.cm}^2$$

Momento de inercia del volumen de arena I_A

La masa de la arena es, $m = 711 \text{ kg}$

$$I_A = \frac{1}{12} 711(16.6^2 + 140.4^2) + 711(144.94^2 + 114.28^2)$$
$$I_A = 25406280.55 \text{ kg.cm}^2$$

Momento de inercia del volumen el cemento I_C

La masa del cemento es, $m = 400 \text{ kg}$

$$I_C = \frac{1}{12} 400(6.8^2 + 140.4^2) + 400(144.94^2 + 102.58^2)$$
$$I_C = 13270717.33 \text{ kg.cm}^2$$

El momento de inercia del volumen de material es

$$I_M = I_C + I_A + I_G$$

Ecuación 22

$$I_{\text{materiales}} = 48500959.7 + 2540628.55 + 13270717.33$$

$$I_{\text{materiales}} = 87177957.58 \text{ kg.cm}^2$$

$$I_{\text{materiales}} = 8717.8 \text{ kg.cm}^2$$

El momento de inercia total es:

$$I_{\text{Total}} = I_{\text{cargador}} + I_{\text{materiales}}$$

Ecuación 23

$$I_{\text{Total}} = 912.5 + 8717.8$$

$$I_{\text{Total}} = 9630.6 \text{ kg.m}^2$$

3.1.5 Selección del cable. Para la selección del cable necesario para levantar el cargador mecánico se utilizara el procedimiento sugerido en el Manual del Ingeniero Mecánico MARKS

La resistencia a la fatiga o la duración relativa en servicio es una función de la relación D/d donde.

D: Diámetro del tambor, mm

d: Diámetro del cable, mm

Para un cable común 6x37 con $d = \frac{1}{2} \text{ in} = 13 \text{ mm}$ del anexo A tomando para un cable 6x37 una relación $D/d = 30$.

Una formula aproximada de la selección puede ser

$$CEE = \frac{(RN) K_f}{K_{fs}}$$

Ecuación 24

Donde:

CEE (Carga Estática Exigida): Carga conocida o muerta mas cargas adicionales

RN (Resistencia Nominal): Resistencia de prueba publicada. Ver anexo B

Kf = factor que toma en cuenta la reducción en la resistencia nominal debido a la flexión

Kfs: Factor de seguridad

Del anexo B para cable 6x37 con d = 13 mm,

RN = 11.5 toneladas

Del anexo C con D/d =30, Kf = 0.95

Tomando Kfs = 5 para un funcionamiento promedio

Reemplazando en la ecuación 24

$$CEE = \frac{(11.5 T_n)(0.95)}{5}$$

CEE = 2.185 Toneladas

La CEE es menor que la carga real de 2,7 toneladas determinada por el peso total del cargador mecánico, por lo tanto d = ½ in no sirve.

Del anexo B para un cable d = 5/8 (16 mm)

RN = 17.9 toneladas

$$CEE = \frac{(17.9 \text{ Tn})(0.95)}{5}$$

$$CEE = 3.401 \text{ Toneladas}$$

El diámetro del tambor para el enrollamiento del cable es:

$$D = 30 \times d$$

$$D = 30 \times (16 \text{ mm}) = 480 \text{ mm}$$

$$D = 48 \text{ cm}$$

3.1.6 Calculo de velocidades del tambor del cable y del cargador. De acuerdo con los datos tomados en la planta y a la disposición mostrada en la figura 5, tenemos que la velocidad de salida del reductor es de 38.4 r.p.m. que es la misma del sprocket 1. Con esto se halla la velocidad del sprocket 2 mediante la ecuación 25.

$$\frac{w_2}{w_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

$$w_1 = w_{s1} = \text{r.p.m. del sprocket 1; } 38.4 \text{ r.p.m.}$$

$$w_2 = w_{s2} = \text{r.p.m. del sprocket 2;}$$

$$D_1 = D_{s1} = \text{diámetro sprocket 1; } 18 \text{ cm}$$

$$D_2 = D_{s2} = \text{diámetro Sprocket 2; } 45 \text{ cm}$$

Despejando de la ecuación 25 w_{s2} , se tiene

$$w_{s2} = \frac{w_{s1} D_{s1}}{D_{s2}}$$

$$w_{s2} = 15.36 \text{ r.p.m.}$$

Las r.p.m. del sprocket 2 son también las revoluciones del tambor del cable.

La velocidad lineal del cable V_C , viene a estar dada por la ecuación 26.

$$V_C = w_{s2} * \left(\frac{D_t}{2} \right)$$

Ecuación 26

Donde: D_t = diámetro del tambor del cable; 48 cm

$$V_C = \left(15.36 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) * \left(\frac{48}{2} \text{ cm} \right) * \left(\frac{2\pi}{60 * 100} \right)$$

$$V_C = 0.348 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Actualmente al levantar el cargador el cable se enrolla cuatro vueltas en el tambor de 16.5 cm de diametro. Con las nuevas dimensiones del tambor el cable se enrolla dos vueltas aproximadamente.

El tiempo se puede calcular mediante la ecuación 27

$$t * w_{s2} = R$$

Ecuación 27

Donde:

t = tiempo requerido para levantar el cargador

R = numero de vueltas que se enrolla el cable para levantar el cargador.

$$t = \frac{R}{w_{s2}} = \frac{2}{15.36} = 0.13 \text{ min} = 15.6 \text{ seg.}$$

Para calcular la velocidad angular del cargador mecánico w_C , se toma el ángulo descrito por el eje central del cargador entre su posición inferior y superior es de $\theta = 108^\circ$ aproximadamente, ecuación 28

$$w_C = \frac{\theta}{t} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$w_C = \frac{108^\circ}{0.13 \text{ min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{360^\circ}$$
$$w_C = 14.5 \text{ rad/min}$$

3.1.7 Potencia necesaria para levantar el cargador mecánico. Con un tiempo de 3 segundos se calcula la aceleración angular

$$\alpha = \frac{w_C}{t} \quad \text{ecuación 29}$$

$$\alpha = \frac{0.2416}{3} = 0.08053 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El torque de arranque es.

$$\tau = I_{\text{Total}} * \alpha \quad \text{Ecuación 30}$$

$$\tau = 9630.3 * 0.08053$$

$$\tau = 0.776 \text{ KN.m}$$

La potencia necesaria para el funcionamiento del cargador

$$P = \tau w_c + F \cdot \bar{V}$$

Ecuación 31

$$P = 0.776 * 0.2416 + 26.43 * 0.348$$

$$P = 9.4 \text{ Kw}$$

$$P_{\text{HP}} = \frac{9.4}{0.746} = 12.6 \text{ HP}$$

3.1.8 Selección de la cadena. Para la selección de la cadena se utilizara el procedimiento descrito en el catalogo de fabricante Browning.

Potencia del motor eléctrico = 15 Hp

Numero d dientes sprocket pequeño = 30

Numero de dientes del Sprocket grande = 70

r.p.m. Sprocket pequeño = 45.57

r.p.m. sprocket grande = 15.36

Relación de transmisión = 2.33

Distancia entre centros = 54 cm = 21.25 pulg.

Para equipos elevadores, ascensores y transportadores del anexo D, tenemos que el factor de servicio es 1.5 menos 0.3 por servicio intermitente.

$$\text{Potencia} = 15 * (1.5 - 0.3) = 18.0 \text{ Hp}$$

Con la potencia de proyecto y teniendo en cuenta que r.p.m. sprocket pequeño es igual a 45.57 (se toma 50 r.p.m.)

Del anexo E seleccionamos una cadena N° 120 con un peso de 1 ½ pulg y potencia de 17.2 Hp.

La longitud de la cadena se determina con la ecuación 32

$$L \approx 2C + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{40C} \text{ pasos}$$

Ecuación 32

Donde:

C : Distancia entre centros, pasos

N₁ : N° de dientes Sprocket pequeño

N₂ : N° de dientes Sprocket grande

$$C = 21.25 \text{ pulg} / 1.5 \text{ pulg} = 14.16 \text{ pasos}$$

Remplazando en la ecuación 32

$$L = 2(14.16) + \frac{(70 + 30)}{2} + \frac{(70 - 30)^2}{40(14.16)}$$

$$L = 81.15 \text{ pasos}$$

3.1.9 Selección del acople. Para la conexión entre el eje del motor y el eje de entrada al reductor, ver figura 5, se sustituirá la transmisión por correas a acople flexible directamente.

De acuerdo con lo expuesto en el manual del Ingeniero Mecánico MARKS se recomienda usar un acople del tipo ajuste doble (ver anexo F) el cual se utiliza para acoplar arboles que están desalineados lateralmente y absorber choques debidos a las fluctuaciones del momento de torsión (torque) del árbol o de la velocidad angular de este.

3.1.10 Diseño del eje cargador. El cargador rota alrededor de un eje para llevar los materiales a mezclar hasta el tambor mezclador.

Las cargas que soporta el eje están determinadas por la sumatoria del peso de cada sección del cargador y el peso de los ingredientes, estas cargas son, ver figura 24

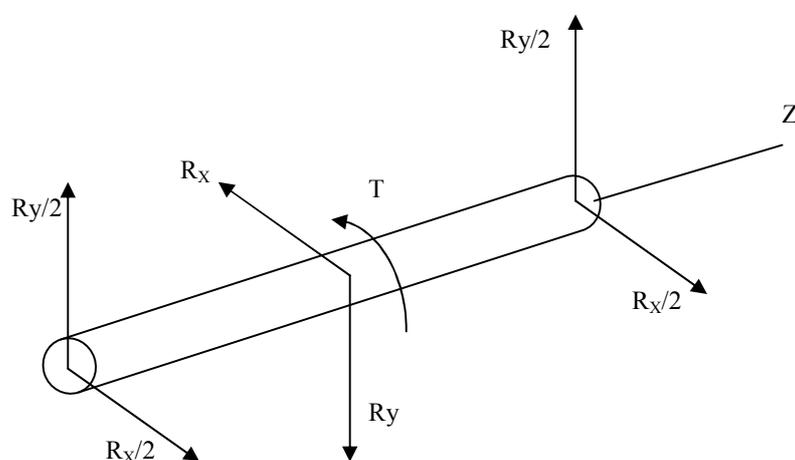


Figura 24. Diagrama cuerpo libre del eje del cargador

$$R_X = 21.2 \text{ KN}$$

$$R_{X/2} = 10.6 \text{ KN}$$

$$R_Y = 9.4 \text{ KN}$$

$$R_{Y/2} = 4.7 \text{ KN}$$

$$T = \sum W \bar{X} - F * \bar{X}_f * \text{Cos } 53.33 + F * \bar{Y}_f \text{ Sen } 53.33 \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde

W = peso de cada sección

\bar{X} = Distancia entre el eje de rotación y el punto de ubicación de cada peso

\bar{X}_f y \bar{Y}_f = Ubicación de la componente vertical y horizontal respectivamente

de la fuerza F , $\bar{X}_f = 210.06$; $\bar{Y}_f = 92.44$

Haciendo los respectivos reemplazos en la ecuación 33, se tiene:

$$T = 3315653.77 - 26430 * 210.06 * \text{Cos } 53.33 + 26430 * 95.44 * \text{Sen } 53.33$$

$$T = 1959692.226 \text{ N.m} = 19.6 \text{ KN.m}$$

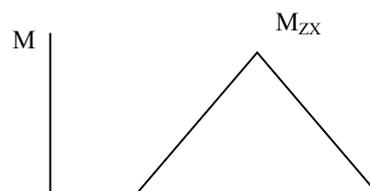
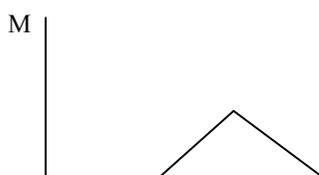
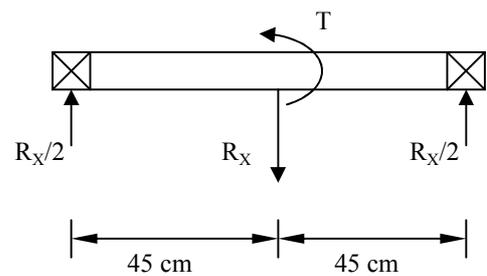
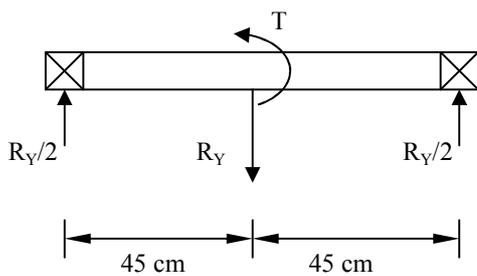


Figura 25. Diagramas de momento del eje del cargador.

$$M_{ZY} = \frac{R_Y}{2} * \frac{45}{100} = 4.7 \frac{45}{100} = 2.12 \text{ KN.m}$$

$$M_{ZX} = \frac{R_X}{2} * \frac{45}{100} = 10.6 \frac{45}{100} = 4.77 \text{ KN.m}$$

Empleando como material recomendado para ejes el acero AISI 4140, se tienen las siguientes propiedades mecánicas:

Resistencia ultima $S_{ut} = 1770 \text{ Mpa}$

Resistencia de fluencia $S_y = 1640 \text{ Mpa}$

Dureza Brinell 510

En el análisis de carga estática se utiliza el criterio del esfuerzo cortante máximo que esta dada por la relación

$$d = \left[\frac{32 * 1.8}{\pi S_y} (M^2 + T^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

Ecuación 34

Donde

d es el diámetro del eje

N es el factor de seguridad, 1.8

S_y es la resistencia de fluencia del material, s_y = 1640 Mpa

M es el momento flector máximo, M_{ZY} = 2.12 KN.m; M_{ZX} = 4.77 KN.m

T es el momento torsor, T = 19.6 KN.m

Remplazando los valores respectivos en la ecuación 34 se tiene

Para el plano ZY

$$d = \left[\frac{32 * 1.8}{\pi * 1640 \times 10^6} (2412^2 + 19600^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = 0.06 \text{ m}$$

Para el plano ZX

$$d = \left[\frac{32 * 1.8}{\pi * 1640 \times 10^6} (4770^2 + 19600^2)^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d = 0.061 \text{ m}$$

En el análisis de fatiga se utiliza el criterio de la relación de Goodman modificada que esta dada por

$$d = \left[\frac{32 * n}{\pi} \sqrt{\left(\left(\frac{K_f * M}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{T}{S_{ut}} \right)^2 \right)} \right]^{1/3} \quad \text{Ecuación 35}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{32}{d^3 * \pi} \left[\left(\frac{K_f * M}{S_e} \right)^2 + \left(\frac{T}{S_{ut}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación 35'}$$

Donde

d es el diámetro de la sección

n factor de seguridad, 1.8

M es el momento flector, $M_{ZY} = 3657.7 \text{ N.m}$

T es el momento torsor, no se tiene en cuenta

S_{ut} es la resistencia ultima del material

S_e es la resistencia a la fatiga y esta dada por

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * S'_e \quad \text{Ecuación 36}$$

K_a es el factor de superficie dado por $K_a = aS_{ut}^b$; según el material escogido

$a = 4.51$ y $b = -0.265$, entonces $K_a = 0.88$

K_b es el factor de tamaño, se supone un valor de $K_b = 0.85$ y al estandarizar el diámetro se debe recalculan K_b .

K_c es el factor de carga, como solo es carga de flexión $K_c = 1$

K_d es el factor de temperatura, en las condiciones de trabajo la temperatura no afecta al material.

S'_e es el límite de resistencia a la fatiga dado por

$$S'_e = 700 \text{ Mpa para } S_{ut} > 1400 \text{ Mpa}$$

Remplazando en la ecuación 36 los valores dados, se tiene

$$S_e = 0.88 * 0.85 * 1 * 1 * 700 = 523.6 \text{ Mpa}$$

Remplazando en la ecuación 35, se tiene:

Para el plano ZY

$$d = \left[\frac{32 * 1.8}{\pi} \sqrt{\left(\left(\frac{1 * 2120}{523.6 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{19600}{1770 \times 10^6} \right)^2 \right)} \right]^{1/3}$$
$$d = 0.06 \text{ m}$$

Para el plano ZX

$$d = \left[\frac{32 * 1.8}{\pi} \sqrt{\left(\left(\frac{1 * 4770}{523.6 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{19600}{1770 \times 10^6} \right)^2 \right)} \right]^{1/3}$$
$$d = 0.064 \text{ m}$$

Al compara los resultados tanto del análisis de carga estática como del análisis de fatiga se toma el de mayor magnitud y se estandariza. Corresponde entonces a $d = 64 \text{ mm}$ y se lleva a 70 mm . Además se obtiene el valor correspondiente del factor de seguridad recalculando los términos que sean necesarios en el procedimiento anterior así; K_b debe estar en el

rango de 0.6 a 0.75 para $d < 51$ mm, en este caso se toma un valor promedio de $K_b = 0.68$. de esta manera el nuevo valor de S_e es 418.88 Mpa

Ahora se reemplazan los valores requeridos en la ecuación 35' y se tiene un factor de seguridad

$$\frac{1}{n} = \frac{32}{0.07^3 * \pi} \left[\left(\frac{1 * 4770}{418.88 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{19600}{1770 \times 10^6} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$n = 2.12$

3.1.11 Selección de rodamientos para el eje del cargador. La selección de los rodamientos se hace basándose en la siguiente relación

$$\frac{C}{P} = (L_{10})^{1/k} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde: L_{10} = Duración nominal n millones de revoluciones; el equipo en cuestión esta en la categoría de 8 horas de trabajo, no totalmente utilizadas, motores eléctricos, para los cuales el valor de L_{10} debe estar entre 10000 y 25000. Se toma $L_{10} = 13000$

C = Capacidad de carga dinámica, en N

P = Carga dinámica equivalente, en N. esta carga es dinámica y esta determinada por.

$$P = \sqrt{\left(\frac{R_X}{2} \right)^2 + \left(\frac{R_Y}{2} \right)^2} \quad \text{Ecuación 38}$$

$P = 11600$ N

K = Exponente de la formula de la duración, siendo

K = 3 para rodamientos de bolas y

K = p / 3 para los rodamientos de rodillos.

Dado que no existen rodamientos de bolas que soporten dicha carga entonces se procede con el tipo de rodamientos de rodillos

$$C = 11600 * (13000)^{1/(10/3)}$$

$$C = 199000 \text{ N}$$

Con este valor y un diámetro de 70 mm se selecciona el rodamiento de rodillos cilíndricos en el anexo G

Se toman los rodamientos tipo UN 2314

3.2 SUBSISTEMA DE MEZCLADO DEL CONCRETO

Esta parte del sistema de fundición de tubos de concreto recibe todos los ingredientes y los mezcla de tal forma que obtenga un producto homogéneo; con las mismas propiedades en todas las direcciones. El elemento mezclador es un tambor giratorio de eje horizontal con alimentación y descarga por las paredes laterales, el cual es accionado por los siguientes dispositivos. Ver figura 26

- a. Un motor eléctrico de 50 Hp y 1725 r.p.m., tiene acoplado en el eje una polea de cuatro canales y diámetro de 25 cm.
- b. Cuatro correas trapezoidales
- c. Una polea de cuatro canales y diámetro de 78 cm, acoplada al eje de entrada del reductor de velocidad
- d. El reductor de velocidad con una velocidad de entrada de 552.8 r.p.m. y una velocidad de salida de 131.4 r.p.m., tiene acoplado al eje de salida el piñón conductor de 26 cm de diámetro, el cual engrana con la corona del tambor de 201 cm de diámetro.

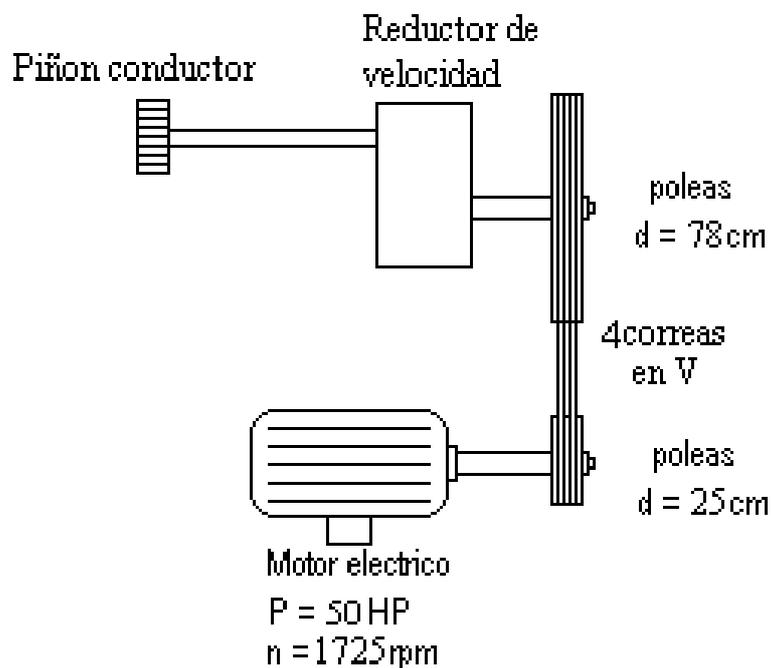


Figura 26. Elementos de accionamiento del tambor mezclador

3.2.1. Verificación de la capacidad del tambor. El máximo volumen de materiales a mezclar esta limitado por el borde de los orificios del tambor en su parte mas baja, ver figura 27, pero la capacidad del mezclador corresponde a las dos terceras partes del máximo volumen (tomado de la Enciclopedia Técnica de la Mecánica pagina 259)

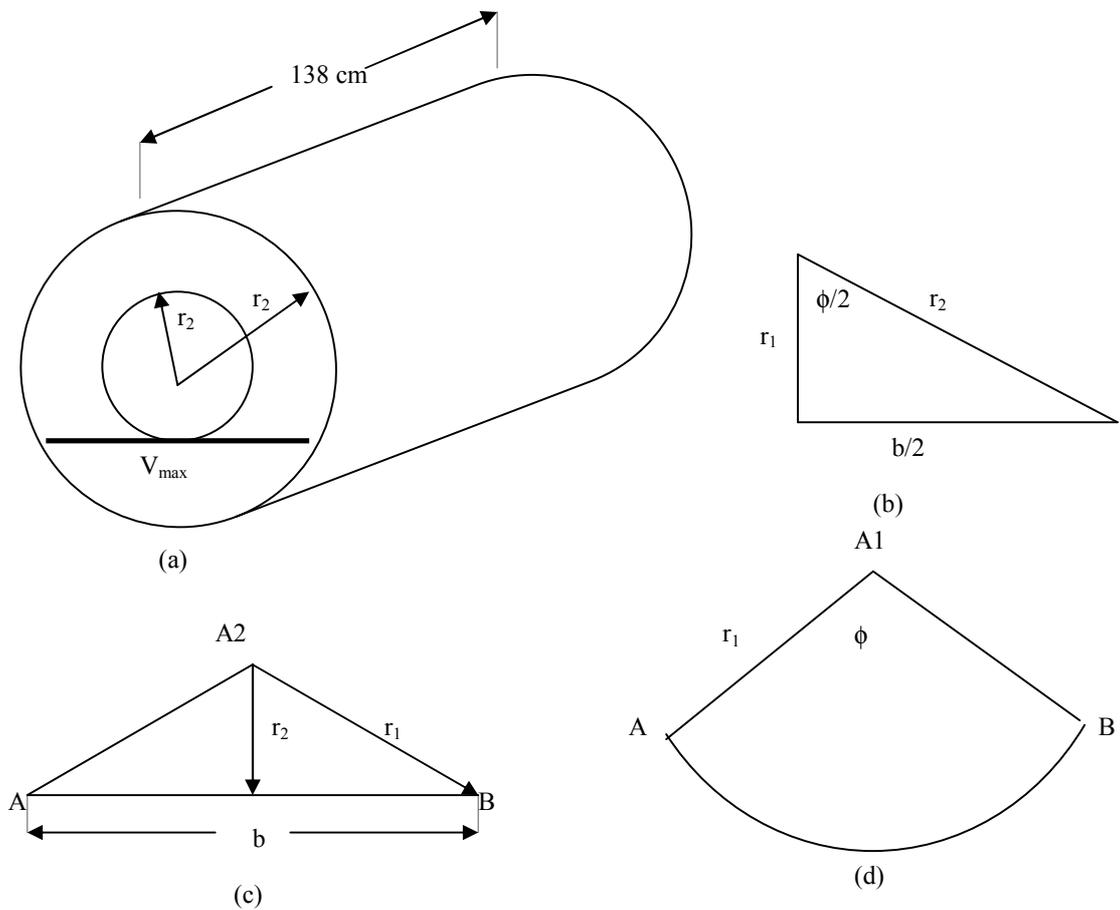


Figura 27. Dimensiones actuales del tambor

El volumen máximo es:

$$V_{\max} = (A_1 - A) * L$$

Ecuación 39

Donde

$$A_1 = \frac{\pi r_1^2 \phi}{360}$$

Ecuación 40

$$A_2 = \frac{b * a}{2}$$

Ecuación 41

De la figura 27(b) se tiene que:

$$\text{Cos}\left(\frac{\phi}{2}\right) = \frac{35}{88.5}$$

$$\phi = 133.4^\circ$$

$$\frac{b}{2} = \sqrt{r_1^2 - r_2^2}$$

$$b = \sqrt{88.5^2 - 35^2}$$

$$b = 162.57 \text{ cm}$$

Remplazando los valores correspondientes en las ecuaciones 40 y 41, se tiene

$$A_1 = \frac{\pi * 88.5 * 133.4}{360} = 9117.8 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = \frac{162.6 * 35}{2} = 2845.5 \text{ cm}^2$$

Remplazando en la ecuación 39, se tiene:

$$V_{\text{max}} = (9117.8 - 2845.5) * 138$$

$$V_{\text{max}} = 865577.4 \text{ cm}^3$$

La capacidad del mezclador es:

$$\nabla = 2/3 \nabla_{\max}$$

Ecuación 42

$$\nabla = 2/3 * 865577.4$$

$$\nabla = 577051.6 \text{ cm}^3 = 0.5770516 \text{ m}^3$$

El resultado anterior es el motivo por el cual se hace necesario el rediseño del tambor mezclador; el hecho de que su capacidad es de 0.577 m^3 no permite el llenado de los ingredientes para producir 1 m^3 de concreto.

3.2.2 Dimensionamiento del tambor mezclador. Como quedo demostrado en el numeral 3.2.1, el tambor mezclador debe ser modificado para obtener 1 m^3 de concreto. Si se varían las dimensiones radiales se debe intervenir también en toda la estructura o bastidor del tambor y el resto de sus elementos, para evitar dicha situación o hacer alteraciones mínimas se ha de variar solo la longitud. Ver figura 28.

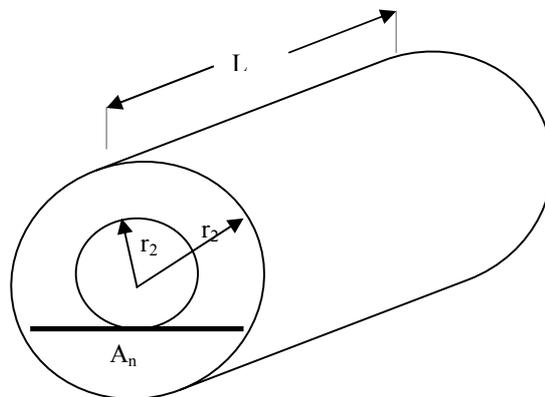


Figura 28. Dimensionamiento del tambor

Partiendo de los requerimientos de llenado se debe cumplir que:

$$\frac{2}{3} \nabla_n = \nabla_m$$

Ecuación 43

Donde

∇_n es el volumen neto

∇_m es el volumen de los materiales

∇_n esta dado por:

$$\nabla_n = A_n * L$$

El valor de A_n es 0.628041776 m²

Remplazando en la ecuación 43

$$\frac{2}{3} (A_n L) = \nabla_m$$

Ecuación 44

Despejando L de la ecuación 44

$$L = \frac{3 \nabla_m}{2 A_n}$$

$$L = \frac{3 * 1}{2 * 0.628041776}$$

$$L = 2.38837615 \text{ m}$$

3.2.3 Dimensionamiento de las palas del tambor mezclador. Para la longitud determinada del tambor las palas tienen las siguientes características. Ver figura 29

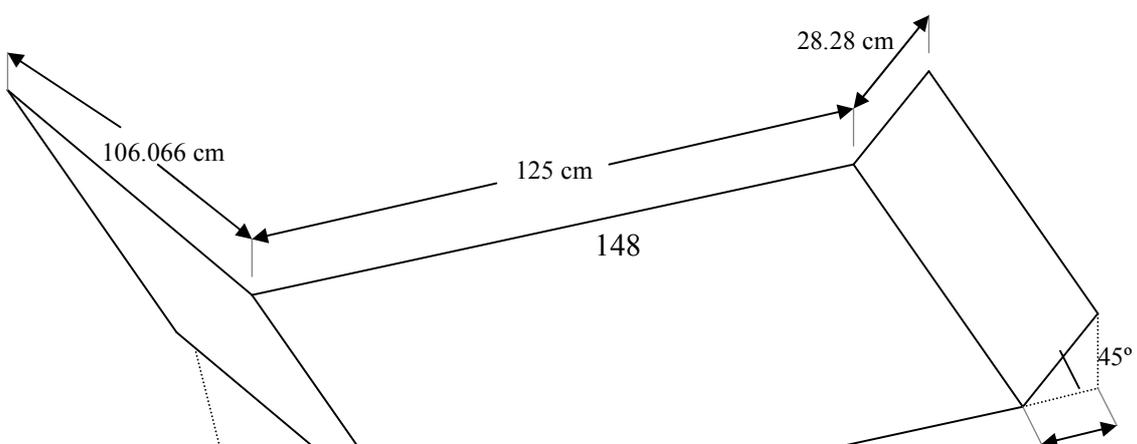


Figura 29. Dimensiones de las palas del tambor mezclador

Se mantienen su forma, material, espesor de la lamina y su cantidad (N = 10 palas)

En el lado de alimentación del mezclador la lamina tiene un ángulo de 45° en una extensión de 75 cm y también 45° en el lado de la descarga en una extensión de 20 cm. Esto para el fácil manejo del material en la entrada y salida (tomado de Day, David. Maquinaria para Construcción, México, Limosa, 1978, pagina 517)

Para determinar el ancho de las palas se emplea la expresión

$$\frac{b}{D} = \frac{1}{6}$$

Ecuación 45

Donde b = ancho de la pala

D = Diámetro interno del tambor

Despejando b de la ecuación 45, se tiene

$$b = \frac{D}{6}$$
$$b = \frac{1750.95}{6} = 29 \text{ cm}$$

3.2.4 Cálculo de la velocidad del tambor mezclador. La velocidad de rotación depende del diámetro del tambor. No es preciso, en efecto sobrepasar una determinada fuerza centrífuga, que conduciría a la segregación de los materiales, agrupándose los gruesos en la periferia. La relación de diámetro del tambor (n en metros) y velocidad de rotación (n en revoluciones por minuto) es:

$$D * n^2 = 350 \text{ ó } 450 \qquad \text{Ecuación 46}$$

(tomado de La Obra, Tomo I, Instalaciones, Utillajes y equipos, Técnicos Asociados S.A. 1973, pag 171)

Sabiendo que D = 1.77 m, se tiene para las relaciones:

$$n = \sqrt{350/1.77}$$
$$n = 15.9448201 \text{ r.p.m.}$$

y

$$n = \sqrt{450/1.77}$$
$$n = 14.0620095 \text{ r.p.m.}$$

La mezcladora posee una velocidad de rotación de 17 r.p.m. (1.780235837 rad / s) la cual se emplea en los cálculos siguientes.

3.2.5 Potencia requerida por el tambor mezclador. La potencia necesaria para que el tambor entre en funcionamiento se determina teniendo en cuenta las fuerzas generadas por el material a mezclar y el momento de inercia del tambor respecto al eje de rotación.

$$P = \tau * w_T \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde

P es la potencia

τ es el torque debido a las fuerzas actuantes en el mezclador

w_T es la velocidad angular del tambor

3.2.5.1 Fuerzas dentro del mezclador. Las fuerzas que actúan en el interior del mezclador están dadas por el peso del concreto en cada una de las palas; esta consideración se hace en vista de que la velocidad de rotación es baja.

El máximo valor de esta fuerza se obtiene cuando la sección no inclinada respecto a la pared del tambor es paralela a un plano horizontal. El área de

flujo del material a mezclar es un triángulo con base igual al ancho de la pala y su altura a un 80% del mismo, ver figura 30

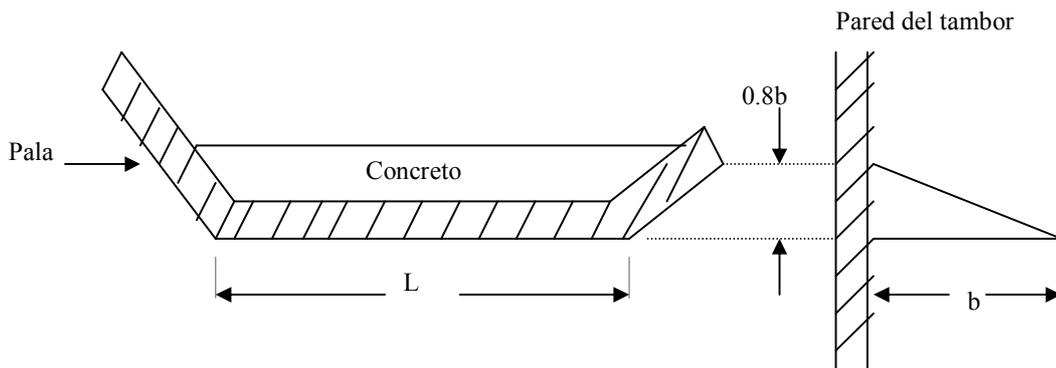


Figura 30. Volumen del concreto en la pala

El volumen del concreto en cada pala es:

$$\nabla_{cp} = \frac{b * 0.8b}{2} * L = 0.4 b^2 L$$

Ecuación 48

Donde

b es el ancho de la pala

L es la longitud de la superficie plana de la pala

Remplazando los valores respectivos se tiene:

$$\nabla_{cp} = 0.4 * 0.29^2 * 1.25$$

$$\nabla_{cp} = 0.04205 \text{ m}^3$$

El Peso del concreto en cada pala (ver figura 31) se ajusta con un factor 1.2 para tener en cuenta el efecto de las secciones inclinadas, y esta dado por:

$$W_c = 1.2 \rho_c * \nabla_{cp} * g$$

Ecuación 49

$$W_c = 1.2 * 2320 * 0.04205 * 9.8$$

$$W_c = 1147.25856 \text{ N}$$

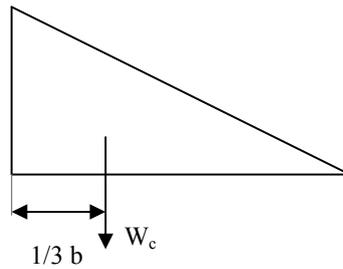


Figura 31. Ubicación del peso del concreto

3.2.5.2 Momento de inercia de las palas. Para calcular el momento de inercia de las palas respecto al eje de rotación del mezclador se emplean tres secciones.

Sección A: Parte inclinada del lado de la carga. Ver figura 32

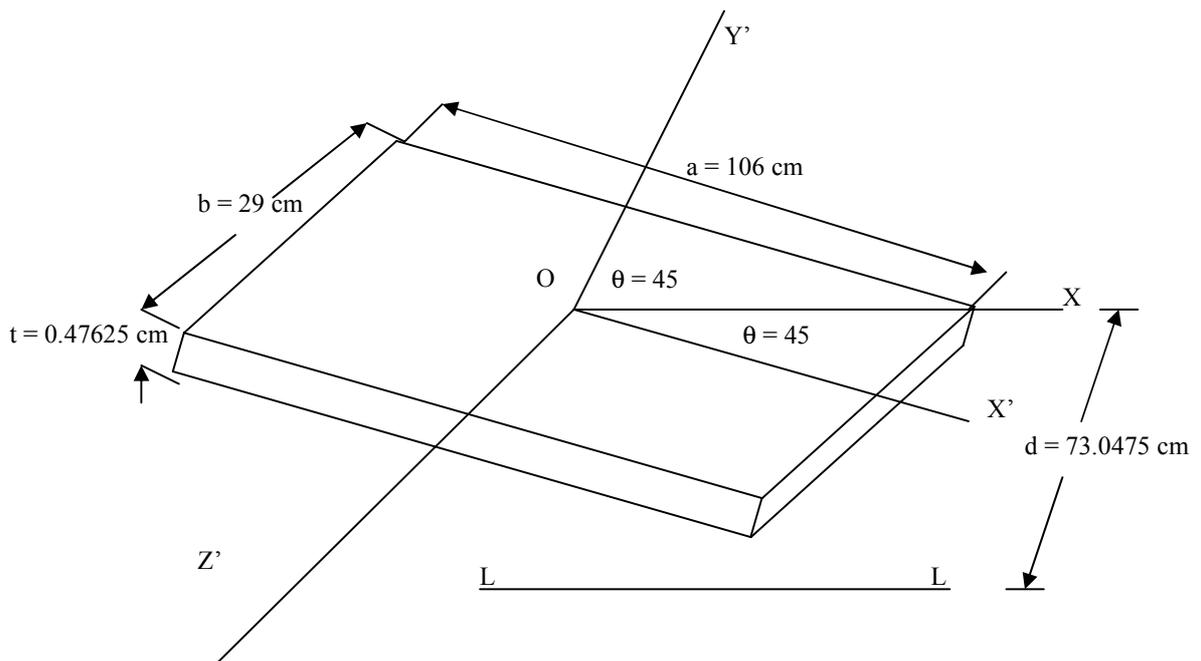


Figura 32. Sección inclinada de la pala. Lado de la carga

En esta sección se emplean los conceptos de momento de inercia con respecto a un eje arbitrario que pasa por O y teorema de los ejes paralelos (Mecánica Vectorial para Ingenieros, Estática: Beer; Quinta edición, McGraw Hill pag 396, 398 y 410)

El momento de inercia respecto al eje arbitrario LL viene a estar dado por:

$$I_{LL} = I_X + m d^2 \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde

$$d = \frac{D}{2} - \frac{b}{2} = \frac{D-b}{2} \quad \text{Ecuación 51}$$

$$I_X = I_{X'} (\cos\theta)^2 + I_{Y'} (\cos\phi)^2 \quad \text{Ecuación 52}$$

$$I_{X'} = \frac{1}{12} m b^2 \quad \text{Ecuación 53}$$

$$I_{Y'} = \frac{1}{12} m (a^2 + b^2) \quad \text{Ecuación 54}$$

La masa de la sección esta dada por:

$$m = \rho * \forall \quad \text{Ecuación 55}$$

El volumen por:

$$\nabla = a * b * t$$

Ecuación 56

$$\nabla = 106.0660172 * 29 * 0.47625$$

$$\nabla = 1464.9 \text{ cm}^3$$

Remplazando el volumen en la ecuación 55

$$m = 7860 * 1.46490428 \times 10^{-3}$$

$$m = 11.51414764 \text{ Kg.}$$

Remplazando los valores respectivos en la ecuación 53 y 54, se tiene:

$$I_{x'} = \frac{1}{12} 11.51414764 * 29^2$$

$$I_{x'} = 806.9498471 \text{ kg.cm}^2$$

$$I_{y'} = \frac{1}{12} 11.51414764 * (106.0660172^2 + 29^2)$$

$$I_{y'} = 11601.46326 \text{ kg.cm}$$

Remplazando $I_{x'}$, $I_{y'}$, θ y ϕ , se tiene:

$$I_x = 806.9498471 (\text{Cos}45)^2 + 11601.46326 * (\text{Cos}45)^2$$

$$I_x = 6204.206554$$

Ahora remplazando el valor de D y b en la ecuación 51 se tiene

$$d = \frac{175.095 - 29}{2}$$

$$d = 73.0475 \text{ cm}$$

Remplazando valores en la ecuación 50

$$I_{LL} = 6204.206554 + 11.51414764 * (73.0475)^2$$

$$I_{LL} = 67642.97592 \text{ kg.cm}^2$$

Sección B. Es la parte intermedia de la pala.

El momento de inercia respecto al eje X es

$$I_x = \frac{1}{12} m * b^2 \quad \text{Ecuación 57}$$

Remplazando las dimensiones de la figura 33 en la ecuación 56 se tiene;

$$\nabla = 1726.4 \text{ cm}^3$$

Remplazando la ecuación 55, se tiene una masa de:

$$m = 13.56955313 \text{ Kg.}$$

Ahora, remplazando en la ecuación 57:

$$I_x = \frac{1}{12} 13.56955313 * (29)^2$$

$$I_x = 950.999515 \text{ kg.cm}^2$$

Remplazando en la ecuación 50 se tiene:

$$I_{LL} = 73357.28361 \text{ kg.cm}^2$$

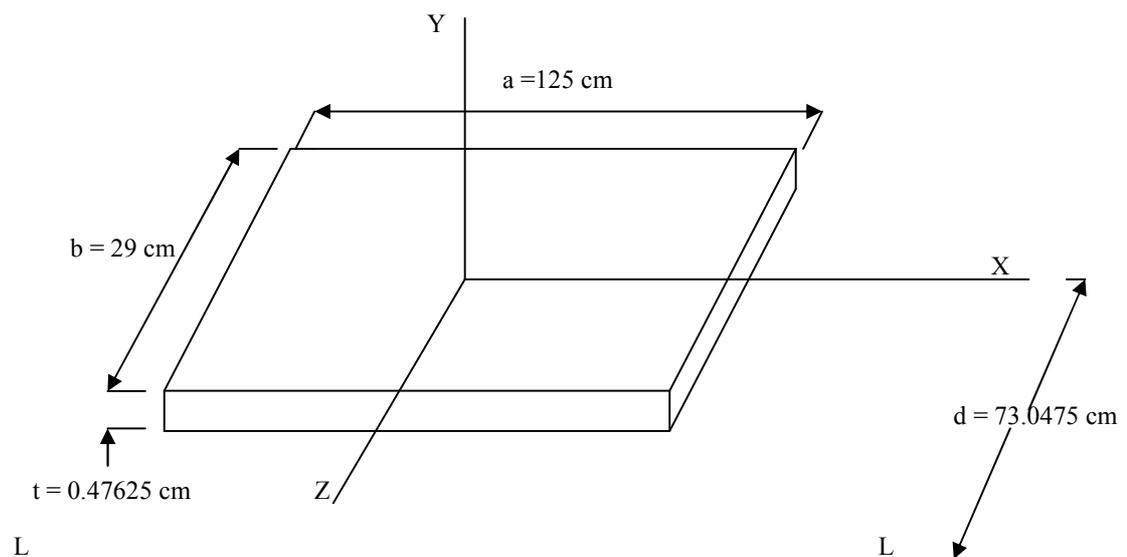


Figura 33. Parte intermedia de la pala

Sección C. Se procede igual que en la sección A

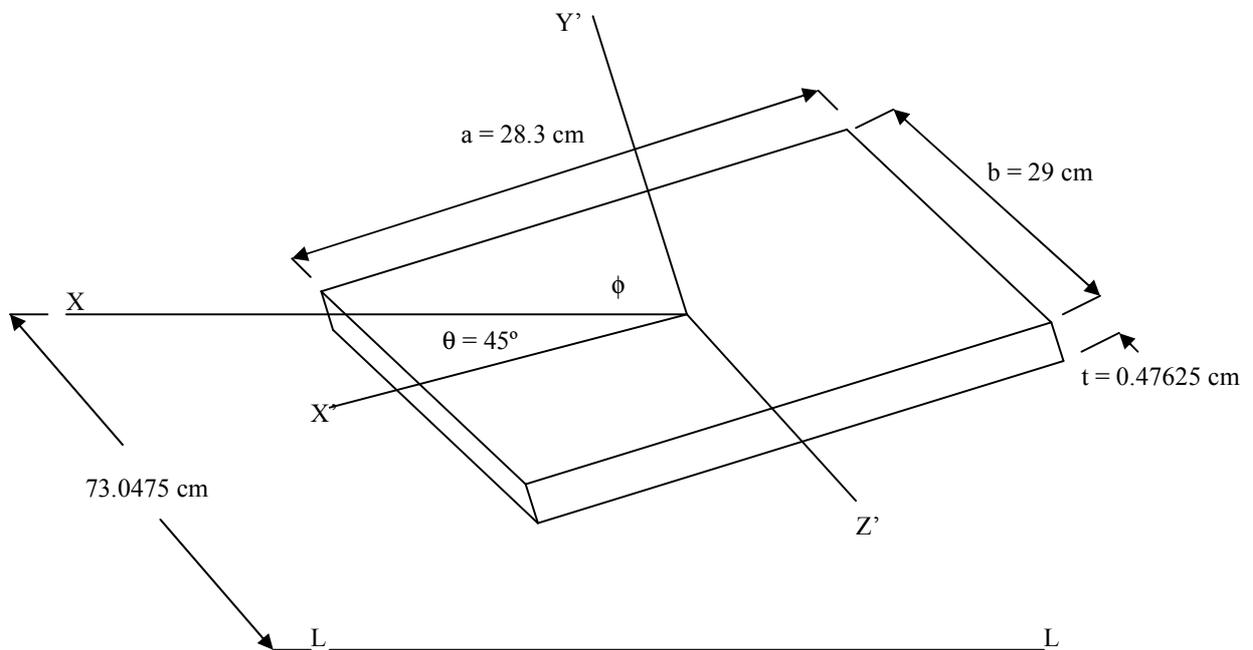


Figura 34. Sección inclinada de la pala. Lado de la descarga

Remplazando las dimensiones de la figura 34 en la ecuación 56, se tiene:

$$\nabla = 390.9 \text{ cm}^3$$

Remplazando en la ecuación 55, la masa de la sección es:

$$m = 3.070439371 \text{ Kg.}$$

$$I_{X'} = \frac{1}{12} m * b^2$$

$$I_{X'} = \frac{1}{12} 3.070439371 * 29^2$$

$$I_{X'} = 215.1866259 \text{ kg.cm}^2$$

$$I_{Y'} = \frac{1}{12} m * (a^2 + b^2)$$

$$I_{Y'} = \frac{1}{12} 3.070439371 * (28.28427125^2 + 29^2)$$

$$I_{Y'} = 419.882584 \text{ kg.cm}$$

$$I_X = I_{X'} (\text{Cos } \theta)^2 + I_{Y'} (\text{Cos } \phi)^2$$

$$I_X = 215.1866259 (\text{Cos } 45)^2 + 419.882584 (\text{Cos } 45)^2$$

$$I_X = 317.534605$$

$$I_{LL} = I_X + m d^2$$

$$I_{LL} = 317.534605 + 3.070439371 * (73.0475)^2$$

$$I_{LL} = 16701.20644 \text{ kg.cm}$$

el momento de inercia de una pala con respecto al eje LL (I_{LLP}) es la suma de los momentos de inercia de cada sección

$$I_{LLp} = I_{LL \text{ Sección A}} + I_{LL \text{ Sección B}} + I_{LL \text{ Sección C}}$$

$$I_{LLp} = 67642.97592 + 73357.28361 + 16701.20644 = 157701.466 \text{ kg.cm}^2$$

Para un total de 10 palas se tiene

$$I_{LLp} = 10 * 157701.466$$

$$I_{LLp} = 1577014.66 \text{ kg.cm}^2$$

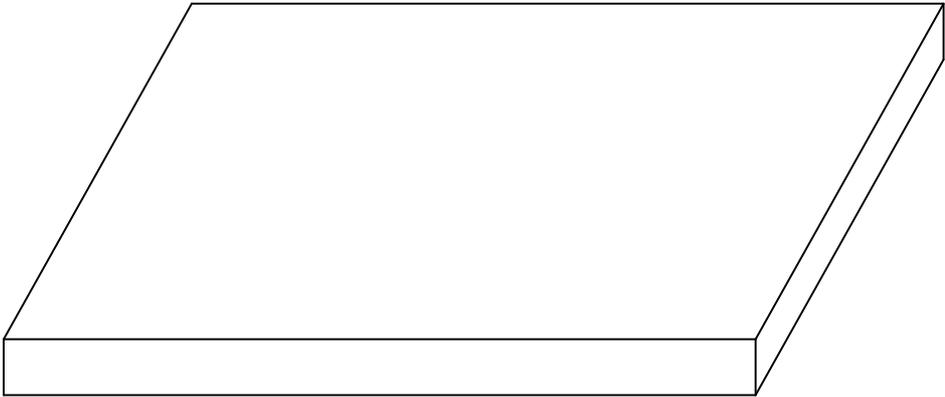
Momento de inercia del tambor mezclador

Este momento de inercia comprende el cilindro y las paredes laterales

El momento de inercia del cilindro es

$$I_C = \frac{1}{2} m (r_e^2 - r_i^2)$$

teniendo en cuenta la figura se obtiene el volumen del cilindro



El volumen de la lamina del cilindro es

$$\forall = L * a * e \quad \text{Ecuación 60}$$

Remplazando en la ecuación 60

$$\forall = 240 * 556.0618997 * 0.9525$$

$$\forall = 127115.7503 \text{ cm}^3$$

La masa se incrementa en un 30% considerando los elementos adheridos, esta masa es:

$$m = 1.3 \rho * \forall \quad \text{Ecuación 61}$$

$$m = 1.3 * 7860 * 127005.7503/100^3$$

$$m = 12983868737$$

Remplazando los valores respectivos en la ecuación 58, se tiene

$$I_C = \frac{1}{2} * 1298.868737 (88.5^2 - 87.5475^2)$$

$$I_C = 108145.9768 \text{ kg.cm}^2$$

De acuerdo a la figura 37 el momento de inercia de las paredes laterales es:

$$I_T = \frac{1}{2} m (r_e^2 - r_o^2) \quad \text{Ecuación 62}$$

Torque requerido para el funcionamiento del tambor (τ)

$$\tau = W_C * \left(\frac{D_i}{2} - \frac{1}{3}b \right) * 10 + I_{LLH} \alpha + F_r * r_T$$

Teniendo en cuenta que el tiempo necesario para vencer la inercia está entre 2 y 4 segundos y tomando un promedio ($t = 3$ segundos)

Entonces la aceleración angular es

$$\alpha = \frac{w}{t} = \frac{1.780235837}{3}$$

$$\alpha = 0.5934119457 \text{ rad/seg}$$

reemplazando en la **ecuación**

$$\tau = 1147.25856 * \left(\frac{87.5475 - 9.6666}{100} \right) * 10 + 271.194414 * 0.5934119457 + \frac{27300 * 92.5}{100} = 34348.4 \text{ N.m}$$

La potencia es de acuerdo a la ecuación

$$P = 9.0959 * 1.78$$

$$P = 16.2 \text{ Kw}$$

$$1 \text{ Hp} = 0.746 \text{ Kw}$$

$$P_{HP} = \frac{16.2}{0.746}$$

$$P = 21.7 \text{ Hp}$$

Se asume los valores de rendimiento de reducción de la transmisión y por fricción, igual a 0.99 y 0.96 respectivamente. Estos valores son

recomendados en Dobrovolski, K. Elementos de máquina; sexta edición. Moscú 1976.

Entonces el valor de la potencia total requerida es

$$P_{\text{total}} = \frac{21.7 \text{ Hp}}{0.99 * 0.96}$$
$$P_{\text{total}} = 22.8 \text{ Hp}$$

3.2.6 Calculo de las correas (sistema transmisión de potencia tambor).

La figura 26 muestra la transmisión de potencia del motor al reductor.

Potencia a transmitir: la potencia de proyecto es la potencia del motor eléctrico en CV multiplicada por el factor de servicio N_{sf} ,

$$P_{\text{proyecto}} = P_{\text{motor}} * N_{sf}$$

Ecuación 74

En el anexo H se muestra la selección del factor de servicio 1.4 conociendo la maquina conductora, conducida y el tipo de servicio (intermitente), cuando el tipo de servicio es intermitente se resta 0.2 al factor de servicio.

$$P_{\text{proyecto}} = (1.4 - 0.2) * 50 \text{ Hp}$$

$$P_{\text{proyecto}} = 60 \text{ Hp} = 61.2 \text{ CV}$$

Con la P_{proyecto} en CV y el numero de revoluciones por minutos de la polea menor se obtiene la sección de la correa mediante el anexo I

$$P_{\text{proyecto}} = 61.2 \text{ CV}$$

$$n_{p1} = 1725 \text{ r.p.m.}$$

Sección de correa determinada "C"

La longitud primitiva de la correa se determina por la ecuación 75

$$L = 2C + 1.57 (D_2 + D_1) + (D_2 - D_1)^2 / 4C \quad \text{Ecuación 75}$$

Donde

L = longitud primitiva de la correa, cm

$D_1 = D_{p3}$ = diámetro de polea 3; 25 cm

$D_2 = D_{p4}$ = diámetro de polea 4; 78 cm

C = distancia entre centros de las poleas 3 y 4; 70 cm

Remplazando en la ecuación 75

$$L = 2 * (70 \text{ cm}) + 1.57 (78 \text{ cm} + 25 \text{ cm}) + (78 \text{ cm} - 25 \text{ cm})^2 / 4 (70 \text{ cm})$$

$$L = 311.7 \text{ cm}$$

En el anexo J se determina el tipo de correa normalizado

Tipo de correa normalizada "C120"

La potencia nominal P_n , es la potencia que transmite cada correa y se determina por la ecuación 76:

$$P_n = \left[2.98 a \left(\frac{10^3}{V_m} \right)^{0.99} - \frac{8.43C}{K_d D_1} - 35.72e \frac{V_m^2}{10^6} \right] \frac{V_m}{10^3} \quad \text{Ecuación 76}$$

Donde

P_n = potencia nominal, CV

a, c, e = constantes correspondientes a una sección de correa en particular para el tipo C, del anexo J: a = 8.792; c = 38.819; e = 0.0416

$D_1 = D_{p3}$ = diámetro de la polea pequeña, 25 cm

K_d = coeficiente de diámetro pequeño, K

$$\frac{D_{p4}}{D_{p3}} = 3.12$$

$$K_d = 1.14$$

V_m = velocidad lineal de la correa, se determina por la ecuación 77

$$V_m = \pi * D_1 * n_{p1} \quad \text{Ecuación 77}$$

Remplazando en la ecuación 77, tenemos:

$$V_m = 1355 \text{ m/min}$$

Remplazando sus respectivos valores en la ecuación 76, tenemos que la potencia nominal es:

$$P_n = \left[2.98 (8.792) \left(\frac{10^3}{1355 \text{ m/min}} \right)^{0.09} - \frac{8.43(38.819)}{1.14(25)} - 35,72 (0.0416) \frac{(1355 \text{ m/min})^2}{10^6} \right] \frac{1355 \text{ m/min}}{10^3}$$

$$P_n = 15.3 \text{ CV}$$

La potencia nominal ajustada se determina por la ecuación 78

$$P_{na} = P_n * K_\theta * K_L \quad \text{Ecuación 78}$$

Donde

P_{na} = potencia nominal ajustada, CV

P_n = potencia nominal, 15.3 CV

K_θ = coeficiente de conexión por arco de contacto distinto a 180°

K_L = coeficiente de corrección de longitud de correa

Del anexo L se determina K_θ , utilizando la ecuación 79

$$\left(\frac{D_2 - D_1}{C} \right) \quad \text{ecuación 79}$$

Se tiene en cuenta el tipo de transmisión de correa (V-V)

Donde

C = distancia entre centro de poleas; 70 cm

$D_2 = D_{p4}$ = Diámetro de la polea mayor; 78 cm

$D_1 = D_{p3}$ = Diámetro de la polea menor; 25 cm

Remplazando en la ecuación 79

$$\frac{78 \text{ cm} - 25 \text{ cm}}{70 \text{ cm}} = 0.75$$

$$K_{\theta} = 0.89$$

Del anexo M se determina K_L con la longitud normalizada y la sección de correa (tipo C 120)

$$K_L = 0.98$$

La potencia nominal ajustada P_{na} , se determina con la ecuación 78

$$P_{na} = 15.3 \text{ CV} * 0.89 * 0.98$$

$$P_{na} = 13.35 \text{ CV}$$

El número de correas a utilizarse determina por la ecuación 80

$$N^{\circ} = P_{\text{proyecto}} / P_{na} \quad \text{Ecuación 80}$$

$$N^{\circ} = 61.2 \text{ CV} / 13.35 \text{ CV}$$

$$N^{\circ} = 4.58$$

Se utilizan cinco correas por ser el número entero inmediato superior

3.2.7 Diseño de los ejes para los apoyos del tambor. El tambor mezclador se apoya en cuatro rodillos como se muestra en la figura 38 y las

fuerzas que actúan en cada eje corresponde a la mitad del peso total hallada en el numeral 3.2.5.4

Teniendo en cuenta esto se construye el diagrama de cuerpo libre del eje figura 39

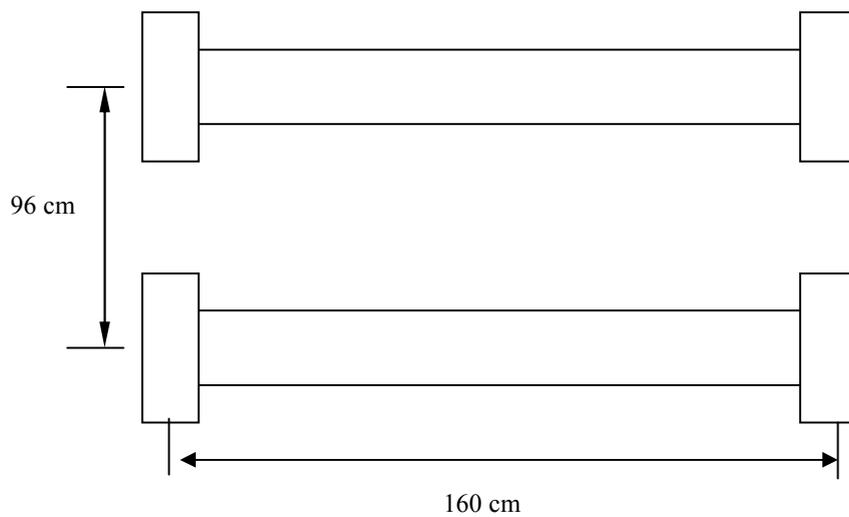


Figura 38. Disposición de los rodillos soportes y sus ejes

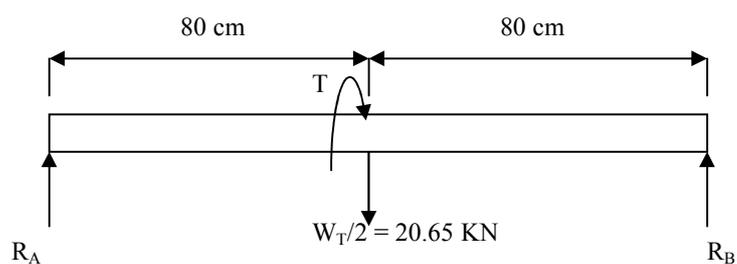


Figura 39. Diagrama de cuerpo libre del eje de los rodillos soportes

Los valores de R_A y R_B están dados por

$$R_A = R_B = W_T/4$$

Ecuación 81

$$R_A = R_B = 10.33 \text{ KN}$$

El torque T está dado por

$$T = W_T/2 * d/2$$

Ecuación 82

Donde

d es la distancia entre los ejes paralelos

Remplazando en la ecuación 82 se tiene

$$T = 20.65 * 0.48$$

$$T = 9.9 \text{ KN.m}$$

Diagrama de momento

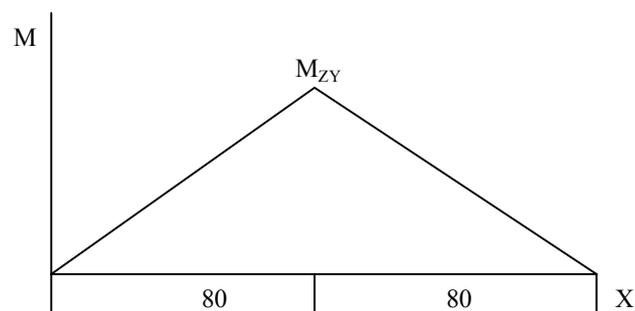


Figura 40. Diagrama momento del eje soporte

El momento máximo M_{ZY} esta dado por:

$$M_{ZY} = R_A * \frac{80}{100}$$

$$M_{ZY} = 10.33 * \frac{80}{100} = 8.3 \text{ KN.m}$$

Empleando el acero AISI 4140 con $S_{ut} = 1770$ Mpa, $S_y = 1640$ Mpa y $BH = 510$, se procede al calculo del diámetro del eje

Análisis de carga estática

Con un factor de seguridad de 1.8 se tiene de la ecuación 34

$$d = \left[\frac{32 * 1.8}{\pi * 1640 \times 10^6} (8300^2 + 9900^2)^{1/2} \right]^{1/3} = 0.052 \text{ m}$$

Análisis de fatiga

Se emplea el criterio de Goodman modificado, con un factor de seguridad de 1.8 y $S'_e = 700$ Mpa para $S_{ut} = 1400$ Mpa se tiene de la ecuación 35

$$d = \left\{ \frac{32 * 1.8}{\pi} \left[\left(\frac{1 * 8300}{523 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{9900}{1770 \times 10^6} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0.067 \text{ m}$$

Entonces el diámetro para cada eje de los apoyos del tambor es de 0.70 cm

3.2.8 selección de los rodamientos para los ejes de los apoyos. el procedimiento es el mismo que el desarrollado en el numeral 3.1.11

Con $L_{10} = 11000$

$$P = R_A = R_B = 10.33 \text{ KN}$$

$$K = 10 / 3$$

Se tiene en la ecuación 37

$$C = 10330 * (11000)^{1/(10/3)}$$

$$C = 162126.41 \text{ N}$$

Con este valor y un diámetro de 70 mm se selecciona el rodamiento en el anexo G cuatro rodamientos tipo NU 414

3.2.9 Tanque. El tanque debe tener la capacidad adecuada para contener y entregar al menos las cantidades de agua especificadas en la columna 2 del cuadro 2. Sus características deben ser tales que el tiempo total requerido para el ciclo de alimentación del tanque con las cantidades mencionadas y para descargar estén dentro de la mezcladora, no exceda 2 minutos para mezcladora de caída libre o de 1 minuto para mezcladora de acción forzada norma ICONTEC 1757

Cuadro 2. Capacidad de los tanques, descarga inicial e incrementos de descarga para tanques automáticos

1		2	3	4
Tamaño de la mezcladora		Capacidad Mínima del tanque	Tanques automáticos únicamente	
			Descarga mínima inicial	Incremento de descarga
dm ³	M ³	dm ³	dm ³	dm ³

200		35	7	1
250		50	10	1
350		65	10	1
500		100	15	2
750		150	25	2
1000		200	35	5
	1,5	300	50	5
	2,0	400	70	7

Las dimensiones del tanque son

Altura h = 120 cm

Diámetro D = 100 cm

La capacidad de dicho tanque está dada por.

$$V = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2 * h$$

Ecuación 83

Remplazando los valores de h y D, en la ecuación 83 se tiene

$$V = \pi \left(\frac{100}{2} \right)^2 * 120$$

$$V = 942478 \text{ cm}^3$$

$$V = 942.5 \text{ dm}^3$$

este resultado indica que el tanque cumple con lo establecido en la norma (ver cuadro 2 para mezcladora de 1 m³).

3.2.10 Conducto de descarga. Los conductos de descarga móviles en mezcladoras tipo no inclinables, deben ser tales que el eje central de la placa del conducto forme un ángulo no menor de 40° con la horizontal, cuando esté en posición de descarga, de acuerdo con la norma ICONTEC 1757.

El conducto de descarga posee un ángulo de 58° en posición de descarga, lo que indica que no presenta inconveniente alguno. ver figura 41.

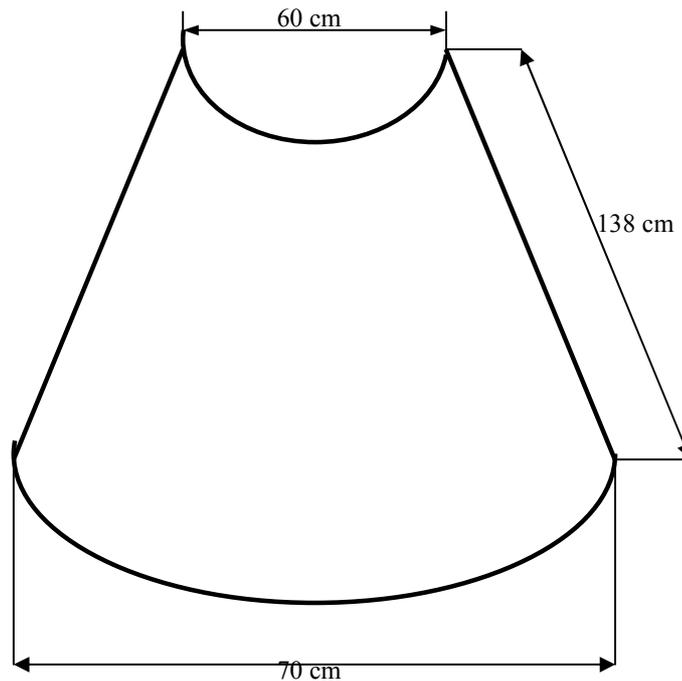


Figura 41. Conducto de descarga

3.3 SUBSISTEMA DE DESCARGA.

Dado que los moldes o formaletas tienen una altura de 2 metros, es necesario transportar el concreto una altura conveniente donde se encuentra la tolva de descarga. Esta operación se realiza empleando un cangilón o depósito el cual se desplaza sobre una pista metálica que posee un ángulo de inclinación de 52° ; el punto más bajo coincide con la descarga de la mezcladora y el punto más elevado con la boca de la tolva de descarga.

Los elementos de transmisión de potencia son, ver figura 42:

- a. Un motor eléctrico trifásico de 12.5 Hp y 1200 r.p.m., tiene acoplado en el eje una polea de tres canales y 15 cm de diámetro.
- b. Dos correas trapezoidales
- c. Una polea de dos canales y 23 cm de diámetro, acoplada al eje de entrada de un reductor de velocidad.
- d. Un reductor de velocidad con 782.6 r.p.m. de entrada y 4 r.p.m. de salida, acoplado en el eje de salida con el eje del tambor del cable mediante acople flexible. El tambor del cable tiene 20 cm de diámetro y el cable es de 0.5 pulg.

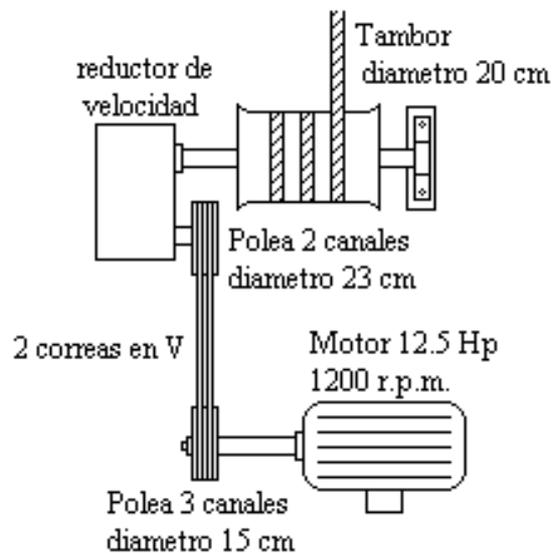


Figura 42. Elementos de accionamiento del cangilón

3.3.1 Verificación de la capacidad del cangilón. Se determina la máxima capacidad del cangilón existente con el objetivo de decidir si hay o no la

necesidad de incrementar sus dimensiones para transportar 1 m³ de concreto, de acuerdo con la figura 42.

El volumen del cangilón se halla mediante la expresión:

$$V = \frac{(B + b) * h * L}{2} \quad \text{Ecuación 84}$$

$$V = \frac{(121 + 25.7) * 122 * 92}{2} = 823280.4 \text{ cm}$$

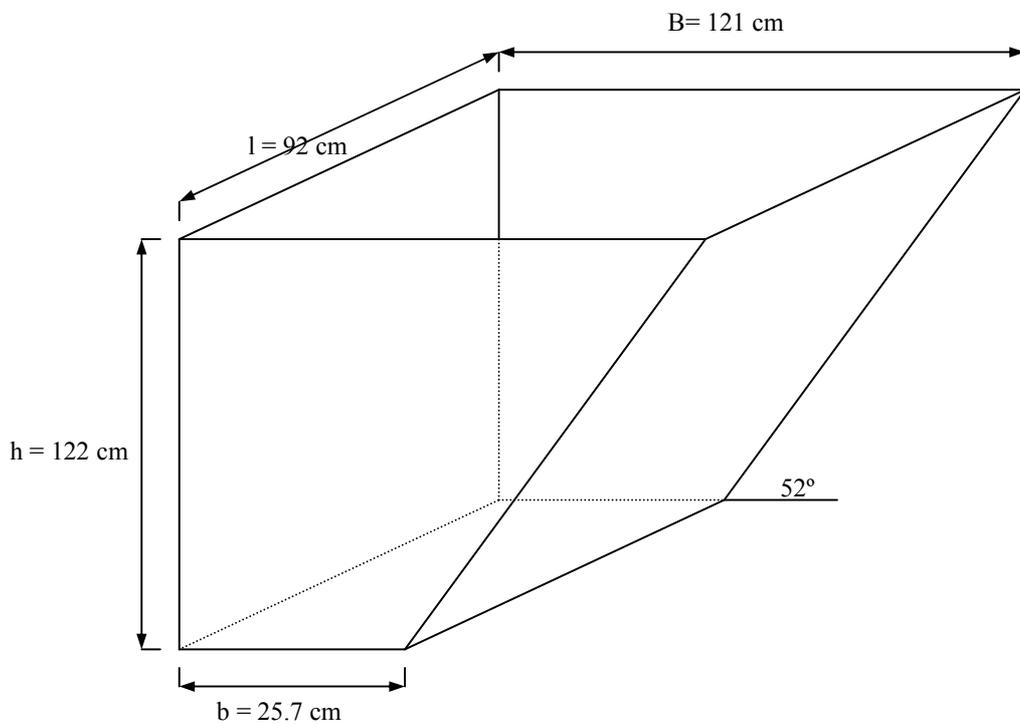


Figura 42. Dimensiones actuales del cangilón

Este resultado indica que la capacidad del cangilón debe ser incrementada, por lo menos, en un 21.47%

3.3.2. Dimensionamiento del cangilón. Con la misma disposición del cangilón actual; se encuentra que las dimensiones a variar son B y h. Tomando valores nuevos de B = 135 cm y h = 140 cm, y remplazando en la ecuación 84, la nueva capacidad es:

$$\bar{V} = \frac{(135 + 25.7) * 140 * 92}{2} = 1034908 \text{ cm}^3$$

Este resultado indica un exceso del 3.37% impidiendo el desborde del concreto durante la operación.

3.3.3 Cálculo de la velocidad de desplazamiento del cangilón. La velocidad de desplazamiento del cangilón esta dada por

$$\bar{V} = \frac{E}{t} \quad \text{Ecuación 85}$$

Donde

E: longitud recorrida por el cangilón sobre la pista inclinada, esta longitud es 720 cm.

t = tiempo empleado en subir el cangilón por la pista que es de 55 segundos

Remplazando en la ecuación 85 se tiene

$$\bar{V} = \frac{7.2}{55} = 0.13 \text{ m/s}$$

3.3.4 Potencia requerida para transportar el concreto mediante el cangilón. La potencia necesaria para el funcionamiento del cangilón esta dada por

$$\text{Pot} = \vec{F} \cdot \vec{V} \quad \text{Ecuación 86}$$

Donde

F = Fuerza requerida de desplazamiento

V = Velocidad del cangilón

3.3.4.1 Fuerzas actuantes en el cangilón. Las fuerzas sobre el cangilón son su propio peso, el peso del material y la fuerza necesaria para vencer la inercia. Ver figura 43.

Para determinar el peso del cangilón se descomponen éste en cada una de las placas que lo conforman.

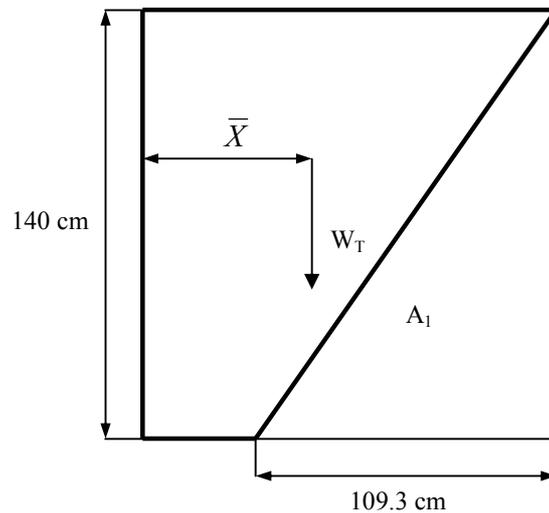


Figura 43. Ubicación del peso total del cangilón y el concreto

Sección A: placas laterales

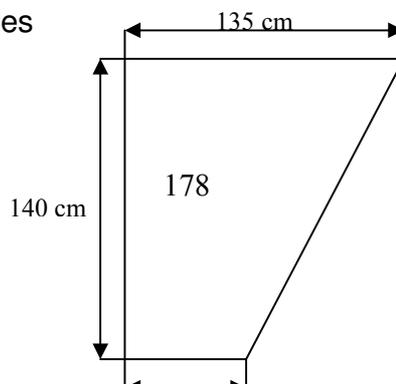


Figura 44 Paredes laterales del cangilón

Sabiendo que el espesor de la lamina es $e = 0.47625$ cm y la densidad del acero es 7860 kg/m^3 entonces la masa de la pared lateral es

$$m_A = \frac{(135 + 25.7) * 140 * 0.47625}{2} * \frac{7860}{100^3}$$
$$m_A = 42 \text{ kg}$$

Como son dos placas entonces

$$m_A = 84 \text{ kg}$$

El peso de las placas es

$$W_A = m * g$$

Ecuación 87

Remplazando en la ecuación 87, se tiene:

$$W_A = 823 \text{ N}$$

Sección B. Placa inclinada

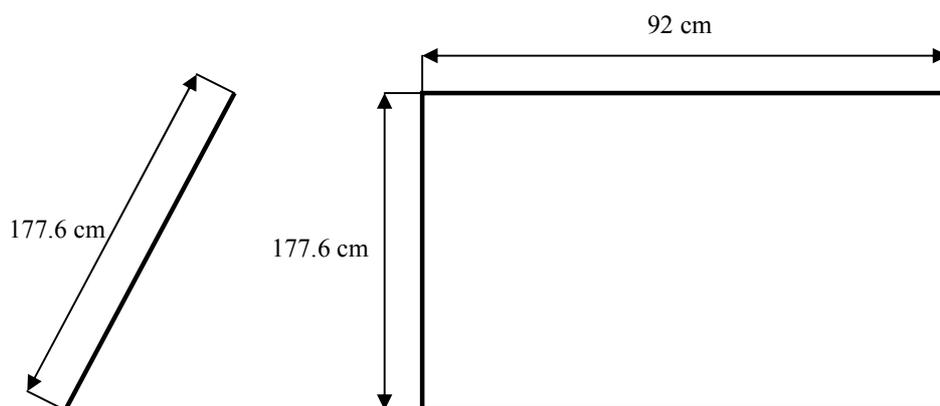


Figura 45. Pared inclinada del cangilón

La masa de la placa es

$$m_B = (92 * 177.6 * 0.47625) * 7860 / 100^3$$

$$m_B = 61 \text{ kg}$$

El peso de la placa es según la ecuación 87

$$W_B = 61 * 9.8 = 597.8 \text{ N}$$

Sección C

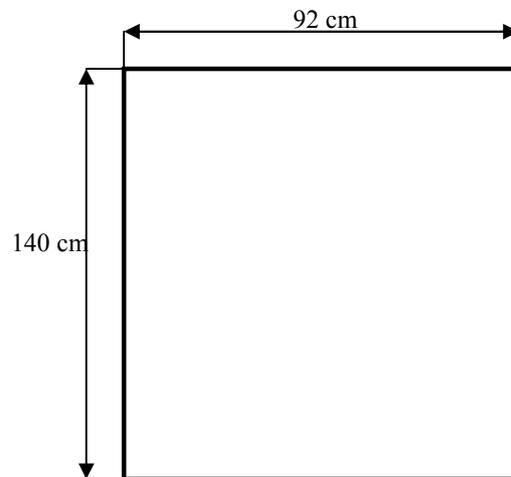


Figura 46. Pared vertical del cangilón

La masa de la placa

$$m_C = (92 * 140 * 0.47625) * 7860 / 100^3$$

$$m_C = 48 \text{ kg}$$

El peso de la placa es según ecuación 87

$$W_C = 48 * 9.8$$

$$W_C = 470 \text{ N}$$

Sección D

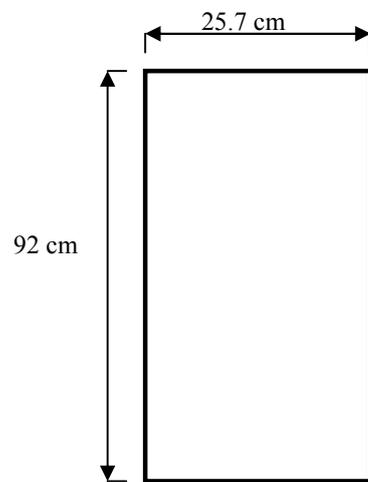


Figura 47. Piso del cangilón

La masa de la placa es

$$m_D = (92 * 25.7 * 0.47625) * 7860 / 100^3 = 8.9$$

El peso de la placa es según ecuación 87

$$W_D = 8.9 * 9.8 = 87 \text{ N}$$

La masa total y el peso total del cangilón se obtienen sumando los respectivos resultados anteriores

$$m_T = m_A + m_B + m_C + m_C$$

Ecuación 88

$$m_T = 84 + 61 + 48 + 8.9 = 202 \text{ kg}$$

$$W_T = W_A + W_B + W_C + W_D \quad \text{Ecuación 89}$$

$$W_T = 823 + 597.8 + 470 + 87 = 1977.8 \text{ N}$$

Peso del concreto

Sabiendo que la densidad del concreto es $2320 \text{ kg} / \text{m}^3$ y el volumen es 1 m^3 , Se tiene que la masa es

$$m_m = \rho * \nabla \quad \text{Ecuación 90}$$

Remplazando en la ecuación 90, se tiene

$$m_m = 2320 * 1$$

$$m_m = 2320 \text{ kg}$$

El peso del concreto es según ecuación 87

$$W_m = 2320 * 9.8$$

$$W_m = 22736 \text{ N}$$

La masa total es:

$$m_{\text{TOTAL}} = m_c + m_m \quad \text{Ecuación 91}$$

$$m_{\text{TOTAL}} = 202 + 2320 = 2522 \text{ Kg}$$

El peso total es:

$$W_T = W_C + W_m$$

Ecuación 92

$$W_T = 1977.8 + 22736 = 24713.8 \text{ N}$$

La abscisa del punto de aplicación del peso total es (ver figura 43)

$$\bar{X} = \frac{521361.4}{11249} = 46 \text{ cm}$$

Los datos se resumen en el siguiente cuadro.

Sección	A cm ²	\bar{X} cm	$\bar{X} A$ cm ³
Rectangulo	18900	67.5	1275750
A _i	-7651	98.6	-754388.6
Σ	11249		521361.4

3.3.5 Reacciones y tensión en el cable. La figura 48 muestra las fuerzas que actúan en el cangilón. Las fuerzas de rozamiento (F_{rA} y F_{rB}) se presentan entre los rodamientos del cangilón y la pista inclinada y están en función de las reacciones R_A y R_B y el coeficiente de rozamiento estático; este coeficiente es 0.74 entre dos superficies de acero.

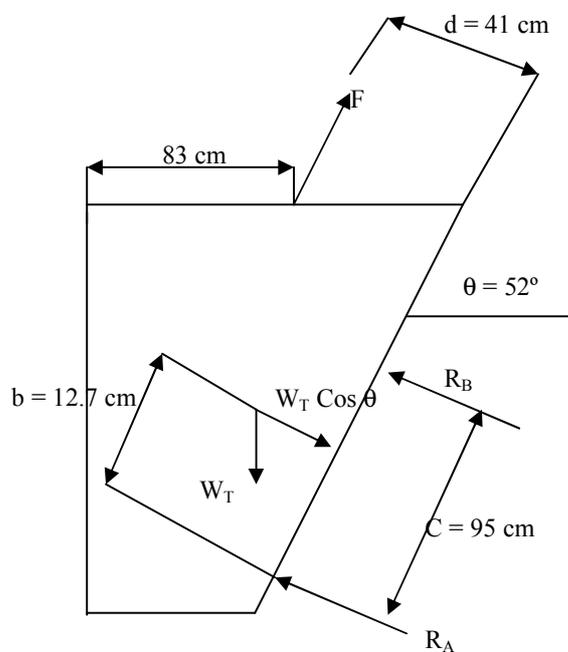


Figura 48. Fuerzas actuantes en el cangilón

La sumatoria de fuerzas en Y da:

$$R_A + R_B - W_T \cos 52 = 0$$

Ecuación 93

La sumatoria de fuerzas en X da:

$$F - (F_{rA} + F_{rB}) - W_T \sin 52 = 0$$

Ecuación 94

Al relacionar estas dos ecuaciones se tiene

$$F = W_T (\mu_s \cos 52 + \sin 52) \quad \text{Ecuación 95}$$

$$F = 24713.8 * (0.74 * \cos 52 + \sin 52)$$

$$F = 30734 \text{ N}$$

La distancia perpendicular entre el punto de aplicación del peso total y el eje X es muy pequeña y por lo tanto no se tiene en cuenta al aplicar momento en el punto A

Sumatoria de momento en el punto A da:

$$\sum M_A = 0 \quad R_B * c - W_T \cos \theta * b - F * d = 0 \quad \text{Ecuación 96}$$

Despejando R_B se tiene

$$R_B = \frac{W_T \cos \theta + F * d}{c}$$

$$R_B = \frac{24713.8 * \cos 52 + 30734 * 41}{95}$$

$$R_B = 13424.3 \text{ N}$$

Remplazando este valor en la ecuación 93 se tiene

$$R_A = 1791 \text{ N}$$

Las fuerzas de rozamiento están dadas por

$$F_{rA} = \mu_s R_A \quad \text{Ecuación 97}$$

$$F_{rB} = \mu_s R_B \quad \text{Ecuación 98}$$

Haciendo los respectivos reemplazos se tiene

$$F_{rA} = 0.74 * 1791 = 1325.34 \text{ N}$$

$$F_{rA} = 0.74 * 13424.3 = 9934 \text{ N}$$

3.3.6 Selección del cable. De acuerdo con el procedimiento descrito en el numeral 3.1.5 para una carga de 3135 kg = 3.135 Tn

Para un $d = 5/8 \text{ in} = 16 \text{ mm}$ con $D/d = 40$ para un cable 6 x 17, RN = 17.9 Tn del anexo tabla 8.2.66

$$CEE = \frac{(17.9 \text{ Tn})(0.95)}{5}$$

$$CEE = 3.401 \text{ Tn}$$

Para elevar el cangilón utilizar un cable 6 x 17 con $d = 5/8 \text{ in}$

El diámetro del tambor para el enrollamiento del cable es

$$D = 40 * d$$

$$D = 40 * (16 \text{ mm}) = 640 \text{ mm}$$

$$D = 640 \text{ cm}$$

Potencia requerida del cangilón

Remplazando el valor de F y el de la velocidad del cangilón en la ecuación

86 se tiene

$$P = 30734 * 0.13$$

$$P = 3955.42 \text{ watt}$$

$$P = 3.95542 \text{ Kw}$$

$$P_{HP} = 3.95542 / 0.746$$

$$P_{HP} = 5.36 \text{ HP}$$

3.3.7 Diseño de los ejes del cangilón. El cangilón posee dos ejes en los cuales se ajustan los rodamientos para el desplazamiento sobre la pista metálica inclinada.

Las reacciones en cada eje son diferentes, tal como se determino en el calculo de las fuerzas actuantes. La dimensión de los dos ejes se obtienen en base a la reacción de mayor valor, esto es R_B

Las cargas que soporta el eje B son:

$$R_B = 13424 \text{ N} \quad R_B/2 = 6712 \text{ N}$$

Solo la fuerza F produce un torque de magnitud significativa

$$T = F * d \quad \text{Ecuación 99}$$

Remplazando el valor de F y d en la ecuación 99, se tiene

$$T = 30737 * \frac{41}{100} = 12600 \text{ N.m}$$

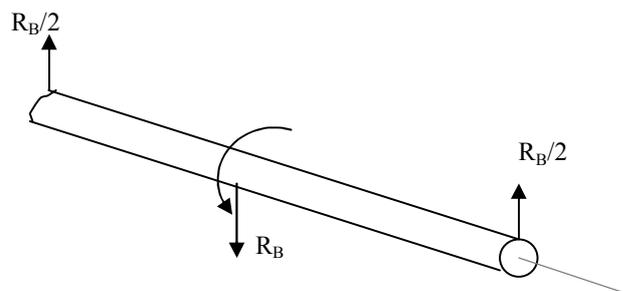


Figura 49. Diagrama de cuerpo libre del eje del cangilón

Diagrama de momento

Plano ZY

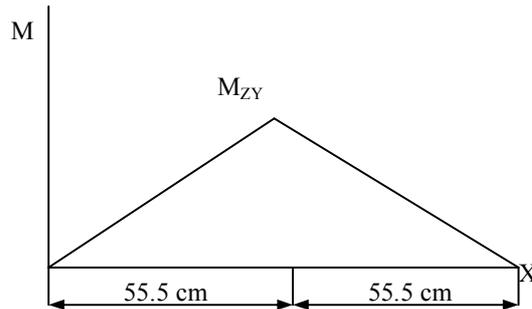


Figura 50. Diagrama de momento del eje del cangilón

El valor del momento flector es:

$$M_{ZY} = \frac{R_B}{2} * \frac{55.5}{100}$$

Ecuación 100

Remplazando el valor de R_B se tiene

$$M_{ZY} = 6712 * \frac{55.5}{100} = 3725 \text{ N.m}$$

Al igual que en el diseño del eje del cargador se emplean los mismos criterios, así como el mismo material y factor de seguridad. En el análisis por cargas estáticas se tiene:

$$S_y = 1640$$

$$n = 1.8$$

$$M = 3725 \text{ N.m}$$

$$T = 12600 \text{ N.m}$$

Remplazando estos valores en la ecuación 34 se tiene

$$d = \left[\frac{32 * 1.8}{\pi * 1640 \times 10^6} \sqrt{(3725^2 + 12600^2)} \right]^{1/3}$$
$$d = 0.053 \text{ m}$$

En el análisis por fatiga se tiene

$$S_e = 523.6 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 177 \text{ Mpa}$$

$$n = 1.8$$

$$K_f = 1$$

$$M = 3725 \text{ N.m}$$

$$T = 12600 \text{ N.m}$$

Remplazando los valores respectivos en la ecuación 35 se tiene

$$d = \left[\frac{32 * 1.8}{\pi} \sqrt{\left(\left(\frac{1 * 3725}{523.6 \times 10^6} \right)^2 + \left(\frac{12600}{1770 \times 10^6} \right)^2 \right)} \right]^{1/3}$$
$$d = 0.057 \text{ m}$$

Al comparar los resultados obtenidos de los análisis de cargas estáticas y fatiga se toma el de mayor magnitud y se estandariza. Esto significa que los ejes del cangilón tienen diámetros de 60 mm, con el cual se calcula el valor

correspondiente del factor de seguridad aplicando la ecuación 35'. El nuevo valor de S_e es 418.88

$$\frac{1}{n} = \frac{32}{0.06^3 * \pi} \left[\left(\frac{1 * 3725}{418.88 * 10^6} \right)^2 + \left(\frac{12600}{1770 * 10^6} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$n = 1.86$

3.3.8 Selección de rodamientos para los ejes del cangilón. El procedimiento es el mismo que el desarrollado en el numeral 3.1.11

Con $L_{10} = 13000$

$$P = R_B / 2 = 6712 \text{ N}$$

$$K = 10 / 3$$

Se tiene en la ecuación 37

$$C = 6712 * (13000)^{1/(10/3)}$$

$$C = 1120989 \text{ N}$$

Con este valor y un diámetro de 60 mm se selecciona el rodamiento en el anexo G. cuatro rodamientos tipo NU 314

3.3.9 Verificación de la capacidad de la tolva de descarga. Teniendo en cuenta la figura 51, se obtiene la capacidad de la tolva de descarga existente

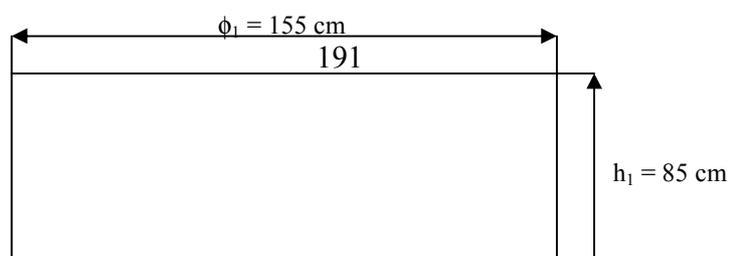


Figura 51. Tolva de descarga

La capacidad de la tolva de descarga es de acuerdo a la figura 51,

$$\nabla = \pi * \left(\frac{D_1}{2}\right)^2 h_1 + \frac{1}{3} \pi h_2 \left[\left(\frac{D_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 + \frac{D_1 D_2}{4} \right] \quad \text{Ecuación 101}$$

$$\nabla = \pi * \left(\frac{155}{2}\right)^2 * 85 + \frac{\pi}{3} * 100 * \left[\left(\frac{155}{2}\right)^2 + \left(\frac{27}{2}\right)^2 + \frac{155 * 27}{4} \right]$$
$$\nabla = 2.36 \text{ m}^3$$

Esto indica que no es necesario someter aun rediseño la tolva de descarga en vista que su capacidad mínima debe ser de 1 m³ para una producción de concreto de 1 m³

4. ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

4.1 SUBSISTEMA DE DESCARGA

El sistema de transmisión de potencia del cargador mecánico se realiza de la siguiente manera, figura 52

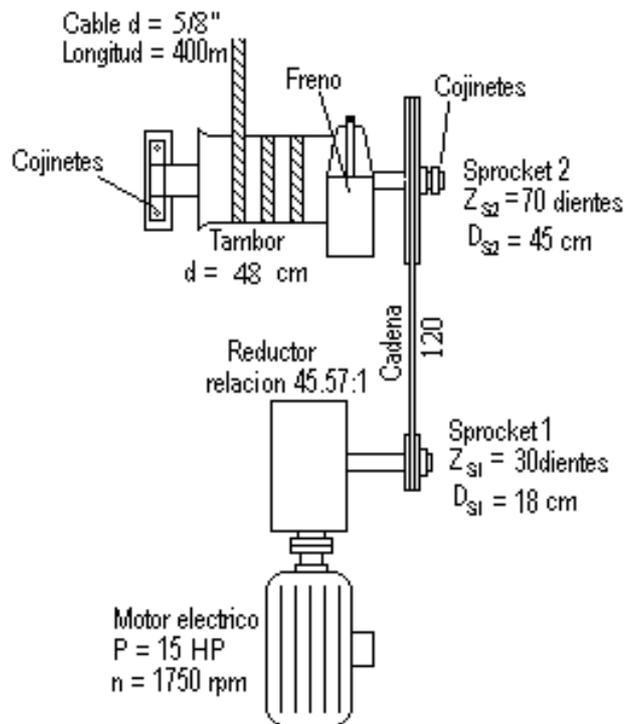


Figura 52. Nueva disposición de los elementos de accionamiento del cargador mecánico

La potencia del motor eléctrico se transmite al reductor mediante un acople flexible. Del reductor al tambor del cable se transmite mediante cadena.

La potencia calculada es de 121.6 HP, por lo que se dejara el motor actual de 15 HP y 1750 r.p.m. La transmisión a través del acople permite menores pérdidas, ocupa menos espacio y genera menor corto de mantenimiento.

La operación de mezclado requiere de arranque y parada con mucha frecuencia lo que conlleva al empleo de cadena en la transmisión entre el reductor y el tambor del cable ya que resiste mayores tensiones.

La cadena tiene las siguientes características: número 120 paso $\frac{1}{2}$ "

El incremento en la carga implica aumento tanto en diámetro del cable como en el del tambor del mismo y en consecuencia un aumento en la velocidad de levantamiento del cargador mecánico.

Los diámetros actuales del tambor y del cable son 20 cm y $\frac{1}{2}$ " y las dimensiones generadas por el rediseño son 48 cm y $\frac{5}{8}$ "

4.2 SUBSISTEMA DE MEZCLADO

La disposición de los elementos de transmisión de potencia del tambor mezclador permanece igual. La transmisión se realiza de la siguiente manera, ver figura 53

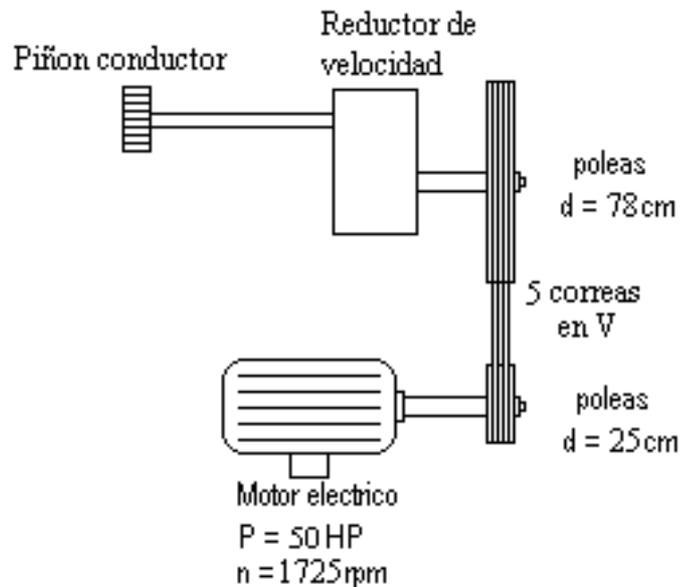


Figura 53. Nueva disposición de los elementos de accionamiento del tambor mezclador

La potencia del motor es transmitida al reductor mediante correas. El reductor transmite la potencia al tambor mezclador dotado de una rueda dentada.

La potencia necesaria del motor mezclador es de 21.7 HP, por lo que se deja el motor actual de 50 HP. Este sobre dimensionamiento presenta una mayor intensidad de corriente.

Las poleas deben cambiarse dado que se requieren cinco correas pero conservando los diámetros. Las correas son tipo C120.

Por las nuevas dimensiones del tambor se debe cambiar el eje del piñón de 80 cm por uno de 130 cm conservando el diámetro.

Los elementos de transmisión no se les debe cambiar su disposición o remplazarlos por otros con igual función, por la facilidad del manejo de los materiales alrededor de la mezcladora y por los requerimientos de velocidad para obtener la mezcla adecuada.

4.3 SUBSISTEMA DE DESCARGA

La transmisión de potencia, figura 54, se realiza de la siguiente manera. La potencia del motor eléctrico se transmite al reductor mediante correas. Del reductor se transmite mediante acople flexible al tambor del cable.

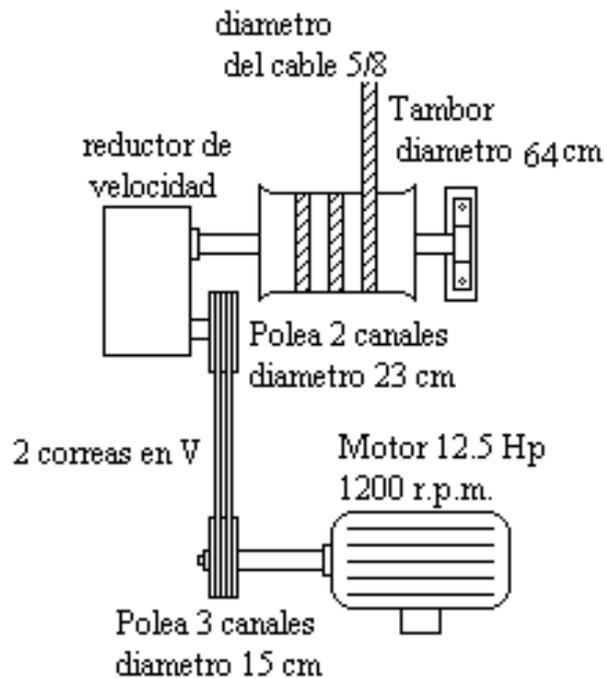


Figura 54. Nueva disposición de los elementos de accionamiento del cangilón

El motor eléctrico tiene 12.5 HP y una velocidad angular de 1200 r.p.m., esta potencia no es la recomendada debido a que la potencia total requerida (14.8 HP) está por encima de la potencia del motor

La relación de velocidad tanto del reductor como en la transmisión por correas permiten obtener una velocidad de salida apropiada en la operación de descarga, con las nuevas dimensiones del cable y tambor de 5/8" y 64 cm respectivamente. Las medidas actuales de los mismos son de 3/8" y 20 cm. En términos generales, la transmisión no presenta inconvenientes.

4.4 CALCULO DELA CAPACIDAD DEL SISTEMA

Para determinar la capacidad del sistema se tiene en cuenta el tiempo empleado desde el llenado del cargador mecánico hasta el vaciado del concreto en la tolva de descarga. Este tiempo es:

$$t_T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 \quad \text{Ecuación 102}$$

Donde

t_T es el tiempo total en producir 1 m^3 de concreto

t_1 es el tiempo de llenado del cargador

t_2 es el tiempo de vaciado del cargador

t_3 es el tiempo de mezclado

t_4 es el tiempo de llenado del cangilón

t_5 es el tiempo de vaciado del cangilón

el tiempo en llenar el cargador para producir 0.5 m^3 de concreto es de 1.33 minutos, por lo tanto para producir 1 m^3 se requiere de 2.66 minutos.

El tiempo de vaciado del cargador disminuyo de 0.25 minutos a 0.13 minutos, en virtud del aumento del diámetro del tambor del cable por efecto del rediseño.

El tiempo de mezclado es invariable ya que un aumento o disminución del mismo, se manifiesta en alteraciones de las características de la mezcla.

Para vaciar 1 m^3 de concreto en el cangilón se requiere del mismo tiempo empleado para vaciar 0.5 m^3 . Esto es 0.66 minutos.

El tiempo de subir y vaciar el cangilón cambia de 2 minutos a 1.25 minutos.

Para producir 1 m^3 de concreto se reemplazan los respectivos valores en la ecuación 102

$$t_T = 2.66 + 0.13 + 1.5 + 0.66 + 1.25$$

$$t_T = 6.2 \text{ minutos}$$

Esto significa que con el nuevo diseño se aumenta la capacidad de la planta de producir 0.1 m^3 por minuto a 0.16 m^3 por minuto.

5 MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD

El mantenimiento es el conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados.

5.1 Objetivo del Mantenimiento.

Preservar y conservar el valor de la planta y de sus equipos minimizando el desgaste y deterioro.

Disminuir los costos de operación y mantenimiento para aumentar los beneficios en el desarrollo de las actividades industriales.

Permitir la utilización del capital invertido en condiciones seguras durante el tiempo esperado como vida útil de instalaciones.

Las actividades eléctricas y electrónicas son pocas debido a que en estos elementos no hay desgaste por fricción, solo en los rodamientos de los ejes de los motores eléctricos.

La cantidad de actividades mecánicas es menor que las de lubricación pero mucho mas que las de electricidad, ya que sus elementos si sufren desgastes por fricción, por muy buena que sea la lubricación.

5.2 Selección de los Elementos para el Mantenimiento.

Se hizo una selección de los equipos que se van a incluir dentro del mantenimiento; teniendo en cuenta lo crítico de cada uno, además de la importancia dentro del proceso y del análisis expuesto en capítulos anteriores.

- Cargador Mecánico.
- Tambor de la Mezcladora.
- Cangilón y Tolva.
- Motores Eléctricos.
- Correas.
- Cables.
- Reductor de Velocidades.
- Cadenas.
- Rodamientos.
- Tanque de Agua.

5.2.1 Cargador Mecánico. Antes de iniciar a operar la planta hacer limpieza general del cargador para quitar las incrustaciones de materiales y/o concreto. Protegerlo contra la corrosión.

5.2.2 Tambor de la Mezcladora. Mantener limpio el interior del tambor y protegerlo contra la corrosión. Antes de iniciar operaciones se recomienda

vertir primero el agua antes que otros ingredientes para que esta efectúe un lavado previo de la pared y las paletas. El exterior del tambor debe protegerse de la corrosión con pinturas

5.2.3 Cangilón y Tolva. Inspección periódica del cangilón y la tolva, acompañado de un lavado continuo y la eliminación del concreto residual existente. Protección contra óxidos y corrosión.

5.2.4 Motores Eléctricos. Inspeccionar continuamente todos los motores y realizar inspecciones internas de estos.

Mantener el cableado en buenas condiciones, aterrizar todo así como asegurarse de que las tierras hacen buen contacto.

Protegerlos del contacto con el agua mediante la colocación de guardas y/o techos sobre ellos.

Revisar el estado de sus acoples con reductores y poleas y medir su temperatura de operación.

5.2.5 Correas. Deben intercambiarse en sus posiciones periódicamente para que los efectos del tensado en cada una de ellas sea uniforme al cabo de cierto tiempo. Cuando la flojedad sea excesiva o su desgaste evidente, sobre todo en sus lados tensos, es necesario el cambio de todas las correas; esto se verifica por la disminución de las revoluciones de la máquina.

5.2.6 Cables. Revisar el desgaste en el cable producto de su continuo uso y de los ajustes externos que lo atacan, mediante una inspección visual o tomando medida de su diámetro en los puntos críticos. Si ocurre rompimiento de los torones que conforman el cable debido a su fatiga, será necesario reemplazarlo por seguridad. Mantenerlo lubricado con grasa.

5.2.7 Rodamientos. Preparar el lugar d trabajo de modo que este seco y limpio. Disponer de rodamientos de repuestos para el caso de que fuere necesario cambiarlos. Con un indicador de carátula comprobar la rotación del eje al lado de los rodamientos; si se indica una vibración o desalineación es necesario cambiar el rodamiento.

Tener en cuenta el ruido producido por la rotación del rodamiento, si hay ruido anormal esto indica de que el rodamiento esta próximo a dañarse y debe procederse al cambio.

Revisar la temperatura de funcionamiento del rodamiento, si esta por encima de lo normal también es indicio de que hay problemas de lubricación o esta próximo a fallar.

En cualquiera de los tres casos anteriores se debe cambiar el rodamiento, si todo indica que es necesario cambiarlo. Si observa en el lubricante impurezas de diversas clases, lave el rodamiento y límpielo.

Si el rodamiento no presenta defectos se debe lubricar de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

5.2.8 Tanque de Agua. Mantener limpio el interior del tanque. Revisar permanentemente el medidor de agua, en lo posible proteger el medidor con un dispositivo metálico o por una placa de vidrio fuerte o plástico blindado transparente.

5.2.9 Reductores de Velocidad. Cuando la planta se encuentre parada, se debe hacer mantenimiento a estos equipos. Revisar su interior y verificar el estado de las piezas.

Limpiar el tapón inferior del reductor, sacar un poco de aceite e inspeccionar su estado. Si se encuentra que parece estar alterado o contaminado se debe proceder a cambiar.

Mediante el empleo de aumento observe si el aceite inspeccionado presenta laminas de acero de bronce y escamas metálicas, lo que representa desgaste de dientes, de los cojinetes y de rodillos y rodamientos

Cerciorarse de que el orificio de inspiración este libre de obstrucciones

5.2.10 Cadenas. El cuidado a tener para el mantenimiento de estos elementos es principalmente la lubricación la cual es del tipo II (el aceite es suministrado desde un engrasador de goteo a los bordes de las placas del eslabón), además de la inspección diaria visual con respecto al desgaste que puedan sufrir estas, así como el alineamiento y ajuste constante.

Limpiar los sprockets e inspeccionar desgaste o corrosión

5.3 SEGURIDAD DEL SISTEMA

Se entiende que una instalación esta razonablemente protegidas su cuenta con un sistema coordinado de elementos que desempeñe las siguientes funciones: evitar situaciones peligrosas para las personas, minimizar los daños provocados por condiciones anormales y mantener aislada la zona donde aparecen fallas

Algunas recomendaciones de seguridad para tener en cuenta:

- Proteger y evitar de elementos extraños los sistemas de transmisión de potencia.
- Al finalizar labores, dejar los elementos como el cargador mecánico, el tambor mezclador, el cangilón y la tolva libre de incrustaciones de concreto.

- Inspeccionar las estructuras metálicas y de madera.
- Para operar la planta todo el personal debe estar protegido contra el ruido, con casco, botas y ropa adecuada
- Las partes móviles de las máquinas y equipos y cualquier otro dispositivo mecánico que presente peligro para los trabajadores deberán estar provistas de la protección necesaria.
- Los interruptores de las máquinas y equipos se ubicaran en posición que eviten arranques o paradas accidentales de las máquinas, por contacto accidental de personas a objetos extraños.
- Se prohíbe la permanencia de personal en la parte inferior de cargas suspendidas.
- El mantenimiento de los equipos debe ser hecho por personal capacitado

6. ESTUDIO ECONOMICO

6.1 INVERSIÓN INICIAL

Las modificaciones a realizar al sistema de mezclado producto de los resultados del rediseño, implican una inversión que al cabo de un tiempo dado debe recuperarse. Los costos que componen esta inversión y su origen se muestran a continuación.

Tabla 1. Costos de los Equipos y Materiales

Equipo – Material	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Lamina A – 36 3/16	Lamina	4	70.528	282.112
Lamina A – 36 3/4	Lamina	2	157.435	314.870
Soldadura 60-10 filete ϕ 1/8	Kg	4	4.000	16.000
AISI 4140 ϕ =	m	5	15.327	76.635
Rodamiento	Uni.	2	12.500	25.000
Rodamiento	Uni.	4	9.800	39.200
Rodamiento	Uni.	4	13.200	52.800
Cable	m	16	15.400	248.000
Cadena	m	2	17.200	34.400
Correa C	Uni.	4	24.821	99.284
Correa B	Uni.	2	13.373	26.746
Motor	Uni	1	5'400.000	5'400.000
Motor	Uni	1	721.000	721.000
Motor	Uni	1	563.100	563.100
Varios				150.000
Total Costo de Equipos – Material				\$8'049.147

Tabla 2. Costos de Mano de Obra

Mano de Obra	Cantidad trabajadores	Días de trabajo	Salario por día	Total
Técnico electricista	1	2	38.900	77.800
Soldador	1	2	29.000	58.000
Mecánico	1	3	38.900	116.700
Tornero	1	2 horas	7000 / hr	14.000
Operario	1	3	12.000	36.000
Total Mano de Obra				\$ 302.500

Tabla 3. Costos de Alquiler de Equipos y Transporte

Equipo	Cantidad	Valor hora	Num. De horas	Valor total
Torno	1	7.000	2	14.000
Equipo de Corte	1	5.000	16	80.000
Equipo de soldadura	1	5.000	16	80.000
Transporte				250.000
Materiales Varios				150.000
Total Costo Alquiler de Equipos y Transporte				\$ 574.000

La suma de los costos de Materiales – Equipos, costos de Mano de Obra y costos de Alquiler de Equipos y Transporte, es el valor de la inversión.

Costo Total de la Inversión = \$ 8'925.647

Este resultado justifica el tener que rediseñar el sistema de mezclado cumpliendo con las normas técnicas, se tiene en cuenta que el implementar una nueva planta para cumplir con el mismo objetivo, y que además tendría

que ser importada, genera costos los cuales la empresa no esta en capacidad de asumirlos.

6.2 GASTOS GENERALES DE FABRICACIÓN

La recuperación de la inversión se obtiene basándose en los ingresos por concepto de venta y a todos los costos relacionados con la fabricación de los tubos.

6.2.1 Costos y gastos de producción. Estos son los costos de producción y gastos generales de administración y venta.

6.2.1.1 Costos de producción. Se pueden dividir en tres clases:

- **Materiales directos.** Son los materiales que quedan formando parte integral del producto como son las materias primas y demás materiales que integran físicamente el producto.
- **Mano de obra directa.** Son todos los costos en que se incurren por salarios que devengan todas aquellas personas que participan directamente en la transformación de la materia prima en el producto final incluyendo prestaciones sociales.
- **Gastos generales de fabricación.** Son todos los costos de producción que no están catalogados no como gastos materiales ni como mano de obra directa. Estas son: Mano de obra indirecta, depreciaciones, materiales

indirectos, imprevistos, gastos de aseo y cafetería, gastos generales (agua, luz, teléfono)

6.2.1.2 Gastos generales de administración y venta. Hacen referencia a los sueldos de quienes tienen a su cargo la administración de las ventas.

Tabla 4. Costos Sueldo Mano de Obra Directa MOD

Actividad	Cantidad	Salario / mes	Total
Supervisores	1	290.000	290.000
Operarios	3	235.480	706.440
Obreros	20	235.480	4'709.600
Soldador	1	266.800	266.800
Total			\$5'972.840

Prestaciones Sociales = \$ 2'546.094

Costo MOD = Sueldo MOD + Prestaciones Sociales

Costo MOD = \$ 8'518.934

Tabla 5. Costo Sueldo Mano de Obra Indirecta MOI

Actividad	Cantidad	Salario / mes	Total
Administrador	1	1'200.000	1'200.000
Secretaria	1	348.000	348.000
Electricista	1	290.000	290.000
Conductor	1	290.000	290.000
Total			\$2'128.000

Prestaciones Sociales = \$ 732.888

Costo MOI = Sueldo MOI + Prestaciones Sociales

Costo MOI = \$ 2'860.888

Tabla 6. Costos Materiales Directos

Clase	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Cemento	5 Ton	180.774	903.870
Arena	35 m ³	17.660	618.100
Grava	70 m ³	26.400	1'848.000
Acero ½	612 varillas	1.600	979.200
Agua			217.000
Plástico (Ti-Look)	84 m	17.000	1'428.000
Aditivos	9 tanques	53.000	477.000
Total			\$1'471.170

Tabla 7. Costos Materiales Indirectos

Clase	Total
Costo materiales indirectos	1'200.000
Mantenimiento	200.000
Servicios generales	6'750.000
Total	\$ 8'150.000

Tabla 8. Gastos de Administración y Ventas

Actividad	Total
Utiles de oficina	20.000
Viaticos	150.000
Total	\$ 170.000

Todos estos gastos están referidos a la producción de 56 tubos de 1200 mm de diámetro en un mes

El costo de producción para el tubo de 1200 mm es:

MOD	\$ 8'518.934
MOI	\$ 2'860.888
Gastos de materiales directos	\$ 6'471.170
Gastos de materiales indirectos	\$ 8'150.000
Gastos de administración y ventas	\$ 170.000
Total costos y gastos	\$ 26'170.992

Los ingresos por concepto de las ventas de este tipo de tubos mensualmente son de \$ 31'405.190

6.3 CALCULO DEL TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN PARA EL REDISEÑO DE LA PLANTA

Este calculo se hace en base a los conceptos de ingeniería económica, donde se tiene en cuenta la inversión inicial, los ingresos y egresos para calcular el tiempo con que se recupera dicha inversión.

Para hacer los cálculos se trabaja con una tasa de interés del 3.5% efectivo mensual, que es la tasa promedio de los bancos actualmente. Los egresos son los costos de producción y los gastos de administración y ventas \$ 26'170.992. los ingresos son las ventas de los tubos, \$ 31'405.190. la figura muestra el flujo de caja

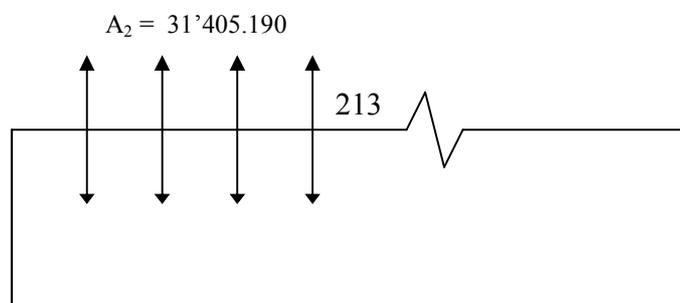


Figura 55. Diagrama de ingresos y egresos, rediseño

$$\frac{A_2[(1+i)^n - 1]}{i} = P(1+i)^n + \frac{A_1[(1+i)^n - 1]}{i} \quad \text{Ecuación 103}$$

Donde:

A_1 = Costo de producción tubos 1200 mm

A_2 = Ingresos por conceptos de ventas

P = Valor presente

i = Interés mensual

n = Numero de meses

Resolviendo se tiene:

$$\frac{31405190 * [(1 + 0.035)^n - 1]}{0.035} = 8925647 * (1 + 0.035)^n + \frac{26170992 * [(1 + 0.035)^n - 1]}{0.035}$$

$$1.035^n = 1.057$$

Aplicando logaritmo natural a ambos miembros

$$n * \ln 1.035 = \ln 1.057$$

$$n = 1.6$$

24" wide batch transfer belt

10 hp drive for belt

2" Hot water meter

7.54 hp Air compressor

Push-Button control panel

440/220 Volts control panel

Plant is piped, plumbed, and wired at factory

El costo total de la planta incluye los costos de operación, transporte y manejo y la asistencia técnica de profesional calificado.

Su vida de operación es de 18 años.

* Nota: Datos suministrados por la empresa PREEM INDUSTRIAS de Colombia en Santa Fe de Bogotá. Representante para Colombia de PREEM INDUSTRIES Co.

6.5 CALCULO DEL TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE LA PLANTA

En este caso se procede de igual forma que en el numeral 6.3, ver figura 56

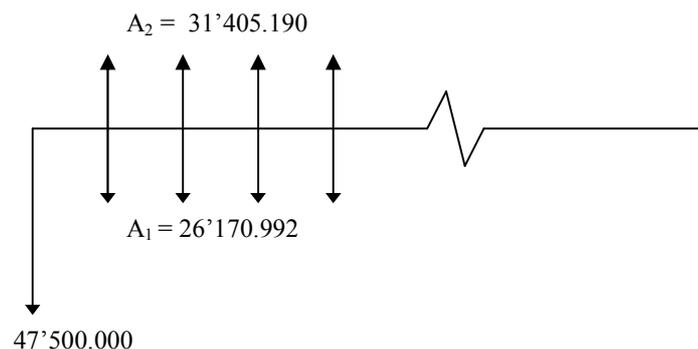


Figura 56. Diagrama de ingresos y egresos, adquisición

Empleando la ecuación 103, se tiene un tiempo de retorno de 11 meses

6.6 COMPARACION COSTO REDISEÑO – COSTO ADQUISICION.

Se tienen dos alternativas con el mismo beneficio (producir 1 m³ de concreto); la alternativa de rediseño de la planta que tiene la compañía y la alternativa de la compra de la planta nueva.

Teniendo en cuenta la caracterización de la situación, la herramienta específica que mejor se adapta a la comparación de las dos alternativas es el concepto de la evaluación de inversiones con diferentes vida de servicio (tomado de Evaluación Económica de Inversiones, Rodrigo Varela V.). En este caso se puede emplear alguno de los siguientes criterios:

- | | | |
|---------------------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Análisis Individual
(Factibilidad) | { | a) Valor presente neto VPN
b) Valor anual neto VAN
c) Valor futuro neto VFN
d) Tasa de retorno i
e) Valor futuro de los flujos de caja VFFC
f) Tasa de crecimiento del patrimonio VFM |
| Análisis Incremental
(Optimalidad) | { | a) Valor promedio neto
b) Valor futuro de los flujos de caja
c) Tasa de crecimiento incremental |

Se toma tanto para la factibilidad como para la optimalidad el criterio del valor presente neto; una alternativa es factible si $VPN \geq 0$. Si loa dos alternativas son factibles, entonces se determina su optimalidad para escoger cual de las dos es mejor, es decir cual presenta el mayor VPN. La información económica se resume en la tabla 9.

Tabla 9. Información Económica de Alternativas

Alternativa	Vida de servicio (meses)	Inversión inicial \$	Ingresos x ventas \$	Costo fabricación producto \$	Valor de Salvamento \$
Rediseño Planta	120	8'925.647	31'405.190	26'170.992	892.565
Compra planta	216	47'500.000	31'405.190	26'170.992	4'750.000

El valor de salvamento o valor de mercado al final de su vida util económica, se toma igual al 10% de la inversión inicial para las dos alternativas.

6.6.1. Análisis Económico de las Alternativas Individuales

Alternativa del rediseño de la planta

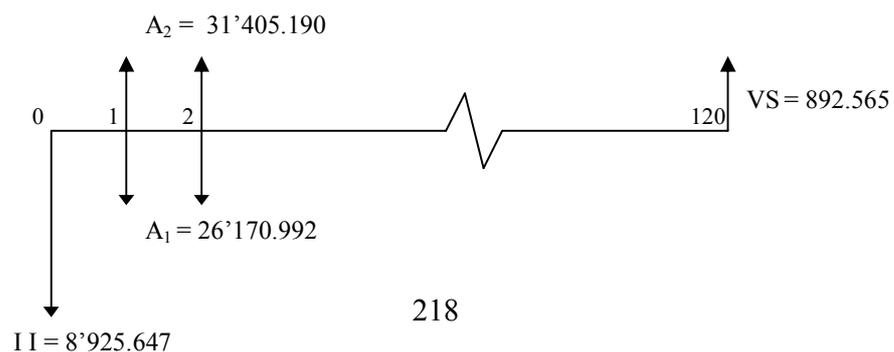


Figura 57. Diagrama VPN, Alternativa Rediseño

$$VPN = (A_2 - A_1) \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] + \frac{VS}{(1+i)^n} - I.I. \quad \text{Ecuación 104}$$

Donde:

VPN = Valor Presente Neto

A_1 = Costo de producción tubos 1200 mm (56 tubos)

A_2 = Ingresos por concepto de venta

i = Interes mensual

n = Número de meses

I I = Inversión inicial

VS = valor de salvamento

Haciendo los respectivos reemplazos se tiene

$$VPN = (31405190 - 26170992) \left[\frac{(1+0.035)^2 - 1}{0.035(1+0.035)^2} \right] + \frac{892565}{(1+0.035)^2} - 8925647$$

$$VPN = 1'032.129,23$$

Alternativa de Compra de la Planta

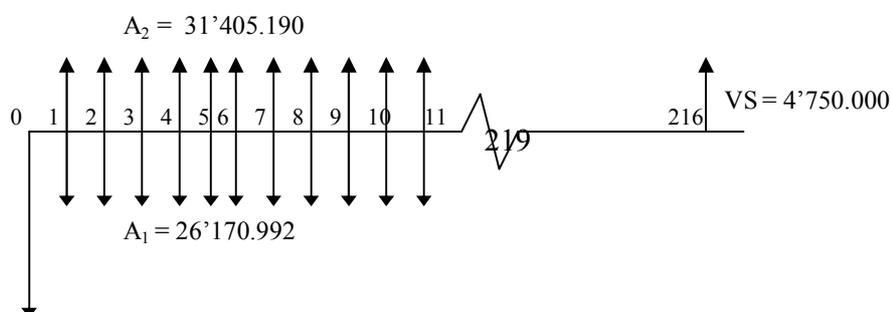


Figura 58. Diagrama VPN , Alternativa adquisición

Procediendo de igual manera que en la alternativa anterior se tiene

$$VPN = -381283.6$$

Esto significa que solo la alternativa de rediseño de la planta es factible ya que su VPN es mayor que cero (0) y para la alternativa de compra de la planta VPN es menor que cero (0). Debido a este resultado no es necesario hacer un analisis incremental. En resumen se toma la primera alternativa.