



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UNA MEZCLADORA DE CONCRETO
PARA UN VOLUMEN MEDIO DE PRODUCCIÓN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA

ING. ROMÁN SERRANO MEDRANO

ASESOR

DR. JUAN FELIPE SORIANO PEÑA

Morelia, Michoacán, Agosto del 2011

Índice:

Resumen	vii
Abstract.....	viii
Nomenclatura.....	ix
Introducción.....	x
Objetivos.....	xi
Objetivo general.....	xi
Objetivos específicos	xi
Hipótesis.	xii
Justificación	xiii
Capitulo 1 Introducción.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	1
1.2.1 Mezcladoras de tipo vertical	5
1.2.2 Mezcladoras de tambor	6
1.2.3 Mezcladoras tipo trompo.....	8
1.2.4 Mezcladoras de eje horizontal.....	10
1.3 El método por elemento finito	13
1.3.1 Introducción	13
1.3.2 Breve historia	14
1.3.3 El Mallado.....	18
1.4 Tipo de aceros	20
1.5 Metodología	22
1.6 Infraestructura.....	23
Capitulo 2 Diseño del mezclador.....	24
2.1 Diseño	24
2.1.1 Proceso de diseño.....	26
2.1.2 Clarificación de los objetivos.....	27
2.1.3 Establecimiento de funciones.....	28

2.1.4	Requerimientos y características	31
2.1.5	Generación de alternativas	37
2.1.6	Evaluación de alternativas.....	42
2.2	Diseño de detalle.....	49
2.2.1	Introducción	49
2.2.3	Análisis estructural.....	50
2.2.4	Análisis del fluido	54
2.2.4.1	Turbulencia en CFX	54
2.2.4.2	Mallado para el fluido	55
2.2.4.3	Simulaciones del fluido	58
2.2.5	Análisis con prototipo	60
Capitulo 3	Análisis de resultados y conclusiones.....	63
3.1	Resultados.....	63
3.3.1	Análisis de resultados.....	67
3.3.2	Análisis económico	68
3.1	Conclusiones	69
Bibliografía	71

Índice de Figuras

Figura 1.1 Tipos de concretos [13].....	2
Figura 1.2 Diagrama de flujo de una planta de concreto premezclado.	3
Figura 1.3 Tolvas generales. [11].	4
Figura 1.4 Distribución de planta Mezcladora:	5
Figura 1.5 Planta Mezcladora. [14]	6
Figura 1.6 Mezcladora de tambor. [9]	6
Figura 1.7 Vista lateral de pipa.....	7
Figura 1.8 Sección de vista interna.....	7
Figura 1.9 Mezcladora de tambor.....	8
Figura 1.10 Sección transversal de Mezcladora de tambor (trompo).....	9
Figura 1.11 Corona en olla mezcladora.....	10
Figura 1.12 Mezcladora de eje horizontal (doble eje).....	11
Figura 1.13 Mezcladora de eje horizontal seccionada (doble eje).	12
Figura 1.14 Comparación del FEM con métodos comunes.....	14
Figura 1.15 Comparación del FEM con métodos comunes en un problema.....	15
Figura 1.16 Elemento lineal.	15
Figura 1.17 Elemento plano.....	16
Figura 1.18 Elemento sólido.....	16
Figura 1.19 Problemas para solucionar por medio de FEM.	16
Figura 1.20 Tipos de nodos.	17
Figura 1.21 Transformación de la geometría del nodo.....	17
Figura 1.22 Tipos de elementos en ANSYS.....	18
Figura 1.23 Dimensiones de los elementos	19
Figura 1.24 Tratamiento superficial	21
Figura 2.1 Proceso de diseño.[6]	24
Figura 2.2 Proceso de diseño (Michael French).[6]	25
Figura 2.3. Etapas de diseño.....	26
Figura 2.4 Objetivos de la maquinaria.....	27
Figura 2.5 Funciones que debe cumplir el mezclador	29

Figura 2.6 Funciones que debe cumplir el mezclador	30
Figura 2.7 Fases del mezclador	30
Figura 2.8 Tiempos esperados para el mezclado	31
Figura 2.9 Mezclador tipo tambor	32
Figura 2.10 Mezclador ejes horizontales	33
Figura 2.11 Mezclador eje horizontal con hélice	39
Figura 2.12 Mezclador ejes horizontal con paletas	40
Figura 2.13 Mezclador ejes horizontales hélice	40
Figura 2.14 Mezclador ejes horizontal hélice con tres aspas	41
Figura 2.15 Mezclador ejes horizontal con paletas	41
Figura 2.16 Diagrama de ponderaciones de objetivos.....	44
Figura 2.17 Resultado de ponderaciones de alternativas.....	48
Figura 2.18 Diseño final del mezclador.....	49
Figura 2.19 Mallados iniciales “preliminares”.....	50
Figura 2.20 Mallado sin refinar	51
Figura 2.21 Mallado refinado	51
Figura 2.22 Análisis de esfuerzos en paleta	52
Figura 2.23 Restricciones para análisis estructural	53
Figura 2.24 Tipos de flujos.....	54
Figura 2.25 Volumen de control.....	55
Figura 2.26 Ecuaciones generales de conservación de movimiento	55
Figura 2.27 Mallado preliminar para análisis del fluido	56
Figura 2.28 Mallado 2 para el fluido.	57
Figura 2.29 Mallado tres para el análisis del fluido.	57
Figura 2.30 Líneas de flujo de primera simulación.	58
Figura 2.31 Análisis del fluido en sección del mezclador.....	58
Figura 2.32 Análisis del fluido con gradiente de presión sobre la paleta	59
Figura 2.33 Construcción de prototipo	60
Figura 2.34 Prototipo en marco de prueba	61
Figura 2.35 Prueba preliminar de prototipo.....	61
Figura 2.36 Prueba de trazadores	62

Figura 3.1 Regiones en análisis de pruebas	63
Figura 3.2 Cambios de región con paletas a 45° durante cinco minutos.....	64
Figura 3.3 Cambios de región con paletas a 180° durante cinco minutos.....	65
Figura 3.4 Tiempos totales en cada región: a) configuración 45°, b) configuración 180° ..	66

Índice de Tablas

Tabla 2.1	Mezclador ejes horizontales	35
Tabla 2.2	Mezclador ejes horizontales	38
Tabla 2.3	Mezclador ejes horizontales	42
Tabla 2.4	Mezclador ejes horizontales	43
Tabla 2.5	Mezclador ejes horizontales	43
Tabla 2.6	Mezclador ejes horizontales	45
Tabla 2.7	Mezclador ejes horizontales	45
Tabla 2.8	Mezclador ejes horizontales	45
Tabla 2.9	Mezclador ejes horizontales	46
Tabla 2.10	Mezclador ejes horizontales	46
Tabla 2.11	Mezclador ejes horizontales	47
Tabla 2.12	Mezclador ejes horizontales	47
Tabla 2.13	Mezclador ejes horizontales	48
Tabla 3.1	Salto de región con diferentes configuraciones	65
Tabla 3.2	Tiempo total en cada región	66

Resumen

Se realiza el diseño de un mezclador de concreto para un volumen de producción medio con una capacidad de $\frac{1}{2} \text{ m}^3/5 \text{ min}$. El diseño se centra en el análisis del eje mezclador conociendo esfuerzos y deformaciones que permitan el correcto funcionamiento del mezclador, usando software computacional para el modelado de las partes constituyentes y los análisis de estructurales (esfuerzos deformaciones). El proceso de diseño parte de una necesidad en el mercado actual para el desarrollo de maquinaria de bajo costo pudiendo lograrlo con el uso de herramientas computacionales (ANSYS) que permiten reducir los costos de operación desde el inicio hasta la conclusión del diseño en su totalidad.

Abstract

It makes the design of a concrete mixer for an average production volume with a capacity of $\frac{1}{2} \text{ m}^3/5 \text{ min}$. The design focuses on the analysis of mixer axis of knowing stresses and strains that allow the proper operation of the mixer, using computer software to model the constituent parts and structural analysis (deformations efforts). The design process of a current market need to develop low-cost machines reaching with the use of computational tools (ANSYS) that reduce operating costs from inception to completion of the entire design.

Nomenclatura

A, B, C,D,E	Objetivos
A, B, C,...	Literales
<i>A</i>	Área
D	Deseable
F	Fuerza
$f'c$	Resistencia a compresión del concreto
M	Par; momento
<i>O</i>	Origen de coordenadas
P	Fuerza; vector
R	Requerido
Reg	Región
W	Peso; carga
wp	Peso ponderado
V	Volumen
<i>V</i>	Velocidad
x	Variable
<i>X,Y,Z</i>	Coordenadas rectangulares; distancias

Introducción

Se llevó a cabo el diseño de una mezcladora de concreto para un volumen de producción medio con una capacidad de $\frac{1}{2} \text{ m}^3$ de concreto por cada 5 min. Este tipo de mezcladoras tienen un alto precio en el mercado nacional ya que generalmente son fabricadas por empresas extranjeras y traerlas a México eleva el costo total. El tipo de mezcladoras más comunes en México son las conocidas como revolvedoras que generalmente se utilizan para producir pequeñas cantidades de concreto, las cuales varían de medio a un saco de cemento.

Existen restricciones especiales en este proyecto para que la mezcladora se adapte a las necesidades de la empresa solicitante de la maquinaria, una de ellas es la utilización de un motor de combustión interna de 40 Hp el cual otorgará el torque necesario para que el mezclador tenga movimiento. Se buscará que el mezclado se haga en el menor tiempo posible, tratando de poner un límite máximo de cinco minutos. Tratar de que el diseño final y las dimensiones totales de la mezcladora se adapten para el montaje sobre una camioneta de $3 \frac{1}{2}$ toneladas o en su defecto en un tracto- camión de mayor tamaño.

Debido a que este tipo de maquinaria es difícil de conseguir en México y por tal motivo tiene un precio muy elevado, se pretende que la construcción sea lo más sencilla posible para que el producto final sea de bajo costo en comparación con los existentes en el mercado internacional y pueda competir ante ellos. Al hacer la manufactura lo más sencilla posible también se busca que las reparaciones sean se puedan hacer en tiempo y forma para que la producción no tenga contratiempos.

Como parte del proyecto se harán los análisis estructurales obteniendo resultados de tensiones, deformaciones, análisis cinemáticos y cinéticos para garantizar el correcto funcionamiento de la maquinaria. De igual manera se harán todos los planos y dibujos de detalle necesarios para su construcción total. Se dará un costo final del producto para que la empresa solicitante vea la factibilidad de su construcción.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar una mezcladora de concreto para un volumen medio de producción, a partir del estado actual del conocimiento en dicha producción a nivel mundial, asegurando un proceso racional y económico que responda a los volúmenes de producción de la empresa solicitante.

Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte en la construcción de equipos mezcladores, enfatizando en los que se dedican al mezclado de concreto y en las potencialidades y limitaciones de los mismos para el caso que se pretende construir.
- Hacer los análisis y cálculos necesarios para obtener los volúmenes de producción deseados por el solicitante de forma racional y económica.
- Buscar que la construcción sea lo más sencilla posible para obtener un producto final al menor costo y poder competir en el mercado actual.
- Realizar los diagramas y planos de la mezcladora.
- Fabricar prototipo.
- Evaluar el costo aproximado del valor total de la mezcladora.
- Hacer una publicación en revista y/o memoria de un congreso.
- Elaborar una tesis para ser presentada en opción a obtener el título de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

Hipótesis.

Es posible diseñar una mezcladora de concreto de bajo costo que cumpla con las exigencias del solicitante, garantizando el buen funcionamiento del equipo y su posible construcción con recursos nacionales.

Justificación

Este proyecto surge de la necesidad de fabricar una mezcladora de concreto para una producción mayor que las mezcladoras de tambor existentes en el mercado nacional ya que generalmente son para un solo bulto de cemento, se tratará de diseñar una mezcladora para cuatro bultos de cemento lo que equivale a $\frac{1}{2} \text{ m}^3$ de concreto ya con los agregados pétreos, cubriendo con esto la necesidad de la empresa que solicita el diseño de la mezcladora.

Al construir una mezcladora para volúmenes de producción medios, puede ser utilizada en obras civiles donde las mezcladoras pequeñas, son insuficientes y es necesario utilizar dos o tres mezcladoras a la vez para cubrir las necesidades de una obra de mayor envergadura. Reduciendo costos de operación y mano de obra, así como aumentar la eficiencia de producción de concreto y en la totalidad de la obra civil.

El fabricar y diseñar una mezcladora con materiales económicos y de fácil acceso hace que el costo de final este muy por debajo del precio de las mezcladoras que se pueden adquirir en el país y que generalmente son traídas del extranjero. Teniendo un producto de fácil acceso a las empresas que no cuentan con una gran infraestructura para adquirir una mezcladora como las ya existentes en el mercado internacional.

Capítulo 1 Introducción

1.1 Introducción

En el primer capítulo se hace una breve descripción de las características del concreto así como el método de preparación del mismo. Es decir las proporciones que guardan sus componentes para obtener el concreto deseado. El concreto es uno de los materiales artificiales más usados para la construcción. Aunque es el más predominante no se encuentra mucha información en su estado fresco es decir durante su producción, si bien es cierto que existe una gran cantidad de investigación acerca de sus propiedades mecánicas después de haber endurecido porque es cuando más interesa su comportamiento. [A study of concrete properties using phyllite as coarse aggregates]

Después de hacer una breve descripción del concreto se hace una búsqueda de los diferentes tipos de mezcladoras de concreto que existen en el mercado. Desde las más comunes hasta las que son utilizadas para producciones industriales yendo desde niveles bajos a altos de producción. Así mismo en la complejidad de construcción de la maquinaria como en los costos de las mismas.

En los subcapítulos siguientes se hace una breve reseña acerca del método por elementos finitos el cual es primordial para la solución de los problemas estructurales y de fluidos.

La selección del acero que se usará para la construcción del mezclador es de vital importancia ya que de la elección del correcto acero depende el correcto funcionamiento del mezclador debido a que se encuentra en constante desgaste por la abrasión existente del mismo material que se pretende mezclar. Las propiedades en el acero para la construcción del mezclador son alta resistencia al desgaste y abrasión.

Posteriormente se habla acerca de la metodología a seguir o como es que se atacará el problema para desarrollar el proyecto de diseño. Y finalmente cual es la infraestructura con la que se cuenta para poder lograr el objetivo de diseñar una mezcladora de concreto para un volumen medio de producción.

1.2 Antecedentes

Si se pretende realizar el diseño de una mezcladora de concreto es necesario conocer que es el concreto. Se conoce como concreto a la mezcla de agregados pétreos (arena y grava) con granulometrías adecuadas, aglutinantes (cemento) reaccionados con agua y mezclados íntimamente.

Las cualidades de los concretos, se definen generalmente por su resistencia a la ruptura a los 28 días de fabricado en muestras cubicas expresadas en kilogramos por centímetro cuadrado [13].

Para hacer el diseño de un mezclador de concreto, se necesitan conocer cuáles son las cantidades, volúmenes o pesos para fabricar concreto. En la Figura 1.1 se muestra una tabla de las diferentes clasificaciones del concreto así como las cantidades necesarias para formarlos.

CONCRETO HECHO EN OBRA						CEMENTO NORMAL	CEMENTO ALTA RESISTENCIA	
CLASIFICACION f'c	Revenimiento	Agregado máximo	Cemento ton.	Arena m ³	Grava m ³	Agua m ³	Costo \$/m ³	Costo \$/m ³
100 kg/cm ²	8 a 10 cm	3/4"	0.260	0.500	0.680	0.195	257.97	269.92
		1 1/2"	0.254	0.470	0.700	0.190	253.60	265.38
	12 a 15 cm	3/4"	0.286	0.500	0.680	0.215	272.24	285.50
		1 1/2"	0.280	0.470	0.700	0.210	267.94	280.92
150 kg/cm ²	8 a 10 cm	3/4"	0.323	0.480	0.670	0.210	289.48	304.45
		1 1/2"	0.308	0.450	0.700	0.200	281.20	295.47
	12 a 15 cm	3/4"	0.354	0.480	0.670	0.230	306.52	322.93
		1 1/2"	0.338	0.450	0.700	0.220	297.70	313.23
200 kg/cm ²	8 a 10 cm	3/4"	0.355	0.470	0.650	0.195	303.95	320.41
		1 1/2"	0.337	0.440	0.680	0.185	294.03	309.65
	12 a 15 cm	3/4"	0.391	0.470	0.650	0.215	323.69	341.81
		1 1/2"	0.373	0.440	0.680	0.205	313.83	331.12
250 kg/cm ²	8 a 10 cm	3/4"	0.423	0.465	0.640	0.190	339.57	359.18
		1 1/2"	0.400	0.435	0.670	0.180	326.93	345.47
	12 a 15 cm	3/4"	0.467	0.465	0.640	0.210	363.71	385.36
		1 1/2"	0.445	0.435	0.670	0.200	351.65	372.28
VALORES NETOS: (sin desperdicio)						valores con desperdicios		

Figura 1.1 Tipos de concretos [13]

El concreto se puede mezclar manualmente o con maquinaria especializada para este fin. Para producir pequeñas cantidades de concreto (cemento, agua y agregados) se puede realizar manualmente. Pero cuando se necesitan grandes volúmenes de concreto es conveniente utilizar maquinaria para lograr que todos los ingredientes queden uniformemente distribuidos y se obtenga una mezcla homogénea.

Al mezclar grandes volúmenes de concreto de manera manual se necesita de mucha energía y de una gran cantidad de mano de obra, en consecuencia un alto costo de producción, sin tener la certeza de que la mezcla se homogenice adecuadamente; por tal motivo es conveniente utilizar mezcladoras de concreto para necesidades mayores de producción.

Existen mezcladoras de tipo horizontal, vertical y de tambor o trompo. Las más utilizadas en México son las de tambor montadas sobre tracto camiones (pipas) así como las pequeñas revolventoras para producir pequeñas cantidades de concreto (un saco de cemento). Las mezcladoras de tipo vertical trabajan con grandes volúmenes de producción de concreto y son utilizadas en obras civiles de gran envergadura, este tipo de plantas son utilizadas por las cementeras y son conocidas como plantas de concreto premezclado que proveen un alto ahorro en tiempo y dinero.

Para conocer la producción del concreto es necesario conocer como es el proceso de producción del mismo. Los materiales usados para hacer concreto (cemento, agua y agregados) son relativamente baratos y de fácil obtención, pero la obtención de las proporciones correctas de estos materiales no lo son, siendo estas necesarias para producir concreto de buena textura y resistencia y calidad. Las proporciones varían de acuerdo al tipo de estructura que se vaya a construir, siendo un tipo especial de concreto para casa fin. En la figura. 1.2 se muestra un diagrama general del proceso de fabricación de concreto en una planta mezcladora de concreto [10].

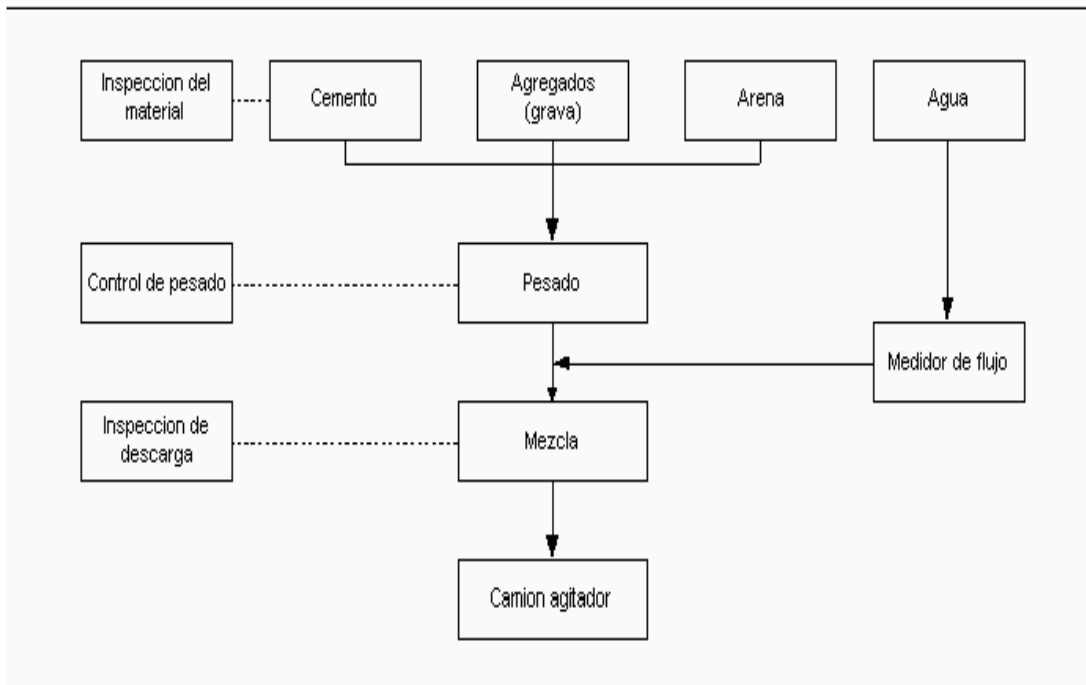


Figura 1.2 Diagrama de flujo de una planta de concreto premezclado.

El proceso de producción del concreto inicia con la recepción e inspección del material (materias primas) para que se encuentre libre de impurezas, para ser aprobadas mediante estudios físicos y químicos realizados por un departamento de soporte técnico (laboratorios) para posteriormente ser almacenados.

La grava, arena y cemento son colocados en una planta de hornada por medio de un sistema de transporte, para posteriormente ser colocados en sus respectivas tolvas de alimentación (figura 1.3).

Después de estar en las tolvas generales, cada uno de los compuestos es colocado en una tolva pequeña con una balanza que determina el peso de los materiales. Cuando se obtiene la cantidad correcta dentro de la tolva de pesado un mecanismo recibe la señal de una computadora para parar el proceso de alimentación.

Una vez que los materiales han sido pesados y dosificados, son descendidos en la mezcladora donde junto con la cantidad correcta de agua son mezclados hasta obtener una mezcla homogénea.

El cemento mezclado es descargado en los camiones agitadores (pipas) debajo de un cabezal de recepción de material mezclado. El camión agitador cuenta con un tanque de almacenamiento giratorio que permite al cemento mantener su fluidez hasta por una hora previniendo que el cemento se endurezca prematuramente.



Figura 1.3 Tolvas generales. [11].

1.2.1 Mezcladoras de tipo vertical

Generalmente las mezcladoras de tipo vertical son conocidas como plantas de concreto premezclado ya que no producen el concreto en el sitio donde es necesario utilizarlo. Debido a su gran capacidad de producción garantizan el abasto de concreto en tiempo y forma en cualquier obra civil de dimensiones considerables asegurando continuidad en el suministro, agilizando el ritmo de la construcción y evitando tiempos muertos manteniendo una perfecta sincronización y frecuencia de entrega entre la obra y la producción de concreto. Este tipo de mezcladoras son diseñadas y utilizadas para proyectos donde se requieren importantes consumos de concreto premezclado [11].

Las plantas verticales de concreto premezclado tiene niveles producción muy altos que oscilan entre los 100, 200 y 300 m³/ hora. Por tal motivo es necesario tener ciertas consideraciones el momento de ubicar la planta, tales como: tener suficientes sumisitos de agua y electricidad ya que el agua es de vital importancia en este proceso, así como tener accesos fáciles a carreteras para el transporte de materias primas y equipos, ya que la maquinaria que se utiliza es de gran tamaño (maquinaria pesada).

Un factor importante en la construcción e implementación de estas plantas es el área de terreno donde se pretenden ubicar. Como ejemplo el área mínima requerida para una planta de concreto premezclado para una capacidad de 100 m³/ hr, tomando en cuenta el espacio necesario para el estacionamiento de 10 camiones agitadores, es en promedio de 4,000 m². En la Figura 1.4 se muestra un diagrama de la ubicación y terreno de la planta [10].

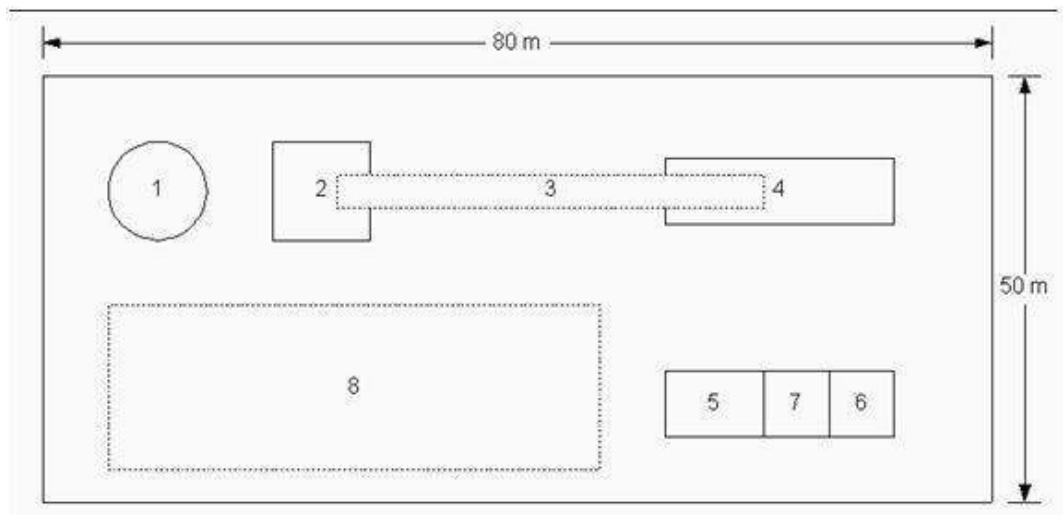


Figura 1.4 Distribución de planta Mezcladora:

- (1) silo, (2) planta de hornada, (3) faja transportadora, (4) almacén de agregados, (5) mantenimiento, (6) oficina, (7) laboratorio, (8) área de carga de camiones.

Este tipo de mezcladora cuenta con un silo de cemento el cual provee a la mezcladora de todo el cemento que se requiera durante la producción. La planta de hornada incluye: una balanza para pesar el cemento, un medidor de agua, una balanza para arena, balanza para grava, sistema para pesar toda la mezcla, la propia mezcladora y un sistema de reciclado de agua. El consumo promedio de agua es de 200 litros/min. (Figura. 1.5)

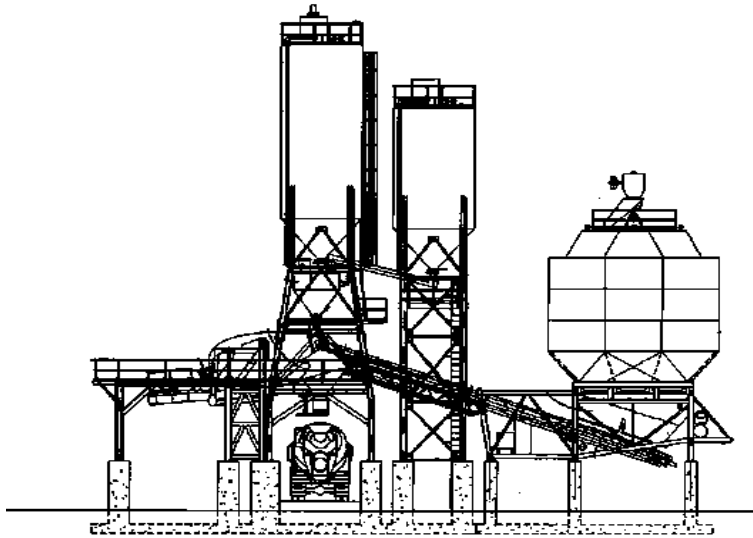


Figura 1.5 Planta Mezcladora. [14]

1.2.2 Mezcladoras de tambor

La mezcladora de tambor tipo pipa es una mezcladora que cuenta con un depósito para contener todos los materiales componentes del concreto. Generalmente a este tipo de mezcladoras se les deposita por medio de de tolvas el concreto premezclado. Siendo su principal objetivo llevar el concreto a la obra donde será requerido. (Figura 1.6)

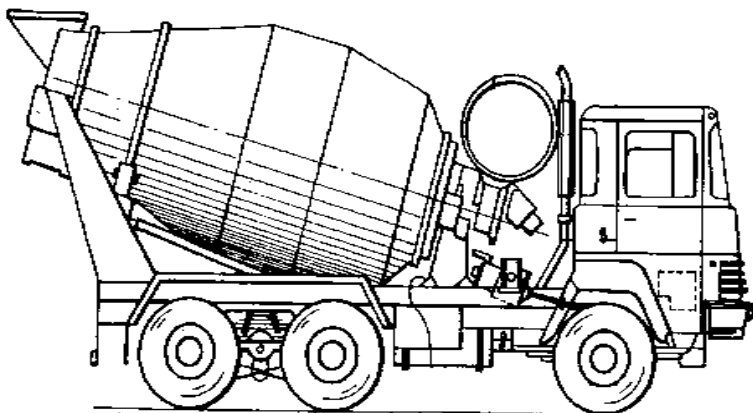


Figura 1.6 Mezcladora de tambor. [9]

La capacidad de volumétrica de este tipo de mezcladoras varía entre los 20 y 30 m³ de concreto, y durante su recorrido el tambor de la mezcladora va girando para evitar que el concreto endurezca. Generalmente en este tipo de mezcladoras se usa un motor hidráulico que provee el torque necesario para que el tambor rotatorio gire. Cuentan con tolvas para ingresar el material y tolvas de descarga una vez llevado a sitio el concreto.

El tambor tiene dos sentidos de giro uno para mezclar y otro para vaciado, ya que en su interior cuenta con una especie de tornillo sin fin para que en un sentido la mezcla no pueda salir del contenedor pero en sentido contrario al tornillo hace que la mezcla salga por el orificio del tambor. En la Figura 1.7 se muestra como es la estructura interna del tambor mezclador para este tipo de mezcladoras.

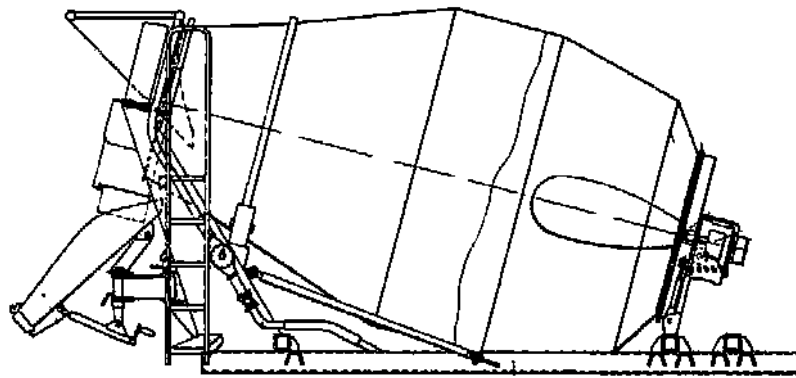


Figura 1.7 Vista lateral de pipa.

Existen algunas variantes en este tipo de mezcladoras ya que la descarga puede ser por detrás del camión o por el frente. En la Figura. 7 se muestra un ejemplo de una mezcladora de tambor rotatorio que tiene la descarga del material en la parte frontal.

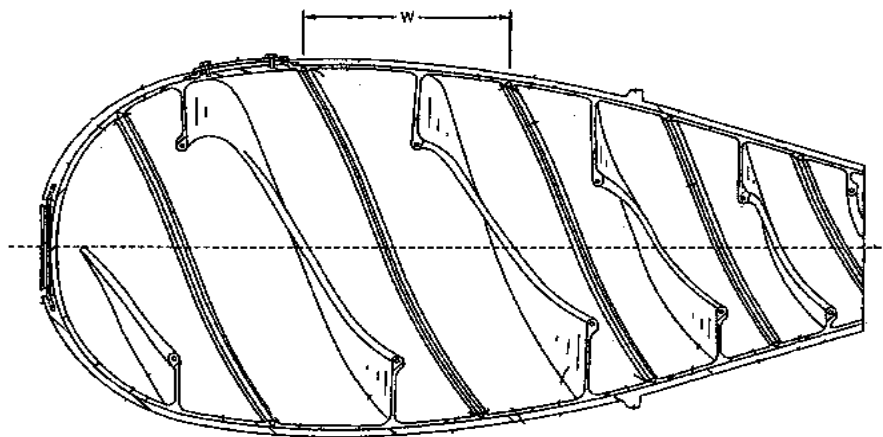


Figura 1.8 Sección de vista interna.

Existen algunas variantes en este tipo de mezcladoras ya que la descarga puede ser por detrás del camión o por el frente. En la Figura 1.7 se muestra un ejemplo de una mezcladora de tambor rotatorio que tiene la descarga del material en la parte posterior y en la Figura 1.8 se muestra un tambor rotatorio con descarga al frente.[8]

1.2.3 Mezcladoras tipo trompo

El proceso para producir concreto por medio de una mezcladora tipo trompo (pequeña producción) es similar al de las plantas mezcladoras de concreto, solo que en menor escala. El tiempo en suministrar los materiales necesarios para iniciar el mezclado es aprox. de 5 min. En la Figura 1.9 se muestra una imagen de este tipo de mezcladoras. [7]

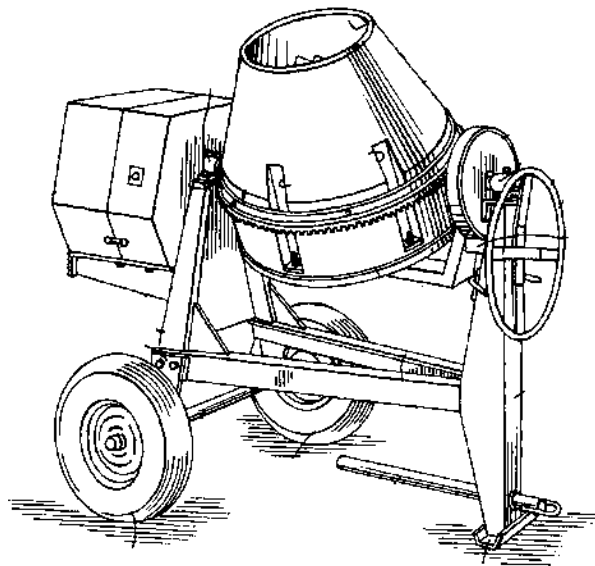


Figura 1.9 Mezcladora de tambor.

Este tipo de mezcladoras también son conocidas en el campo de la construcción como revolvedoras, que generalmente consta de un tambor también conocido como olla, la cual pueden ser para un saco de cemento o para medio saco. El volumen promedio de la olla (tambor) para una capacidad de medio saco es de 145 lts y para una de un saco es de 275 lts.

Generalmente el sistema motriz de este tipo de mezcladoras consta de un motor de combustión interna a gasolina, pero en algunos casos se llegan a utilizar motores eléctricos cuando son para medio saco de cemento. La potencia de los motores utilizados oscila entre los cuatro y ocho Hp pudiendo llegar hasta los doce dependiendo del modelo y la capacidad de producción.

En este tipo de modelos es necesario implementar una transmisión, tanto para transmitir el torque como para reducir la velocidad de salida del motor. La olla consta de una corona (engranaje) que se acopla a un piñón que este a su vez se acopla a la transmisión por medio de bandas.

La mezcladora consta con un mecanismo de volteo manual; un volante el cual al ser girado también hace que la olla gire y quedando en posición horizontal para que la descarga sea por la boca de la misma. Las mezcladoras de trompo generalmente son de tipo móvil, pudiéndose remolcarse para ser llevadas a cualquier lugar en sitio donde se encuentre la obra y se necesite el concreto.

La olla mezcladora generalmente está hecha de acero estructural y puede girar completamente para su descarga. La estructura interna puede tener varios arreglos para garantizar la perfecta homogenización de la mezcla.

Las aspas o deflectores varían en cantidad las cuales pueden ser desde dos hasta nueve. Se busca que los ciclos de carga y descarga se encuentren entre los tres y cinco minutos como máximo. También cuenta con una palanca de freno para que la olla quede una posición deseada, es decir permite fijarla en la posición más adecuada para un mezclado en carga o descarga.

En la Figura 1.10 se muestra la configuración interna de una mezcladora de tambor (revolvedora o trompo) [7].

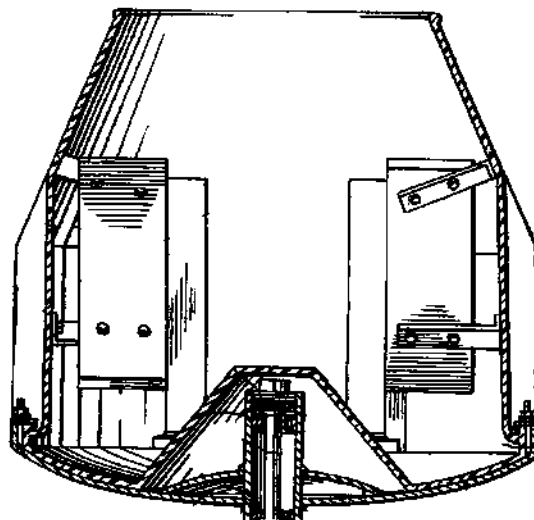


Figura 1.10 Sección transversal de Mezcladora de tambor (trompo).

En la Figura 1.10 se muestra la sección transversal de la olla y en la Figura 1.11 se muestra el despiece de la olla junto con el engranaje llamado corona que es el encargado de girar la olla para mezclar el concreto.

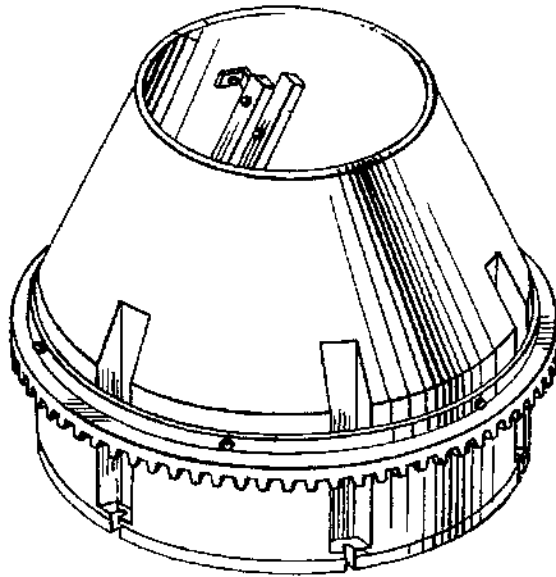


Figura 1.11 Corona en olla mezcladora.

Uno de los principales problemas que enfrentan este tipo de mezcladoras es el desgaste excesivo de sus piezas debido al roce constante con la mezcla, en especial las aspas del interior que son las encargadas de mezclar el concreto. Teniendo que ser cambiadas ya sea por un desgaste excesivo o por fractura. Esto sucede porque generalmente el material de construcción es un acero estructural con propiedades no aptas a la abrasión, también pudiendo ser construidas con plásticos y polímeros especiales.

1.2.4 Mezcladoras de eje horizontal

Las mezcladoras de eje horizontal se utilizan cuando se necesitan volúmenes de producción más altos que en las pequeñas revolventoras de trompo. Los volúmenes que generalmente manejan son de 1200 lts de mezcla y una producción de concreto de $35\text{m}^3/\text{hr}$.

Existen algunas variantes de las mezcladoras con ejes horizontales rotatorios pero las más conocidas son las que se fabrican con dos ejes o ejes gemelos para acelerar la producción y reducir tiempo en mezclado mejorando la homogenización de la mezcla.

En la Figura 1.12 se muestra una mezcladora de doble eje horizontal o ejes gemelos. [16]. Donde se observa que las paletas son muy robustas y el cuerpo interno del mezclador está cubierto por material refractario el cual ayuda a evitar el desgaste debido a la abrasión. Este tipo de mezcladores cuenta con un nivel alto de tecnología debido a que su precio en el mercado es muy elevado en comparación con los mezcladores más pequeños para volúmenes bajos de producción.

El acceso a la información de este tipo de mezcladores es muy limitado debido a que la tecnología desarrollada es por parte de empresas privadas no pudiendo estar al alcance del Público en general, guardando los secretos de fabricación y construcción. La manera más fácil de acceder a un poco de información es a través de las patentes que las empresas realizan durante el periodo de investigación.



Figura 1.12 Mezcladora de eje horizontal (doble eje).

Las mezcladoras con ejes horizontales cuentan con unas paletas o aspas que son las encargadas de hacer la mezcla al estar girando sobre el eje o los ejes según sea el caso. Cuando los ejes están en posición horizontal y paralelos estos giran en sentido contrario para inducir a la mezcla hacia el centro del mezclador con esto se asegura que no se quede mezcla en los extremos del contenedor. El propósito de inducir la mezcla hacia el centro es debido a que la descarga del concreto se hace por la parte central del mezclador.

Este tipo de mezcladoras cuenta con un par de motores eléctricos que están acoplados a un sistema de transmisión que cuenta con un reductor para que la velocidad final de salida hacia los ejes sea baja oscilando entre las 60 RPM.

Generalmente este tipo de mezcladoras cuentan con una cubierta quedando sellado casi en su totalidad el contenedor de la mezcla, ya que en operación si genera una gran cantidad de polvo y al estar girando los ejes pueden lanzar hacia el exterior material de la mezcla que puede ser peligro para los operarios o personas que se encuentre cerca de la maquina trabajando

En la Figura 1.13, se muestra una vista de la sección transversal de una mezcladora de ejes horizontales gemelos. Donde se puede apreciar la configuración de las espas que componen los ejes así como el contenedor en su totalidad. [15]

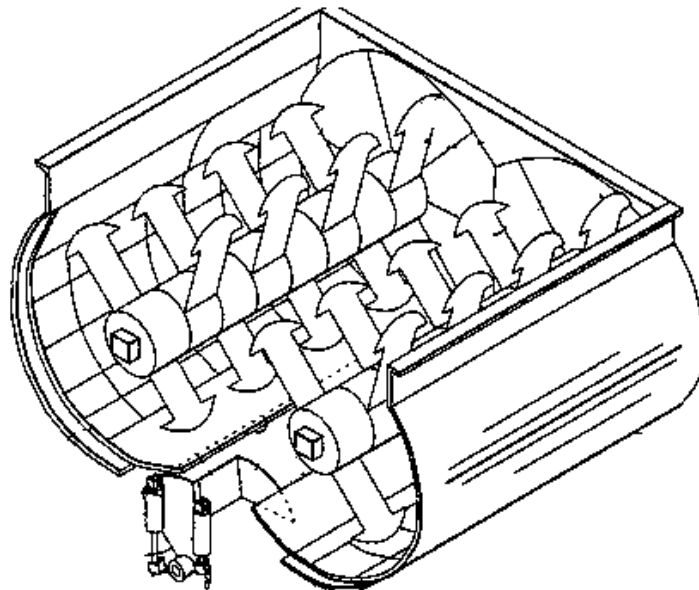


Figura 1.13 Mezcladora de eje horizontal seccionada (doble eje).

Un requerimiento primordial en el diseño del mezclador es que las espas deben poder cambiarse con facilidad y por tal motivo su reparación y construcción debe ser económica. Ya que debido a la abrasión y el constante contacto con los agregados pétreos estas pueden sufrir de un desgaste excesivo o prematuro y por ende se pueden tener facturas o fallas en el material.

Otro requerimiento importante es que la etapa de descarga se haga lo más rápido posible para que no se pierda tiempo valioso que puede ser usado en la mezcla o en la etapa de carga de los materiales.

1.3 El método por elemento finito

1.3.1 Introducción

Desde que los problemas ingenieriles pasaron de la teoría a la práctica y donde después aparece el área numérica para poder ayudar a resolver problemas que eran casi imposibles o imposibles por estos dos métodos, se puede decir que tiene sus inicios el método por elemento finito. Debido a los avances que se tienen en computación es posible resolver por métodos numéricos problemas que por métodos analíticos sería casi imposible de resolver o muy tardado en hacerlo. Dependiendo de la escala física del fenómeno o problema a realizar se puede decir que la mecánica computacional puede estudiar fenómenos a nivel macroscópico, ya sea en los sólidos o en los fluidos.

Los problemas que involucran el continuo “sólido” se pueden dividir de acuerdo a los efectos inerciales en estáticos y dinámicos. En los problemas dinámicos se tiene una dependencia del tiempo donde las fuerzas inerciales son parte del problema.

Los problemas lineales son aquellos en los que la respuesta a una perturbación del sistema “estructura con cargas aplicadas” responde a una relación lineal con el valor de la perturbación. Los problemas no lineales no lo hacen así pudiéndose asociar al comportamiento del material y la geometría del modelo. Debido a que muchos problemas en ingeniería presentan una gran complejidad es necesario crear un modelo matemático que represente el físico de una manera más sencilla dividiendo el problema en partes o *elementos* para después volver a armarlo y predecir el sistema del comportamiento completo. Aquí es donde se puede decir que surge el método por elementos finitos. Existen sistemas donde sus partes son claramente diferenciables y se pueden apreciar sus nodos que son los responsables de conectar los elementos. Cuando las divisiones no son posibles se llega a un modelo matemático de ecuaciones diferenciales recibiendo el nombre de sistemas continuos.

El método de elementos finitos ó mejor conocido por sus siglas en inglés FEM (Finite Element Method) es un método de cálculo que divide al cuerpo o estructura en elementos discretos con condiciones de unión entre sí. Generando un sistema de ecuaciones que se resuelve numéricamente proporcionando tensiones y deformaciones. La base del método por elementos finitos es la representación de un cuerpo por un ensamble de subdivisiones llamados *elementos* y estos están interconectados a través de puntos llamados *nodos*.

1.3.2 Breve historia

En 1909 Ritz desarrolla un método efectivo para dar una solución aproximada problemas de la mecánica de sólidos deformables. Una de las principales restricciones del método de Ritz es que las funciones usadas deberían de satisfacer las condiciones de frontera del problema.

En 1943 Courant consideró que se podía incrementar considerablemente la eficiencia del método introduciendo funciones especiales lineales sobre regiones triangulares y aplicar el método para la solución de problemas de torsión. Aunque originalmente el método se originó para resolver problemas estructurales se vio que se podía utilizar en la solución de problemas de fluidos, termodinámicos, etc. El método de Ritz junto con el de Courant es muy similar al propuesto por Clough unos años después y se introdujo por primera vez en los años sesenta el termino de elemento finito en un escrito llamado “The finite element method in plane stress analysis”. La razón principal del gran desarrollo del FEM fue la introducción de los sistemas computacionales en los años sesenta los cuales permitían computar una gran cantidad de información en poco tiempo.

Una comparación entre FEM y otros métodos comunes para la solución de problemas ingenieriles como elásticos, fluidos, transferencia de calor, etc. Se puede observar en la figura 1.14. Donde el FEM se compara con soluciones analíticas de ecuaciones diferenciales y el método de Ritz.

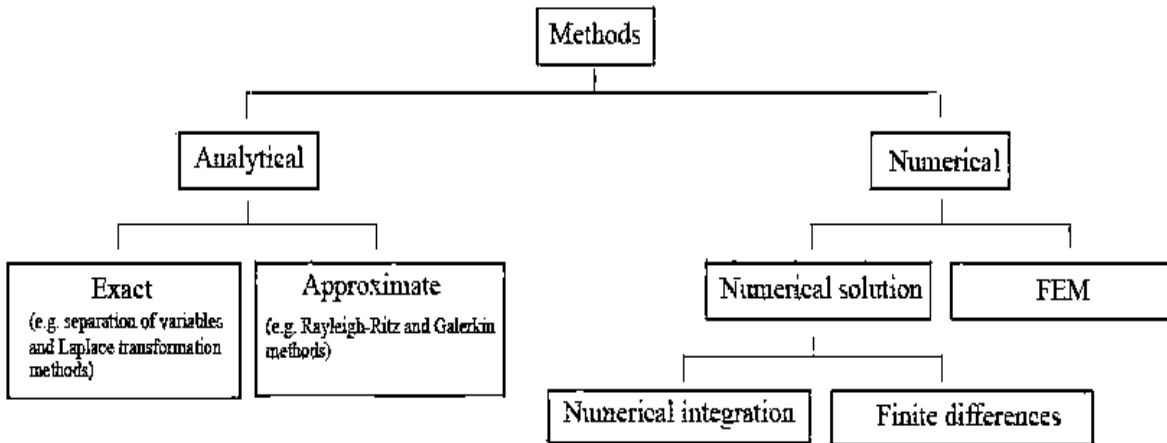


Figura 1.14 Comparación del FEM con métodos comunes.

En la figura 1.15 se puede observar una comparación en una solución de un problema usando los tres métodos: Ritz, FEM y la solución analítica. Donde se puede comprobar la exactitud del FEM por el cual es muy utilizado para resolver problemas donde se presenta un alto grado de complejidad.

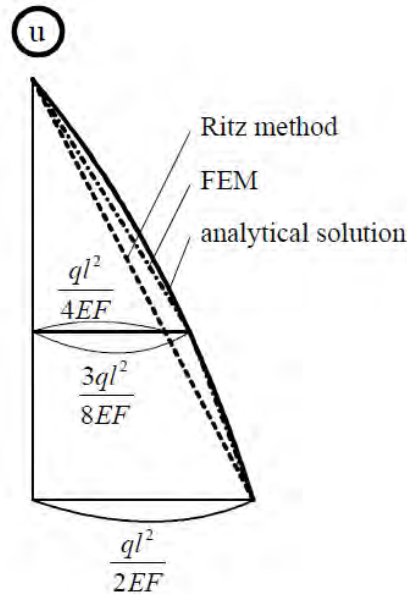


Figura 1.15 Comparación del FEM con métodos comunes en un problema.

En la idea general del método de los elementos finitos al dividir el continuo en un conjunto de pequeños elementos, es que las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo también rigen al de los elementos. Pasando así de un sistema continuo, regido por una ecuación diferencial (sistemas de ecuaciones).

Existe una gran variedad de elementos que se pueden utilizar en la solución de problemas, todo depende de la complejidad de los mismos lo que hace más fácil usar uno u otro. Los más comunes son: elementos lineales (Fig. 1.16), planos (Fig. 1.17) y sólidos (Fig. 1.18).

- Elementos lineales:
 - Resortes
 - Barras
 - Vigas



Figura 1.16 Elemento lineal.

- Elementos planos :
 - Membranas
 - Placas

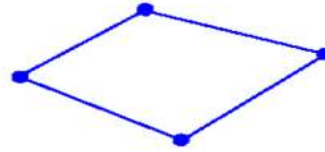


Figura 1.17 Elemento plano.

- Elementos sólidos (3-D)

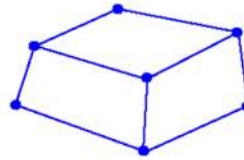


Figura 1.18 Elemento sólido.

En la figura 1.19 se muestra una tabla donde se observa los diferentes tipos de problemas que se pueden llegar a resolver por medio de FEM. [Finite element analysis,book]

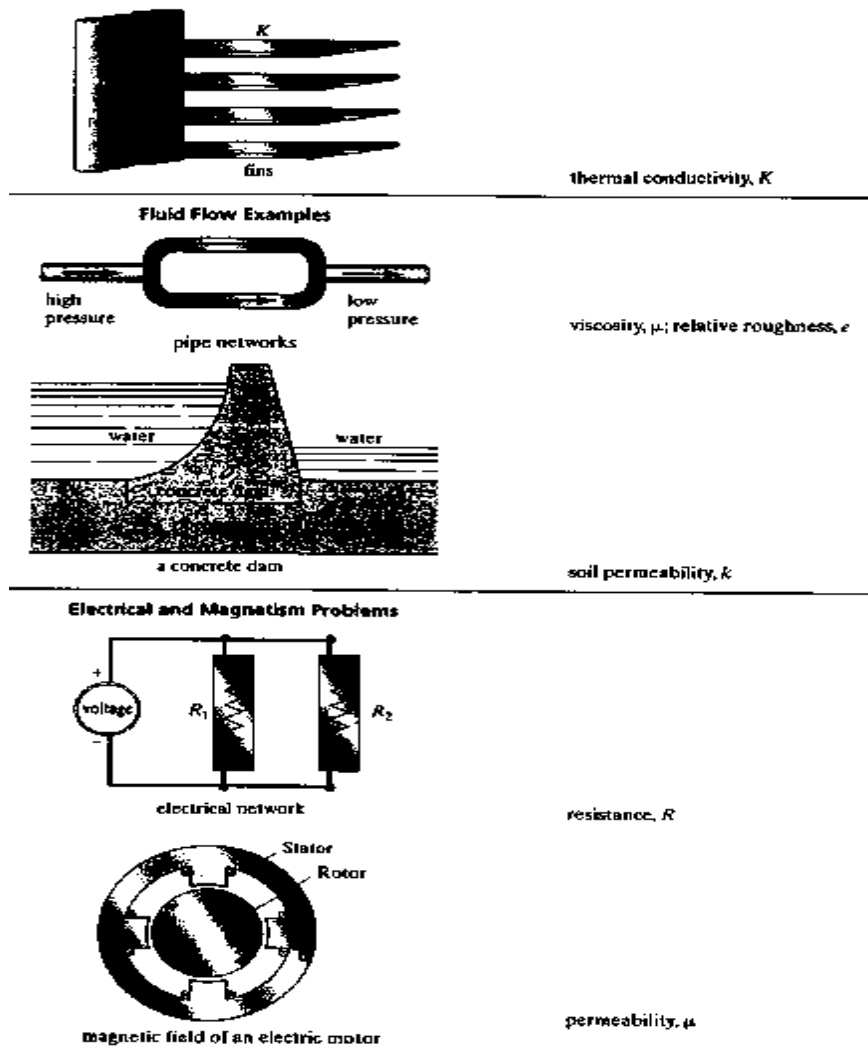


Figura 1.19 Problemas para solucionar por medio de FEM.

Dependiendo del tipo de elemento que se use así también serán los tipos de nodos que se encuentren en el elemento. Los tipos de nodos que se pueden distinguir en un elemento van desde los primarios, secundarios e intermedios. Esta clasificación es de acuerdo a la importancia y preponderancia que juegan dentro del elemento. En la figura 1.20 se muestra la distribución de estos tipos de nodos.

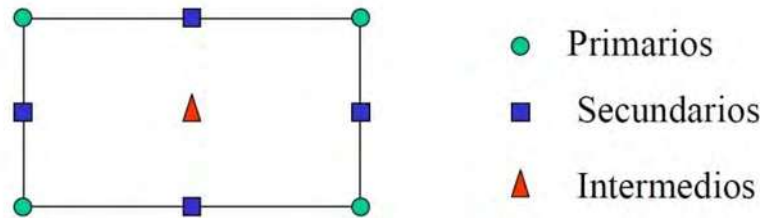


Figura 1.20 Tipos de nodos.

Un factor importante en el método por elemento finito es la interpolación que se hace a través de las funciones de forma o interpolación, logrando reducir el problema a la determinación de los corrimientos o desplazamientos de los nodos. Estas funciones deben dar valores suficientemente aproximados de los corrimientos de cualquier punto del elemento, en función de los corrimientos de los nodos.

Las funciones de forma se agrupan en dos familias principales en función del tipo de nodos:

- Serendípidas: solo existen nodos de frontera (primarios y secundarios)
- Lagrangianas: Incluyen nodos intermedios

Para conseguir un mayor ajuste de los elementos con la geometría del cuerpo, se hace también una interpolación de tipo geométrico. Obteniendo elementos de lados curvos a partir del elemento de referencia asemejando el desplazamiento que tienen los nodos respecto a ellos mismos como se muestra en la figura 1.21. La transformación de los elementos no necesariamente se hace de un elemento bidimensional a otro bidimensional puede suceder el caso que la transformación sea hacia un elemento tridimensional.

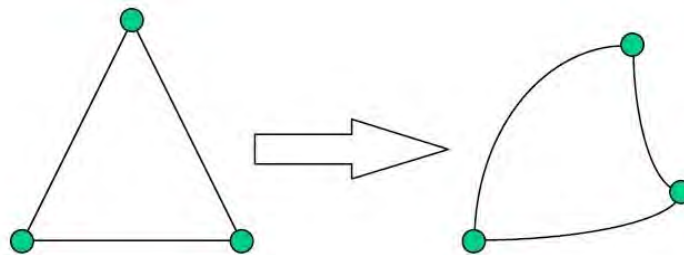


Figura 1.21 Transformación de la geometría del nodo

1.3.3 El Mallado

Una parte de vital importancia en el método por elemento finito que antecede a la simulación; ya sea un análisis estructural o de fluidos es la parte del mallado del elemento o del sólido. El propósito del mallado es descomponer el dominio de la solución en un número apropiado de localizaciones que permitan una solución más exacta.

Los elementos básicos para hacer un mallado en 3D son: poliedro de cuatro caras es decir un tetraedro para sólidos que no tienen una estructura bien definida. Hexaedros para sólidos que están usualmente definidos. Pentaedros: pirámide y prisma triangular. La pirámide se utiliza para unir los tetraedros y hexaedros.

Los prismas se forman cuando se extruye un mallado tetraédrico. En la figura 1.22 se muestran los diferentes tipos de elementos que se pueden utilizar durante el mallado del sólido. Estos tipos de elementos son especiales o son usados en ANSYS; es decir son las variantes que puede soportar el software.

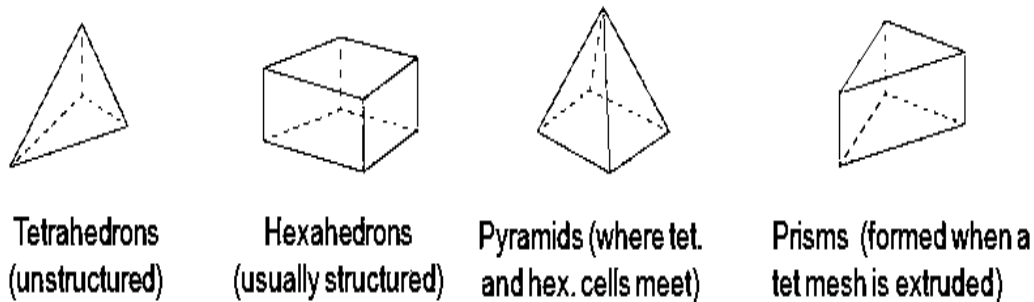


Figura 1.22 Tipos de elementos en ANSYS.

La importancia del mallado durante un análisis estructural o simulación es vital; por tal situación se debe tener cuidado en el detalle y refinamiento de la malla.

El mallado debe ser eficiente. No solo se debe hacer un refinamiento de mallado nada mas por hacerlo todo depende de la región que se quiera estudiar así como la exactitud que se quiera tener dependiendo de la importancia de ésta. Donde se suponga que se puede tener un gradiente de presión o velocidad es indispensable hacer un refinamiento de mallado en esa región.

El hacer refinamiento de malla en una zona o en la totalidad del elemento a analizar depende en gran manera de los recursos computacionales, los cuales generalmente son limitados Por tal motivo es necesario hacer un correcto mallado y no solo hacer un refinamiento solo por hacer. Además económicamente se elevan los costos de análisis.

El propósito de un buen mallado es descomponer la solución en un número apropiado de regiones que permitan tener un resultado lo más certero posible y cercano a la realidad.

La calidad de los elementos se debe mantener, ya que en sólidos con una geometría muy compleja esta se puede ver distorsionada. Siendo una de las principales causas que pueda afectar los resultados e inclusive llevar a no tenerlos.

Existen muchos métodos para medir la calidad del mallado uno de ellos es el “Skewness” que es la medida de la distorsión relativa de un elemento en comparación con su figura ideal cuya escala va desde cero hasta uno como se muestra en la figura 1.23.

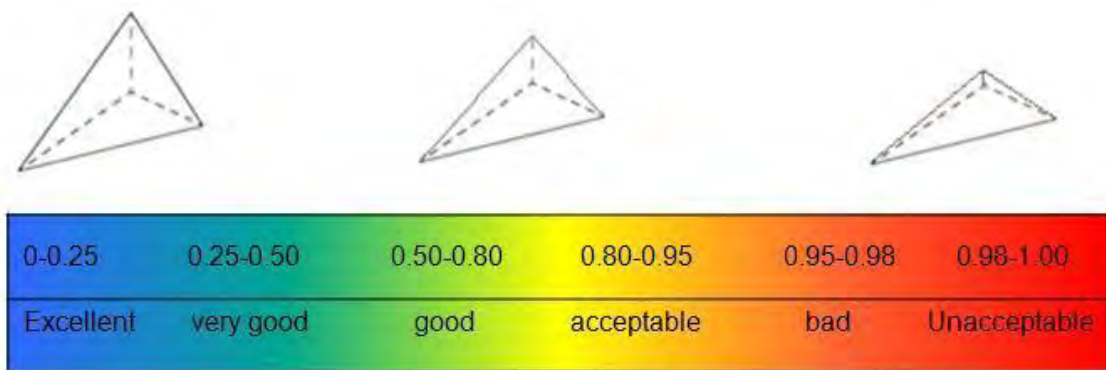


Figura 1.23 Dimensiones de los elementos

El propósito de refinar el mallado en CFD es obtener resultados más exactos tales como gradientes de presión temperatura y velocidad.

1.4 Tipo de aceros

Como la máquina que se pretende diseñar debe estar en operación por gran periodo de tiempo, se puede suponer que sufrirá un desgaste excesivo debido a la abrasión; en general se puede decir que el desgaste de las piezas mecánicas es la pérdida gradual del metal ocurrida después de un cierto tiempo de operación. Este tipo de desgaste es de vital importancia ya que el extender o alargar la vida de operación de la máquina tiene grandes beneficios o perjuicios, que pueden llegar al grado de tener que cambiar una parte de la maquinaria debido a un desgaste excesivo por el continuo tiempo de operación. Se pueden mejorar las condiciones de trabajo de la pieza o maquinaria si se hace una selección correcta del material con que se fabricará la maquinaria.

Los materiales se pueden clasificar de acuerdo a su funcionalidad; es decir si su función principal o más importante es la mecánica, la biológica o se requiere que tenga propiedades eléctricas. Habitualmente los materiales metálicos se usan en aplicaciones de cargas dinámicas, sus propiedades mecánicas, son de gran interés práctico. Los metales en general tienen una resistencia relativamente alta, gran rigidez, ductilidad.

Las relaciones entre la estructura y las propiedades de los materiales son influenciadas por el entorno al que está expuesto el material durante su vida útil u operación; es decir si están expuestos a altas o bajas temperaturas, esfuerzos cíclicos, impactos súbitos, corrosión u oxidación y fatiga

Por tal motivo es necesario saber cuáles son las posibles causas que podrían originar el desgaste de la pieza para saber qué tipo de material se utilizará en la fabricación y si es necesario aplicarle un tratamiento térmico de templado, un revenimiento o revestimiento que pueda mejorar las propiedades físicas, y mecánicas, del material.

La principal característica que se quiere mejorar en el material de construcción es que sea altamente resistente a la abrasión y al desgaste. Para mejorar esta característica se le puede dar un tratamiento de templado el cual endurece la mayoría de los aceros y el revenido incrementa su tenacidad.

Al aplicar un temple es posible obtener martensita revenida, al temprar en primera instancia la austenita para producir martensita para posteriormente aplicar un revenido. Durante el revenido se forma una mezcla de ferrita y cementita a partir de la martensita. El tratamiento de revenido se usa para controlar las propiedades finales del acero. Dependiendo de las propiedades que se necesiten en el acero es posible de hacer una combinación de tratamientos térmicos.

Otro tipo de tratamiento que se le puede aplicar al acero es un tratamiento superficial el cual ayuda a obtener una estructura dura y resistente en la superficie, con el objeto de obtener una resistencia al desgaste y a la fatiga y al mismo tiempo conservar un núcleo blando, dúctil, y tenaz; proporcionando una buena resistencia a la falla por impacto. A este tipo de tratamiento superficial se le conoce como cementado.

El cementado se produce haciendo un calentamiento selectivo de la superficie. Se empieza calentando rápidamente la superficie de un acero medio al carbono por encima de la temperatura A_3 (conservando el centro del material por debajo de la temperatura A_1). Una vez que se temple el acero, el centro seguirá siendo una mezcla blanda de ferrita y perlita, en tanto que en la superficie se ha formado martensita, este proceso se observa en la figura 1.24. En el apartado (a) de la figura se presenta un endurecimiento superficial mediante un calentamiento localizado, y en (b) solamente se calienta la superficie por encima de la temperatura A_1 y se temple para producir martensita.

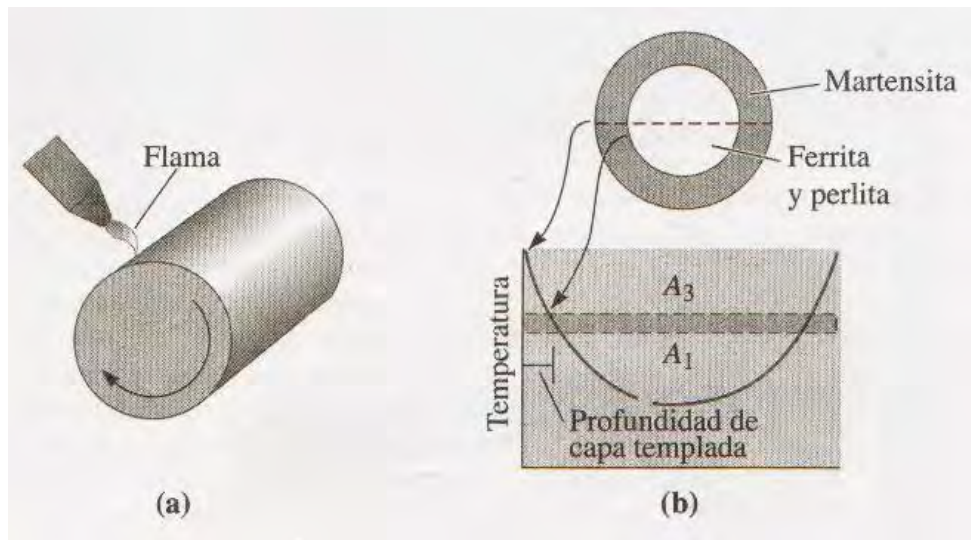


Figura 1.24 Tratamiento superficial

La profundidad de la capa de martensita es la profundidad de capa templada. El responsable de la dureza de la superficie es el revenido. Se proporciona calor local sobre la superficie utilizando una flama de gas, una bobina de inducción o un rayo láser o haz electrónico. Es decir si así se desea endurecer únicamente ciertas áreas seleccionadas de la superficie del material que pueden ser más propensas a la falla por fatiga o desgaste.

De acuerdo a las propiedades que se necesita que tenga el acero a utilizar para la fabricación del mezclador. Se llega a la conclusión que se utilizara para hacer los análisis estructurales un acero estructural ASTM A36, al cual posteriormente se le realizara un tratamiento térmico o superficial para mejorar resistencia al desgaste.

1.5 Metodología

De acuerdo a la literatura y antecedentes durante la búsqueda bibliográfica enfatizada en mezcladores de concreto, se verifica el estado del arte. Posteriormente se hará una valoración crítica de las fuentes localizadas destacando sus potencialidades y debilidades que las hacen o no factibles para este caso. Se propondrán variantes de equipos mezcladores que cumplan con las exigencias del solicitante a fin de seleccionar las más racionales, en función de las posibilidades de las empresas constructoras.

El método de diseño a seguir será el método de French:

- Clarificar o establecer los objetivos
- Establecer las funciones del máquina
- Requerimientos y características
- Generación de alternativas
- Evaluación de alternativas
- Selección final
- Diseño de detalle

Una vez encontrada la mejor opción es decir la selección final de diseño, se hará el diseño de detalle de los componentes definiendo en cada caso sus potencialidades y limitaciones. El diseño de detalle se enfocará sobre el mezclador en sí; es decir el componente de la maquinaria encargado de realizar la mezcla.

El diseño de detalle del mezclador se enfocará a realizar un análisis estructural. Del cual se partirá para que la máquina trabaje de manera correcta durante su operación. Este análisis arrojará datos sobre el comportamiento de las cargas y deformaciones. Con estos datos se harán los reajustes que sean necesarios en el diseño. Los análisis estructurales se harán en un software de simulación: ANSYS 12.1. El software de simulación es un software en el que se pueden hacer análisis estructurales utilizando el método por elemento finito. Para realizar el análisis es necesario hacer un modelado sólido del mezclador con esto queda cubierto el objetivo de realizar los dibujos de detalle de la máquina.

Después de realizar el análisis estructural, se hará un análisis de fluido, donde se buscará conocer como es la trayectoria posible del fluido durante la operación de la máquina. Este tipo de análisis solo se centrará en conocer el movimiento del material o las posibles trayectorias que puede tener.

Una vez que se tenga el análisis de fluido se espera realizar un prototipo final de acuerdo al diseño propuesto, para realizar pruebas acerca del comportamiento del fluido; es decir conocer los movimientos del mismo en forma real. Con estas pruebas se buscará validar los análisis del fluido hechos en el software de simulación.

Posteriormente se hará una valoración económica de la propuesta final, destacando sus incidencias en la economía de la empresa. Tratando que el producto final diseñado sea la mejor opción de compra dentro del rango de compra esperado.

Con los datos obtenidos durante y el transcurso del proyecto se confeccionará y redactará la tesis, para entregar y defender en tiempo establecido en los lineamientos de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecánica.

1.6 Infraestructura

- Acceso a base de datos
 - UNAM
 - IPN
 - UMSNH

- Biblioteca de la universidad
 - Biblioteca central CU
 - Biblioteca FIM

- Computadora personal (TOSHIBA Procesador Intel Core 2.40 GHz, Memoria RAM 4 GB)

- Software de diseño (modelado solido)

- Software de análisis y simulación (análisis por elemento finito)

Capítulo 2 Diseño del mezclador

2.1 Diseño

En el proceso de diseño se pueden seguir muchos modelos yendo desde simplemente describir las secuencias de actividades que ocurren en el diseño hasta los que prescriben un patrón apropiado de actividades.

Generalmente los modelos descriptivos del proceso del diseño hacen énfasis en la importancia de generar un concepto de solución en una etapa temprana del proceso. Esta conjetura de solución inicial se somete después a análisis, evaluación, refinamiento y desarrollo por esta razón en ocasiones se pueden tener fallas en este tipo de modelo. En la Figura 2.1 se muestra un diagrama de éste modelo.

Parte importante en el proceso del diseño es el análisis que significa descomponer en sus partes constituyentes, ya que es necesario saber cómo analizar sistemas de varios tipos. Pero antes de que cualquier sistema pueda ser analizado debe existir la síntesis que es conjuntar en un todo.

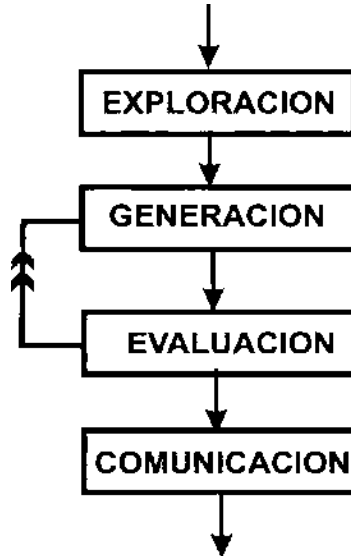


Figura 2.1 Proceso de diseño.[6]

El modelo de proceso de diseño expuesto en la Figura 2.1 es un modelo muy general, uno más detallado es el que se muestra en la Figura 2.2.

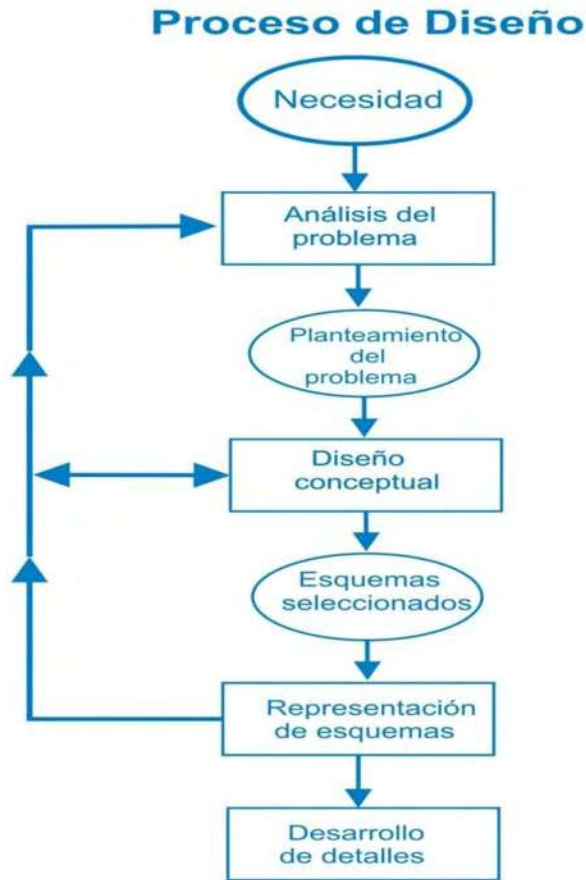


Figura 2.2 Proceso de diseño (Michael French).[6]

El proceso de French se basa en cuatro actividades principales:

- Análisis del problema
- Diseño conceptual
- Dar forma a los esquemas
- Desarrollo de detalles

En el diagrama de la Figura 2.2 los círculos representan las etapas o resultados alcanzados y los rectángulos representan actividades o trabajo en curso. Este proceso comienza con un planteamiento inicial de una necesidad siendo la primera actividad del diseño es el análisis del problema, “El análisis del problema es una parte pequeña pero importante del proceso global. El resultado es un planteamiento del problema y este puede tener tres elementos”: [14]

- Planteamiento del propio problema de diseño
- Limitaciones que se imponen a la solución
- Criterio de excelencia hacia el que se va a trabajar

Estas tres actividades son entonces:

La fase del diseño conceptual toma el planteamiento del problema y genera soluciones amplias, en forma de esquemas. Es la fase que impone mayores demandas al diseñador y donde existe el mayor campo para mejoras. Es donde se conjuntan la ciencia de la ingeniería, el conocimiento práctico, los métodos de producción y los aspectos comerciales; es decir, donde se toman las decisiones más importantes.

En los esquemas se trabaja con mayor detalle y si existe más de uno, se hace una elección final entre ellos. El producto final es generalmente un conjunto de dibujos del arreglo general. Debe existir una retroalimentación entre esta fase y la del diseño conceptual.

El desarrollo de detalles es donde se deciden un número muy grande de puntos pequeños pero esenciales. La calidad de este trabajo debe ser buena de lo contrario se incurrirá en demoras y gastos incluso se puede llegar al fracaso

2.1.1 Proceso de diseño

En la metodología se expuso un proceso de diseño muy general donde se mostraba a grandes rasgos los pasos a seguir para obtener un buen diseño. En la figura 2.3 se muestran siete etapas del proceso de diseño relacionándose entre sí para facilitar la calidad en las decisiones de diseño y así tener un mejor producto final.

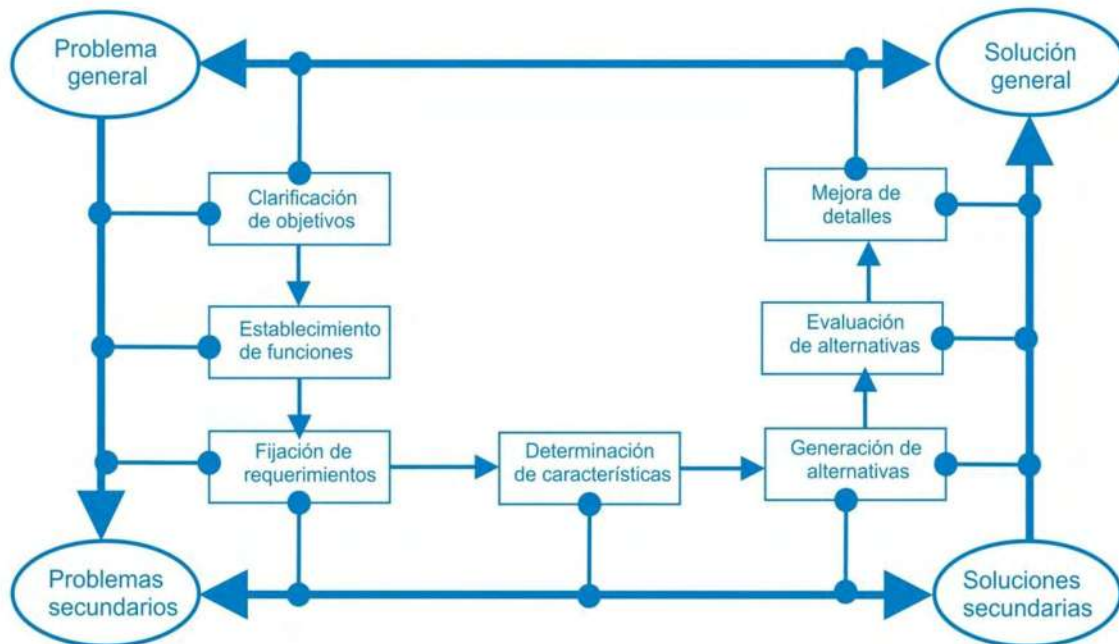


Figura 2.3. Etapas de diseño

Las siete etapas de diseño que se muestran en la figura 2.3 no constituyen un proceso invariable del diseño, pero se pueden seguir para obtener un diseño sistemático el cual pretende mejorar las decisiones en el diseño. En estas siete etapas se observa la relación entre el problema y la solución así como se pasa del problema general a los problemas secundarios y soluciones secundarias.

2.1.2 Clarificación de los objetivos

Un paso importante en el proceso de diseño es el clarificar los objetivos que la pieza diseñada debe satisfacer, aún cuando dichos objetivos puedan cambiar a medida que avanza el trabajo de diseño.

El método del árbol de objetivos muestra los objetivos y los medios generales mediante un diagrama donde se puede observar la relación entre objetivos y el patrón jerárquico que existe entre ellos.

El objetivo de máquina segura se puede ampliar a:

- Bajo riesgo de lesión para el operador
 - El material no salga expulsado de la máquina
- Bajo riesgo de errores del operador
- Bajo riesgo de daño a la maquinaria
 - Paro de emergencia en caso de accidente

Haciendo el diagrama de árbol de objetivos mostrando las relaciones jerárquicas y las interconexiones se tiene (Fig. 2.4):



Figura 2.4 Objetivos de la maquinaria

Un objetivo importante, que se debe tomar en cuenta durante el proceso de diseño es que la máquina debe ser económica lo que lleva a la siguiente lista:

- Materiales de bajo costo
 - Facilidad de adquisición en México.
- Construcción sencilla
 - Manufactura poco especializada.
 - Fácil reparación
 - Reducción de costos
 - Mínimo espacio
- Sencilla operación
 - Operarios limitados
 - Fácil instalación
 - Tolerancia a sobrecarga
- Uso de tecnología nacional
 - No comprar tecnología extranjera

2.1.3 Establecimiento de funciones

Es necesario considerar el nivel del problema en el que se trabajará; es decir considerando las funciones esenciales que un tipo de solución debe satisfacer. Esto puede dar lugar a desarrollar propuestas de solución alternativas que satisfagan los requerimientos funcionales.

El método de análisis de funciones ofrece un medio para considerar funciones esenciales y el nivel en el que problema debe abordarse. Las funciones esenciales son aquéllas que debe satisfacer la maquina independientemente de los componentes físicos que se pudieran utilizar.

La principal característica del método es concentrarse en lo que el nuevo diseño debe lograr y no en como lo va a lograr. Con este tipo de método no se dejan de lado posibles soluciones que un principio podrían verse como descabelladas pero que asentando correctamente la idea puede llegar a ser una muy buena opción de diseño.

La forma más básica en representar el método de análisis de funciones es ver la maquinaria que se quiere diseñar como una “caja negra” que contiene todo lo necesario para convertir todo lo que entre en una salida deseada.

En la figura 2.5 se muestra in diagrama de cómo se comporta ó que es lo que debe lograr el nuevo diseño.

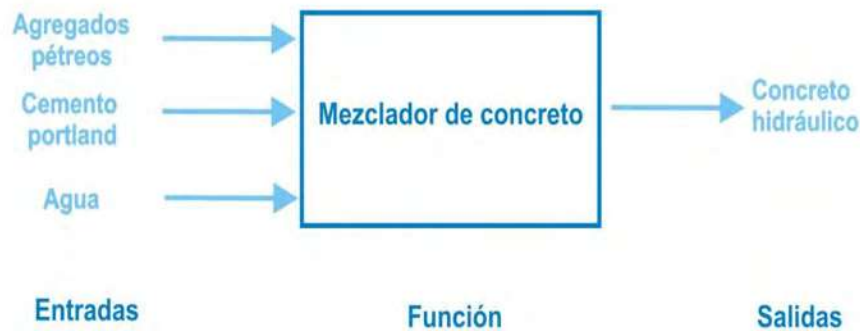


Figura 2.5 Funciones que debe cumplir el mezclador

En la figura de arriba (Figura. 2.5) se muestra de una manera muy global lo que debe hacer la máquina. Se hace de esta manera para no limitar todas las posibles soluciones que se le pueden dar al diseño. En este punto se pueden ampliar los “límites del sistema” es decir lo que puede o no puede llegar a realizar el producto.

La caja negra consta de entradas y salidas y es necesario considerar las más relevantes. Las funciones que se encuentran dentro de la caja negra son muy globales, teniendo que descomponerlas en tareas o funciones secundarias.

No existe forma objetiva o sistemática para realizar la conversión del conjunto de entradas en salidas; depende de factores como los componentes disponibles para tareas específicas, asignación de las funciones a las máquinas o a los operadores humanos, la experiencia del diseñador, etc.

El diagrama de bloques se compone de todas las funciones secundarias, identificándolas por separado encerrándolas en cuadros enlazándolas mediante sus entradas y salidas para que se satisfagan la función general de la máquina a diseñar. Es decir la caja negra original se dibuja como una caja transparente donde se pueden observar todas las funciones secundarias así como sus respectivos enlaces.

La caja transparente que se forma con las funciones de la misma, es muy sencilla debido a que en el inicio o en la entrada de la caja están el ingreso de los agregados pétreos es decir: arena, grava. También se ingresa al mismo tiempo el cemento tipo portland.

La inyección del agua se hace posteriormente de haber un premezclado entre los agregados pétreos y el cemento, pasando de una carga seca a formar una carga húmeda, después de tener la carga húmeda se procede con el mezclado. Tendiendo como pasos

finally the discharge, having as the final product concrete. In figure 2.6 it shows the transparent box with the secondary functions.

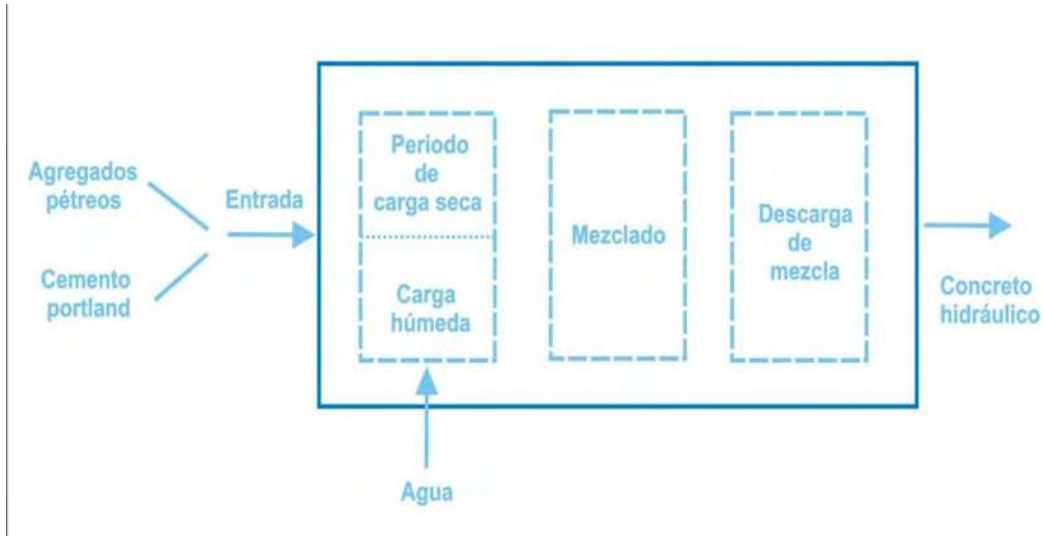


Figura 2.6 Funciones que debe cumplir el mezclador

The diagram defines how the inputs and outputs are linked to each other and how the secondary functions give rise to the total function of the machine in such a way that they conform to a feasible and functional system. It is convenient to use different types of lines to separate the different functions.

In the block diagram it is indispensable to locate which are the limits of the system. That is, one cannot leave inputs or outputs loose, except those that come from the limits of the system or those that leave. In figure 2.7 it shows the mixing times that must be taken to carry out each one of the secondary functions.

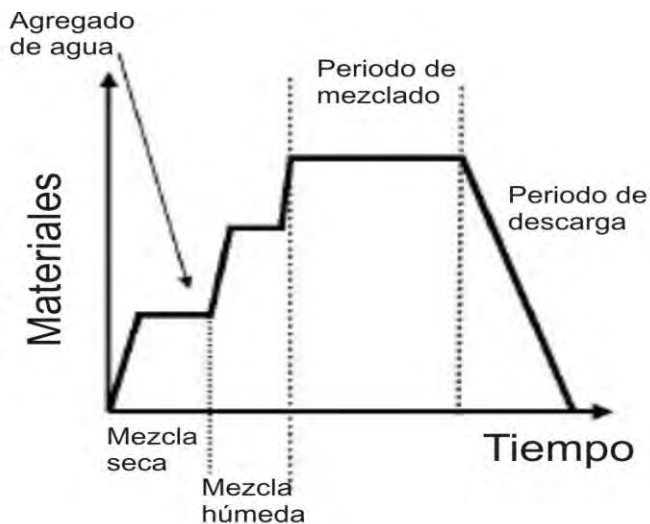


Figura 2.7 Fases del mezclador

El tiempo que se debe de tomar la máquina para realizar las funciones secundarias de mezclado así como de agregados de materiales no debe ser mayor o debe ser muy parecido al tiempo que se tardan las mismas máquinas que existen en el mercado y que realizan las mismas tareas “funciones”. En la figura 2.8 se muestran los tiempos aproximados que tardan las máquinas que actualmente se venden para realizar este trabajo.



Figura 2.8 Tiempos esperados para el mezclado

2.1.4 Requerimientos y características

Cuando se presenta un diseño uno de los principales límites es el del costo, ya sea lo que el cliente esté dispuesto a gastar en la nueva máquina o lo que se esperaría que los consumidores finales estén dispuestos a pagar por el producto. Los límites pueden ser muy variados los cuales pueden ir desde el tamaño o peso de la máquina, rendimiento, tiempo de trabajo, producción, potencia hasta llegar a los que se establezcan por cuestiones legales o de seguridad.

El conjunto de requerimientos comprende la especificación del rendimiento de la máquina. Esto es establecer en términos de límites precisos lo que se quiere que haga la máquina es decir “especificaciones de rendimiento”. Al fijar límites acerca de lo que debe lograrse con un diseño se limita la gama de soluciones aceptables

El método de “especificación del rendimiento” ayuda a definir el problema de diseño, dejando suficiente libertad para obtener una solución de diseño satisfactoria. Al hablar de especificación define el rendimiento requerido y no el producto requerido. Por lo tanto el método hace énfasis en el rendimiento que debe alcanzar la solución de diseño y no un componente en particular.

Es necesario plantear la especificación en un nivel apropiado de generalidad de acuerdo al tipo de solución a considerar. Un nivel demasiado elevado puede generar soluciones inapropiadas y un nivel muy bajo restringe y quita al diseñador de toda libertad para genera soluciones aceptables.

La clasificación más sencilla para dar niveles a un producto puede ser:

- Alternativas
- Tipos
- Características

De acuerdo a las alternativas que se pueden llegar a tomar dentro del diseño de un mezclador de concreto basándose en la búsqueda de los antecedentes y estado del arte se pueden tener desde los mezcladores tipo tambor hasta los mezcladores que tienen ejes giratorios.

En los mezcladores tipo tambor usualmente el elemento giratorio es el propio tambor con lo que impulsa el movimiento de la mezcla. Como se muestra en la figura 2.9.

La mezcla se hace por medio de gravedad cuando el tambor gira y hace que caiga sobre sí misma. Este tipo de mezcladores son los más usados en el mercado y la calidad de la mezcla depende del tiempo que se deje en operación la maquinaria. Para asegurar una homogeneidad en la mezcla se debe estar revisando constantemente la misma.

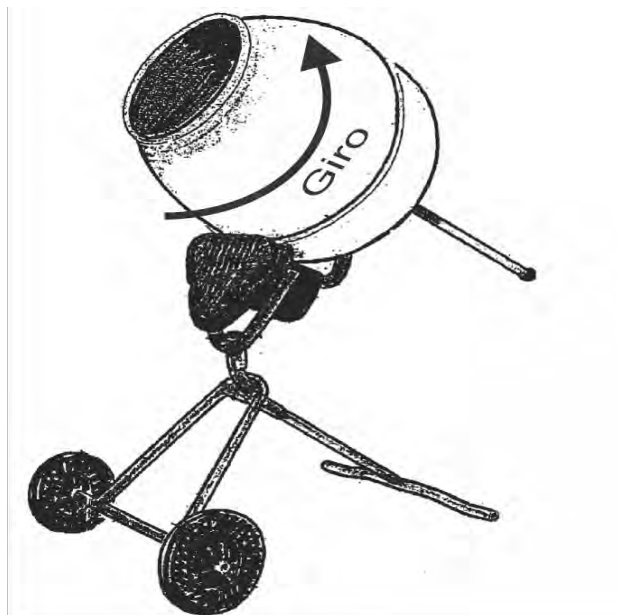


Figura 2.9 Mezclador tipo tambor

Los mezcladores que tienen un eje giratorio tienen un muy buen rendimiento de mezclado. En general están compuestos por un eje horizontal el cual gira y contiene una serie de paletas que son las responsables de hacer la mezcla, su forma de operar es muy similar al de una batidora de cocina.

Los tipos de mezcladores con eje horizontal depende de la cantidad de ejes con los que se cuenta existen los de un solo eje y los de dos ejes que son conocidos en el mercado como mezcladores con ejes gemelos, estos últimos son los más vendidos en el mercado debido a su fácil adaptación de los dos ejes para la descarga. En la figura 2.10 se muestra un mezclador de ejes paralelos horizontales en una vista frontal donde se muestra la disposición de salida del material.

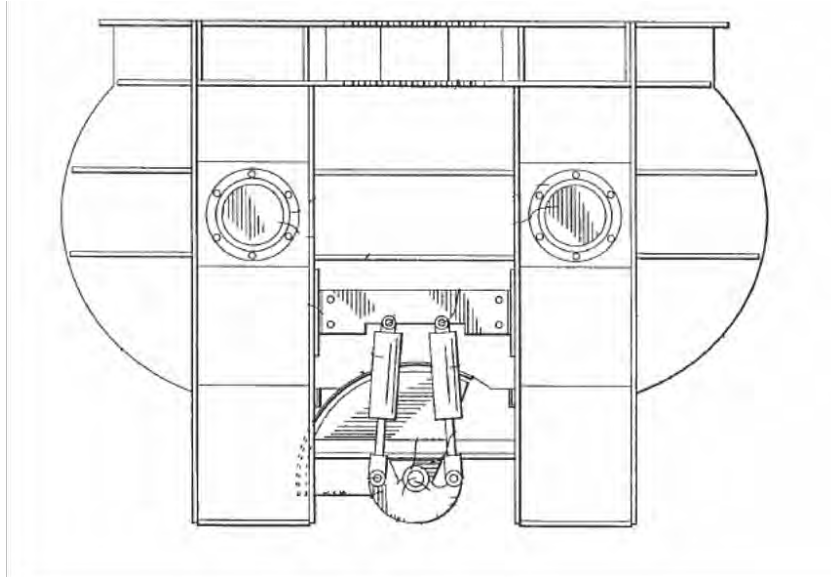


Figura 2.10 Mezclador ejes horizontales

Los otros tipos de mezcladores que se encuentran en el mercado son los tipo pipa que son muy similares a los de tambor solo que en dimensiones muy grandes para volúmenes de 20 m³ de concreto. Existen también los mezcladores para plantas mezcladoras de concreto los cuales van desde el orden de producción de 150-300 m³ de concreto por hr.

De acuerdo a las especificaciones de rendimiento y las necesidades de producción se tomaran en cuenta la comodidad, portabilidad durabilidad, operatividad de la máquina, sencillez, etc. Teniendo como resultado una serie de características y requerimientos de la maquinaria.

- Necesidades de producción
 - Mezclar de cuatro a ocho bultos de cemento en una batida.
- Tipo de cemento a mezclar
 - Cemento portland
- Límite de resistencia que puede mezclar
 - Resistencia concreto $f'c$ 250
- Lugar de mezclado
 - Portabilidad
 - Mezclado en sitio
- Número de operarios
 - Dos a tres operarios
 -
- Material de construcción
 - Acero con altas propiedades a la abrasión
- Peso total de la maquinaria
 - Entre dos y tres toneladas
- Dimensiones de boca de entrada del material (tolva de alimentación parte superior)
 - Longitud entre 2-3 metros
 - Ancho 1.5-2.0 metros
- Longitud total de la máquina
 - Aproximadamente 3 metros
- Paro de emergencia
- Tiempo de mezclado
 - Aproximadamente 5 min. Por cada ciclo de mezclado

Con los atributos de rendimiento antes mencionados, así como las diferentes características que se desea tenga la maquinaria, se puede realizar una tabla donde se aprecian todas las especificaciones. Esta tabla contiene todas las condiciones que debe satisfacer la propuesta de diseño. Dejando claro que algunos requerimientos son “demandas” y otros se pueden tomar como “deseables”.

Se busca que las “especificaciones de rendimiento” se expresen en términos cuantificables. Como por ejemplo la especificación que encierra al peso total de la maquinaria. Como se muestra en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Mezclador ejes horizontales

		ESPECIFICACIONES Mezclador de concreto		Página 1
Cambios	R:Requerido D: Deseable	Requerimientos		Responsable
	R	1 Necesidades de producción	-Mezclar 4-8 bultos por batida - ½ -1 m ³ de concreto	
	D	2 Tiempo de mezclado	- Máximo cinco minutos	
	R	3 Tipo de concreto y cemento	- Concreto hidráulico - Cemento tipo portland	
	R	4 Tipo de cemento	- Cemento tipo portland	
	R	5 Resistencia del concreto	- Límite de resistencia f'c 250	
	D	6 Lugar de mezclado	- Mezclado en sitio - Máquina portable	
	D	7 Número de operarios	- De dos a tres operadores	
	R	8 Material de construcción	- Acero con altas prestaciones a la abrasión	
	R	9 Dimensiones tolva de alimentación (parte superior)	- Largo 2-3 metros - Ancho 1.5 - 2 metros	
	D	10 Longitud total de la máquina	- Aproximadamente 3 metros	
	D	11 Peso total de la máquina	- Entre 2-3 toneladas	
	R	12 Paro de emergencia	- Sí	

El determinar las características, de un producto puede ser complicado, ya que existe una estrecha relación entre características y atributos del producto. El ramo gerencial y el investigador de mercado al lanzar un nuevo producto tiende a enfocarse casi siempre en el punto de vista de los clientes, resaltando con esto los atributos del producto, en cambio por parte del diseñador se concentra en las características de la ingeniería del producto (propiedades físicas, mecánicas, eléctricas, térmicas, etc).

En general las características de ingeniería determinan los atributos del producto que finalmente satisfacen las necesidades del cliente. Debido a la alta competitividad de mercado es necesario entender cuáles son las necesidades del cliente en términos de atributos del producto para poder llegar las características necesarias de ingeniería. Para poder lograr un equilibrio entre características de ingeniería y atributos del producto es necesario atender lo que comúnmente se conoce como “escuchar la voz del cliente”, elevando con esto la calidad del producto y en consecuencia tener un éxito comercial del mismo.

Los pasos que se seguirán para establecer las características y establecer las metas en la ingeniería de un producto satisfaciendo las necesidades del cliente son:

1. Identificar los requerimientos del cliente en atributos del producto
2. Determinar la importancia relativa en los atributos
3. Evaluar los atributos de los productos de la competencia
4. Dibujar una matriz de atributos del producto contra las características de ingeniería.
5. Identificar relaciones entre características y atributos de un producto
6. Identificar interacciones entre las características de ingeniería
7. Fijar cifras “metas” de deben alcanzarse en las características de ingeniería

Para poder determinar los requerimientos del cliente es decir los atributos que quieren tenga la maquinaria es necesario hacer una investigación de campo obteniendo como principales los siguientes:

- Tiempo de mezclado menor la que se hiciera manualmente
- Maquinaria similar oscila en los cinco minutos para hacer la mezcla
- Sencilla operación
- Sencilla reparación
- Máquina duradera
- Bajo costo de reparación
- Fácil limpieza
- Mezclar alrededor de un metro cubico de concreto.

- Fácil de cargar material con maquinaria pesada
- Sea móvil la máquina
- Puede ponerse sobre un camión o una camioneta
- Número de operarios reducidos
- Uso continuo (Se pueda trabajar todo el día la maquinaria)

2.1.5 Generación de alternativas

Después de tener claro cuáles son los objetivos de diseño así como establecer las funciones que llevan a los requerimientos y características, es indispensable llegar a la generación de soluciones o posibles soluciones.

La generación de soluciones es el aspecto esencial y central en el diseño. El fin de todo diseño es el hacer la propuesta de algo nuevo que todavía no existe o algo que se busca mejorar. Mucho de lo que se diseña en realidad no son productos o máquinas que surgen de manera espontánea de la mente del diseñador en general la mayor parte de los diseños son una variante o una modificación de un producto que ya existe.

Los clientes y los consumidores finales, por lo general, prefieren las mejoras a las innovaciones, dejándose llevar con esto en el viejo dicho que es mejor *malo por conocido que bueno por conocer*.

Una actividad importante de la actividad del diseño es hacer variantes sobre temas establecidos. Y la creatividad puede verse en muchos casos como un nuevo arreglo o una combinación de los elementos existentes. Este reordenamiento creativo es factible debido a que es posible combinar un número relativamente pequeño de elementos en un gran número de formas diferentes. Este número de diferentes arreglos se convierte en una “explosión combinatoria” de posibilidades. El método del diagrama morfológico explota este fenómeno motivando al diseñador a identificar combinaciones novedosas de elementos y componentes.

El diagrama morfológico presenta toda una gama completa de elementos, componentes o soluciones secundarias que pueden combinarse para formar una solución. El número de combinaciones generalmente es muy elevado. Además de incluir las soluciones convencionales existentes contienen una amplia gama de variantes y soluciones completamente novedosas. El principal propósito de este método es ampliar la búsqueda de nuevas soluciones posibles. Como la morfología estudia la forma por lo tanto este diagrama o análisis busca sistemáticamente analizar la forma que puede llegar a asumir un producto o una máquina siendo con esto el diagrama morfológico el resumen de este análisis.

Los pasos para realizar el diagrama morfológico son los siguientes:

- Hacer lista de de características o funciones esenciales para la maquinaria
- Escribir los medios por los cuales cada característica o función se puede realizar
- Elaborar un diagrama que contenga todas las soluciones secundarias posibles
- Identificar las combinaciones factibles de soluciones secundarias

En sí el método del diagrama morfológico genera una gama completa de soluciones alternativas de diseño para un producto y ampliar con esto la búsqueda de nuevas soluciones potenciales.

De acuerdo con la investigación que se ha realizado y con las distintas funciones que debe satisfacer el mezclador de concreto se observa que la gama de alternativas para las distintas características ingenieriles y requerimientos son (Tabla 2.2):

Tabla 2.2 Mezclador ejes horizontales

		Diagrama morfológico de mezcladora de concreto			
Soluciones		1	2	3	4
Funciones secundarias					
1	Soporte	Fijo en el lugar de mezclado	Móvil ruedas independientes	Móvil sobre un camión	
2	Energía	Electrica	Gasolina	Diesel	Gas
3	Transmisión	Engranés	Bandas	Cadenas	Hidráulica
4	Motor	Eletrico	Combustión interna	Hidráulico	
5	Sistema detencion	Frenos mecánicos	frenos hidráulico	Mecanismo trinquete	Paro a través del mismo motor
6	Posición del operador	Sentado	Parado	Caminando	Control remoto
7	Tipo mezclador	Tambor	Eje horizontal paletas	Eje horizontal bandas	
8	Ingreso de material	Manualmente	Por bandas	Por maquinaria	

Tomando en cuenta el diagrama morfológico se pueden modelar o dibujar en un software para dibujo las diferentes variantes que pueden existir para el diseño del mezclador. Como el objetivo más importante es *mezclar*, se enfocará el diseño en el propio mezclador dejando por un momento de lado los demás componentes periféricos los cuales se pueden adquirir en el mercado tal es el caso de los motores, el sistema de transmisión o frenado.

Una vez realizado el diagrama morfológico se pueden escoger una gran cantidad de variantes en el diseño. Que posteriormente se tomaran en cuenta o formarán parte de las posibles soluciones del diseño.

En la figura 2.11 se muestra un bosquejo de cómo podría comportarse un mezclador de eje horizontal que esté formado por una hélice y cómo podría comportarse la mezcla de acuerdo a la propia morfología del mezclador. Suponiendo de acuerdo a la experiencia que si el responsable de hacer el mezclado es la hélice ésta trabajará muy parecido a un tornillo sinfin empujando la mezcla en dirección al eje (horizontal) hacia un extremo del mezclador obligando con esto que la descarga del material sea por un lado de la máquina.

Debido a que este tipo de mezclador empujaría la mezcla hacia un solo sentido del mezclador se deberá tomar en cuenta el diseño de la hélice o rosca para que el empuje no exceda las capacidades mecánicas del eje, teniendo en cuenta que la mezcla no llegue en una sola revolución de un extremo al otro. Por tal motivo es necesario que la tolva de llenado por donde ingresará el material se encuentre en el extremo contrario de la salida de la mezcla.

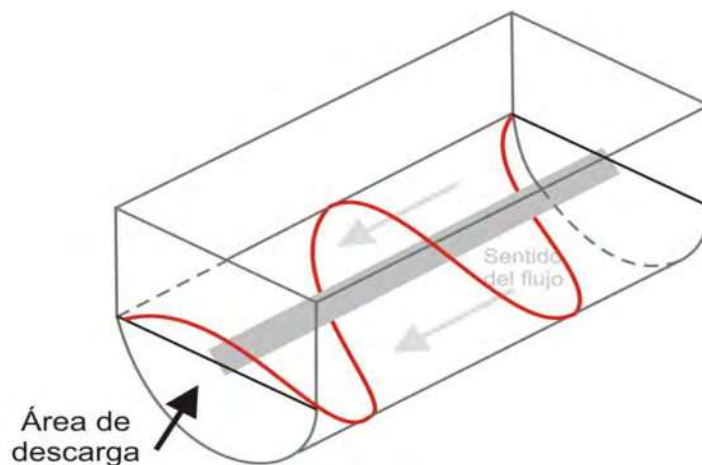


Figura 2.11 Mezclador eje horizontal con hélice

En la figura 2.12 se muestra el mezclador con un eje horizontal con paletas. En este tipo de mezclador las paletas son las que hacen la mezcla pero a diferencia de la hélice estas se supone no envían el material a mezclar hacia una dirección en específico. Es decir combinarán todo el material levantándolo y dejándolo caer pero no lo llevaran hacia un extremo del contenedor.

En el mezclador con paletas se pretende que la mezcla se haga en todas las regiones del contenedor. Lo que se busca es que el concreto fresco este viajando por todos los espacios del contenedor para asegurar una mezcla homogénea. Como la mezcla no se concentra un solo sitio es necesario que la descarga se haga por la parte inferior o parte superior pero no por los extremos del mezclador.

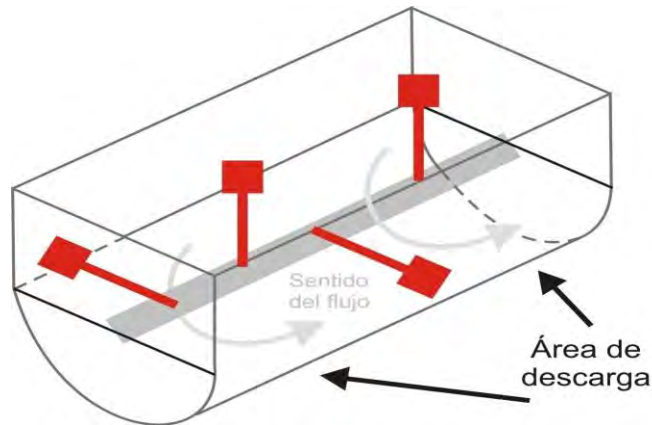


Figura 2.12 Mezclador ejes horizontal con paletas

De acuerdo al tipo de mezclador en las figuras siguientes se mostrará el modelado del sólido de las diferentes alternativas de ejes que se han contemplado para la generación de soluciones. Dejando de un lado el modelo de los mezcladores tipo tambor ya que son los más conocidos y su fabricación sería prácticamente como los conocemos.

En la figura 2.13 se muestra una parte del mezclador con ejes horizontales que está formado por una hélice. Con este tipo de hélice se busca que el mezclado aparte de ir rotando o alrededor del contenedor la misma mezcla vaya avanzando para que posteriormente se expulse por un extremo del mezclador.

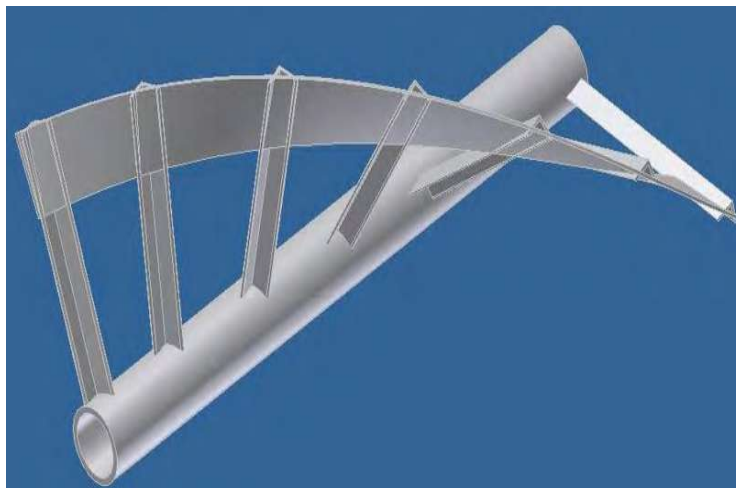


Figura 2.13 Mezclador ejes horizontales hélice

En la figura 2.14 se muestra el mismo eje horizontal pero ahora con tres hélices. Se supone este tipo de configuración porque si tuviera solo una hélice quedaría un tiempo considerable el contenedor para volver a mezclar los materiales. Se supone que con las tres hélices durante todo momento el material se estaría mezclando cuando una o dos hélices estén fuera del material la otra faltante será la responsable de hacer la mezcla.

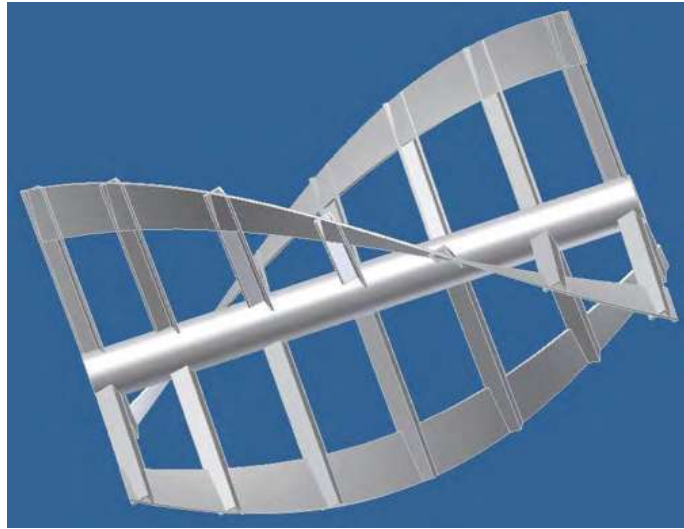


Figura 2.14 Mezclador ejes horizontal hélice con tres aspas

En la figura 2.15 se muestra el modelado del sólido de un eje horizontal con paletas. En esta figura se muestra el eje completo con cuatro paletas en cada sección. Haciendo las mismas suposiciones para esta configuración como se hizo con las de hélice, esperando que en todo momento se esté mezclando el material.

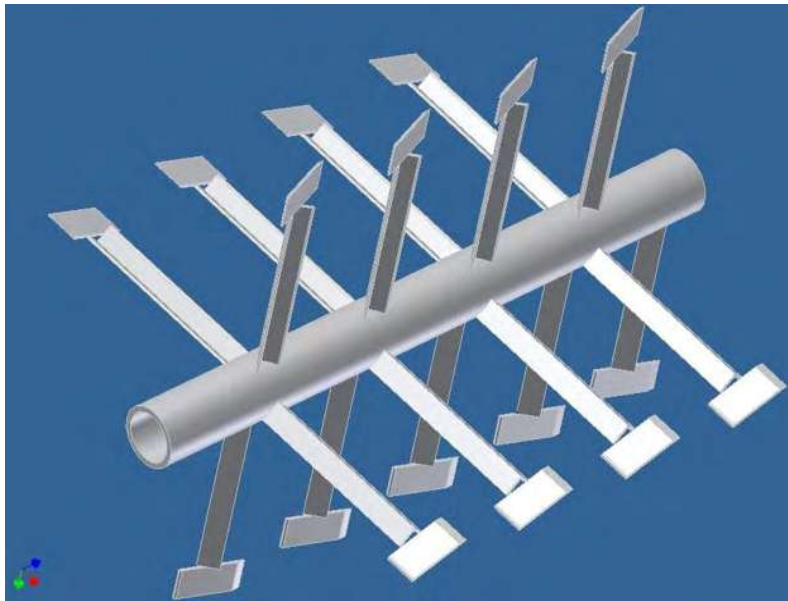


Figura 2.15 Mezclador ejes horizontal con paletas

2.1.6 Evaluación de alternativas

Después de haber creado los diseños alternativos se debe seleccionar el que se considere como la mejor variante. La selección se puede hacer basándose en conjeturas, intuición o en la experiencia que se tiene en el diseño. Pero siempre es necesario y recomendable que se haga a partir de un procedimiento lógico y abierto. Es decir las propuestas de diseño puedan verificarse contra los criterios establecidos por el método de especificación de rendimiento, y si los objetivos se establecen mediante el método del árbol de objetivos, entonces se pueden utilizar en la evaluación de diseños alternativos.

La evaluación de alternativas sólo puede hacerse si se toman en consideración los objetivos que debe alcanzar el diseño. Evaluar determina el valor o utilidad global de una propuesta de diseño con relación a los objetivos de diseño. Pero se puede dar el caso que cada objetivo tenga diferente valor considerándolo más importante.

Se utilizará el método de los *objetivos ponderados*, que asigna pesos numéricos a los objetivos y calificaciones a los rendimientos de los diseños. Los criterios para hacer la evaluación se basan en los objetivos de diseño, es decir, lo que se quiere que logre la máquina. Para asignar las ponderaciones relativas de la máquina respecto a los objetivos se toman en cuenta cuatro objetivos generales: producción, construcción, reparación y operación. Como se muestra en la tabla 2.3

Tabla 2.3 Mezclador ejes horizontales

Objetivos	A	B	C	D	E	Total
Producción "A"	-	1	1	1	1	4
Construcción "B"	0	-	0	1	1	2
Reparación "C"	0	1	-	0	1	2
Operación "D"	0	0	0	-	1	1
Limpieza "E"	0	0	0	0	0	0

Los objetivos se ordenan en una tabla, comparándose unos contra otros, es decir cual se considera más importante entre ellos, el que obtenga la mayor cantidad de puntos será el que tenga mayor importancia. Se forma un matriz con los valores después se procede a hacer una ecuación lineal, donde la suma de las ponderaciones de todos los objetivos debe dar uno, para tener el 100%.

Con los resultados obtenidos se asigna un valor numérico a cada objetivo representando su peso es decir su ponderación relativa, obteniendo su posición por medio de equivalencia como se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Mezclador ejes horizontales

Escala	Objetivo
10	A
9	
8	
7	
6	
5	B,C
4	
3	
2	D
1	

Una vez obtenida la equivalencia correspondiente se puede desarrollar una ecuación lineal, tomando en cuenta que el objetivo A de acuerdo a la escala de puntos tiene el doble del valor que el objetivo B y C, pero estos últimos también tienen el doble de puntos que el objetivo D. Debido a que la escala es del uno al diez y no tiene valores intermedios es decir decimales el objetivo D se pone con un valor de diez pero en realidad tiene un valor de 2.5 de acuerdo a la comparación inicial de objetivos.

$$\text{Objetivo A} + \text{Objetivo B} + \text{Objetivo C} + \text{Objetivo D} = \text{Unidad}$$

$$10x + 5x + 5x + 2.5x = 1$$

$$x = 0.0444$$

Cuando se resuelve la ecuación se puede tener el porcentaje de cada objetivo, simplemente sustituyendo el valor de “x” en la ecuación. El porcentaje de los objetivos se muestra en la tabla 2.5 como ponderaciones relativas

Tabla 2.5 Mezclador ejes horizontales

Objetivos	A	B	C	D	E
Ponderación relativa	0.44	0.22	0.22	0.12	0.00

Con los datos obtenidos de las ponderaciones relativas se puede construir un árbol de objetivos asignando pesos relativos a objetivos secundarios, como se muestra en siguiente diagrama (Fig. 2.16).

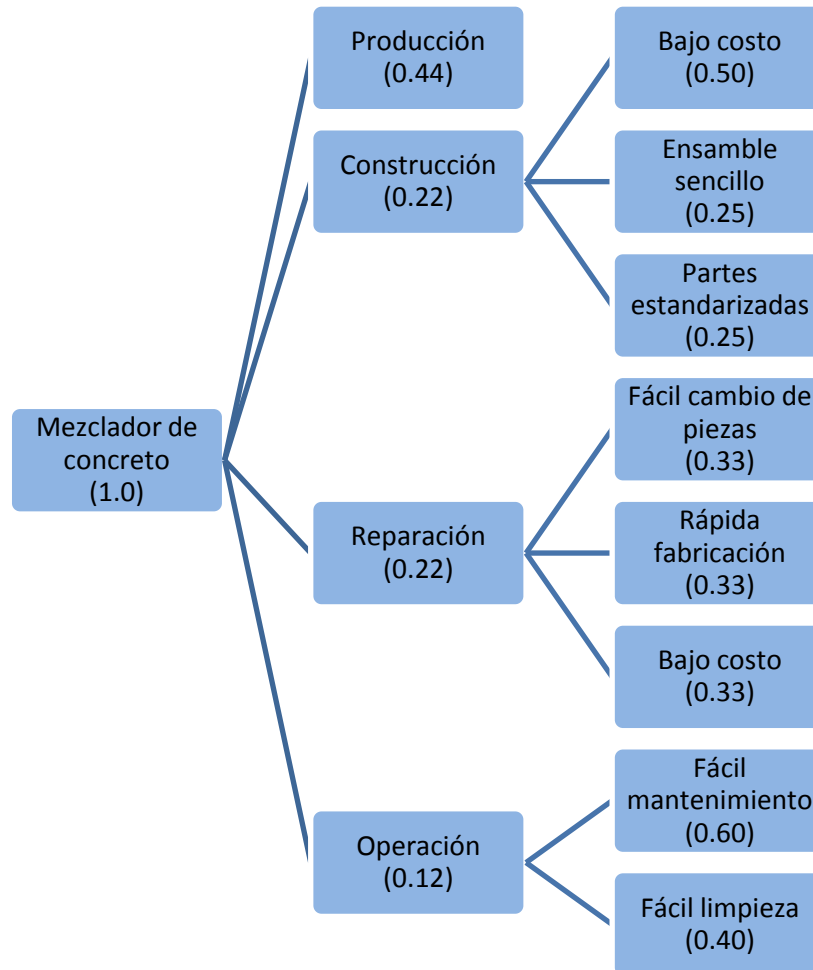


Figura 2.16 Diagrama de ponderaciones de objetivos

Una vez obtenidos los pesos relativos de cada objetivo se establecen los parámetros de rendimiento o calificaciones de utilidad para cada uno de ellos. En ocasiones no se pueden medir los objetivos o no se tienen los datos para hacerlo, pudiéndose estimar a partir de experiencias previas, con dicho tipo de máquina. Cuando estos parámetros no se pueden medir es posible asignar calificaciones de utilidad estimadas en una escala de puntos. Teniendo como la escala más sencilla la que tenga cinco grados, representando los siguientes niveles de rendimiento.

1. Muy por debajo del promedio
2. Debajo del promedio
3. Promedio
4. Arriba del promedio
5. Muy por arriba del promedio

La escala de cinco puntos se mide de (0-4), si se quiere una escala más exacta se pueden utilizar escalas de nueve u once puntos. De acuerdo a los objetivos de diseño planteados anteriormente se tienen las siguientes tablas donde se miden los objetivos de acuerdo a un parámetro de rendimiento.

Para el objetivo de producción el parámetro de rendimiento se hará de acuerdo a los bultos que se puedan producir con cada tipo de maquinaria es decir la cantidad de bultos de cemento que se puedan mezclar. Como se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6 Mezclador ejes horizontales

Escala puntos	Sacos de cemento
0	1 Bulto
1	2 Bultos
2	3 Bultos
3	4 Bultos
4	5 Bultos

El objetivo de construcción tiene tres vertientes: bajo costo, ensamble sencillo y partes estandarizadas. Haciendo las correspondientes tablas evaluando sus parámetros de diseño; quedando como se muestran a continuación (Tabla 2.7): poca

Tabla 2.7 Mezclador ejes horizontales

Escala puntos	Bajo costo	Escala puntos	Ensamble sencillo	Escala puntos	Partes estandarizas
0	Muy caro	0	Muy complicado	0	Ninguna
1	Caro	1	Complicado	1	Pocas
2	Adecuado	2	Satisfactorio	2	Intermedias
3	Barato	3	Sencillo	3	Suficientes
4	Muy Barato	4	Muy sencillo	4	Muchas

En el objetivo de reparación se tuvieron tres divisiones: fácil cambio de piezas, rápida fabricación y bajo costo al reparar (Tabla 2.8).

Tabla 2.8 Mezclador ejes horizontales

Escala puntos	Fácil cambio de piezas	Escala puntos	Rápida fabricación	Escala puntos	Bajo Costo
0	Muy difícil	0	Muy tardado	0	Muy caro
1	Difícil	1	Tardado	1	Caro
2	Promedio	2	Promedio	2	Adecuado
3	Fácil	3	Rápido	3	Barato
4	Muy Fácil	4	Muy Rápido	4	Muy Barato

El objetivo de operación se dividió en dos secciones: fácil mantenimiento y fácil limpieza de piezas (Tabla 2.9):

Tabla 2.9 Mezclador ejes horizontales

Escala puntos	Fácil mantenimiento	Escala puntos	Fácil limpieza de piezas
0	Muy difícil	0	Muy difícil
1	Difícil	1	Difícil
2	Promedio	2	Promedio
3	Fácil	3	Fácil
4	Muy Fácil	4	Muy Fácil

Una vez hecha la ponderación de todos los objetivos primarios y secundarios, se hará una tabla donde se muestren todos los objetivos y el valor obtenido de acuerdo a la medición de de cada parámetro.

En primer lugar se hará el diagrama de evaluación para el mezclador con aspas o paletas que se nombrará como alternativa # 1. Donde la suma del peso de todos los objetivos es decir los criterios de evaluación tiene que ser igual a uno; y la suma de los pesos ponderados debe acercarse a uno, entre más se acerque a la unidad se puede decir que la opción es la correcta (Tabla 2.10).

Tabla 2.10 Mezclador ejes horizontales

Diagrama de evaluación para mezclador de aspas o paletas “Alternativa # 1”					
Criterio de evaluación	Peso w	Parámetro	Magnitud	Valor Esc.	Peso ponderado
1.- Producción	0.440	Bultos	5 Bultos	4	1.760
2.- Bajo costo (Constr.)	0.111	Caro/Barato	Adecuado	2	0.222
3.- Ensamble sencillo	0.055	Complicado/Sencillo	Sencillo	3	0.165
4.- Partes estandarizadas	0.055	Pocas/Muchas	Muchas	4	0.220
5.- Cambio de piezas	0.073	Difícil/ Fácil	Fácil	3	0.219
6.- Rápida fabricación	0.073	Tardada/Rápida	Rápida	3	0.219
7.- Bajo costo (Rep.)	0.073	Caro/Barato	Barato	3	0.219
8.- Fácil mantenimiento	0.072	Difícil/Fácil	Fácil	3	0.216
9.- Fácil limpieza	0.048	Difícil/Fácil	Fácil	3	0.144
	$\Sigma = 1$				$\Sigma wp = 3.384$

En la tabla 2.11 se muestra la alternativa #2 que es el mezclador de hélice helicoidal. Y en la tabla 2.12 se muestra la alternativa #3: el mezclador tipo olla. Teniendo todas las alternativas los mismos parámetros de evaluación.

Tabla 2.11 Mezclador ejes horizontales

Diagrama de evaluación para mezclador de hélice helicoidal “Alternativa # 2”					
Criterio de evaluación	Peso w	Parámetro	Magnitud	Valor Esc.	Peso ponderado
1.- Producción	0.440	Bultos	5 Bultos	4	1.760
2.- Bajo costo (Constr.)	0.111	Caro/Barato	Adecuado	2	0.222
3.- Ensamble sencillo	0.055	Complicado/Sencillo	Satisfactorio	2	0.110
4.- Partes estandarizadas	0.055	Pocas/Muchas	Intermedias	2	0.110
5.- Cambio de piezas	0.073	Difícil/ Fácil	Difícil	1	0.073
6.- Rápida fabricación	0.073	Tardada/Rápida	Promedio	2	0.146
7.- Bajo costo (Rep.)	0.073	Caro/Barato	Adecuado	2	0.146
8.- Fácil mantenimiento	0.072	Difícil/Fácil	Promedio	2	0.144
9.- Fácil limpieza	0.048	Difícil/Fácil	Promedio	2	0.096
	$\Sigma = 1$				$\Sigma wp = 2.807$

Tabla 2.12 Mezclador ejes horizontales

Diagrama de evaluación para mezclador tipo olla “Alternativa # 3”					
Criterio de evaluación	Peso w	Parámetro	Magnitud	Valor Esc.	Peso ponderado
1.- Producción	0.440	Bultos	2 Bultos	1	0.440
2.- Bajo costo (Constr.)	0.111	Caro/Barato	Adecuado	2	0.222
3.- Ensamble sencillo	0.055	Complicado/Sencillo	Complicado	1	0.055
4.- Partes estandarizadas	0.055	Pocas/Muchas	Suficientes	3	0.165
5.- Cambio de piezas	0.073	Difícil/ Fácil	Promedio	2	0.146
6.- Rápida fabricación	0.073	Tardada/Rápida	Promedio	2	0.146
7.- Bajo costo (Rep.)	0.073	Caro/Barato	Adecuado	2	0.146
8.- Fácil mantenimiento	0.072	Difícil/Fácil	Fácil	3	0.216
9.- Fácil limpieza	0.048	Difícil/Fácil	Fácil	3	0.144
	$\Sigma w = 1$				$\Sigma wp = 1.680$

Una vez obtenida la suma de los pesos ponderados para cada alternativa, el resultado se tiene que dividir entre cuatro debido a que esa fue la escala de medición que se tomó. En la tabla 2.13 se muestran la comparación entre las tres opciones de mezclador.

Tabla 2.13 Mezclador ejes horizontales

Comparativas de los tres mezcladores		
Alternativas de mezcladores	Peso Σwp	Peso ponderado en relación con la unidad "WR"
1.- Alternativa No. 1	3.384	0.846
2.- Alternativa No.2	2.807	0.701
3.- Alternativa No.3	1.680	0.420

En la tabla de comparativa se observa que la opción número uno o alternativa número uno es la mejor ya que tiene un 84.6 % de puntos buenos que se buscaban en los objetivos ponderados. La alternativa número dos se acerca con un 70 % pero aún así es mejor la opción número uno. La alternativa número tres: mezclador de concreto tipo olla. Está muy por debajo de los objetivos buscados.

En la gráfica de la figura 2.17. Se muestra el resultado de las ponderaciones de las tres opciones pudiéndose observar con claridad que la mejor opción es la alternativa número uno.

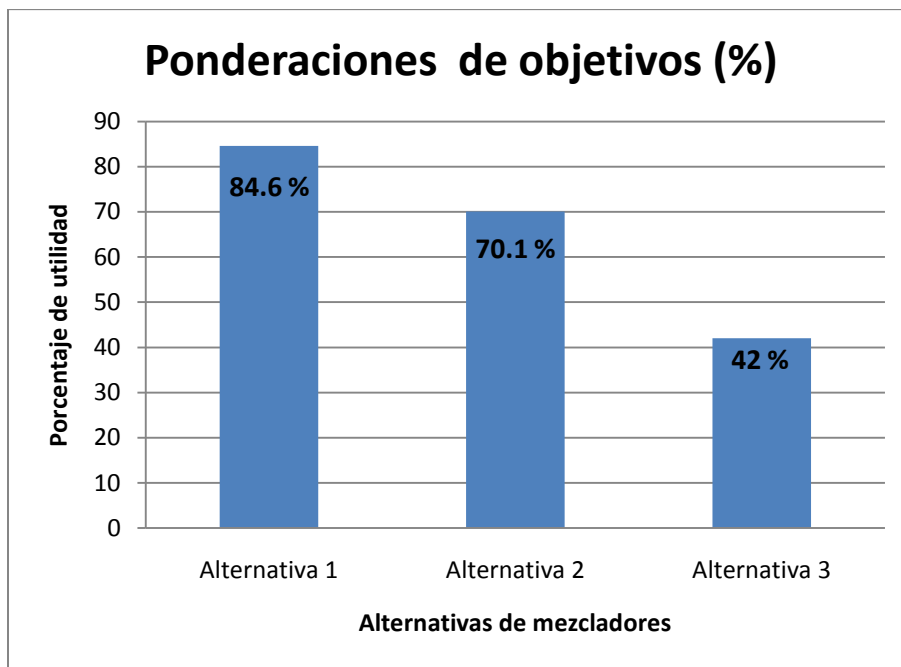


Figura 2.17 Resultado de ponderaciones de alternativas

2.2 Diseño de detalle

2.2.1 Introducción

Una vez obtenido el diseño final tomando en cuenta el proceso de diseño se harán los análisis pertinentes para validar la propuesta final de diseño. Los análisis a los que será sujeto el mezclador serán: análisis estructural, análisis del movimiento del fluido.

El diseño final o la alternativa que se escogió: fue el mezclador de concreto con paletas. En la figura 2.18 se muestra el modelado del sólido de la decisión final de diseño.

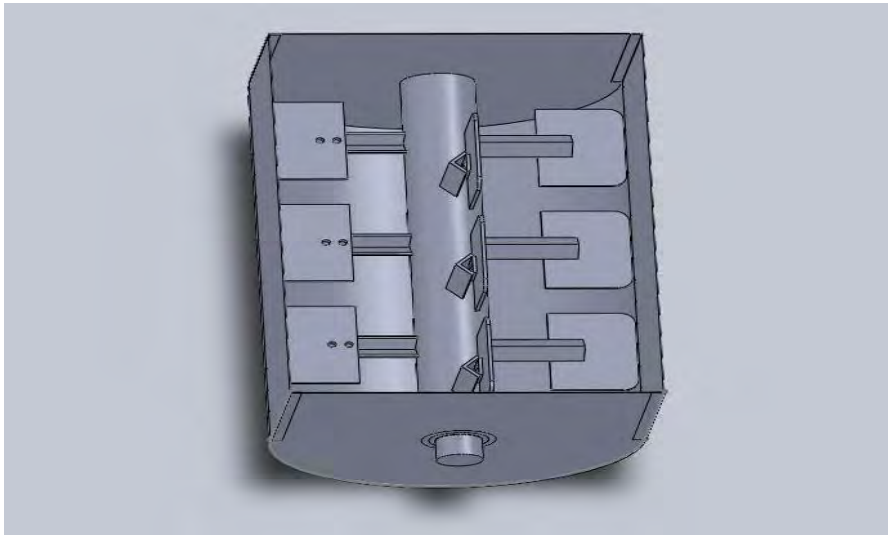


Figura 2.18 Diseño final del mezclador

Con el análisis estructural se buscará que las fuerzas aplicadas en el mezclador no excedan los esfuerzos permisibles del material a utilizar. Para hacer el análisis de esfuerzos y deformaciones se usará el método por elementos finitos.

Para analizar los resultados se tomará en cuenta el criterio de la máxima energía de deformación también conocido como el criterio de Von-Mises. Es una teoría de fallo dentro de la ingeniería estructural y es buen indicador de un buen desempeño de la estructura, teniendo como resultado un buen diseño en el caso de materiales dúctiles.

Debido a que en el método por elemento finito es muy importante el mallado del cuerpo que se desea analizar, se dará una breve introducción acerca del mallado.

2.2.3 Análisis estructural

Una parte de vital importancia antes de iniciar con el análisis estructural es el mallado del elemento. Como se menciona con anterioridad es necesario tener un mallado homogéneo y con un tamaño de elemento adecuado. En la figura 2.19 se muestra uno de los mallados iniciales preparando la pieza para hacer el análisis estructural. Durante las pruebas de mallado se busca que sea lo más homogéneo posible.

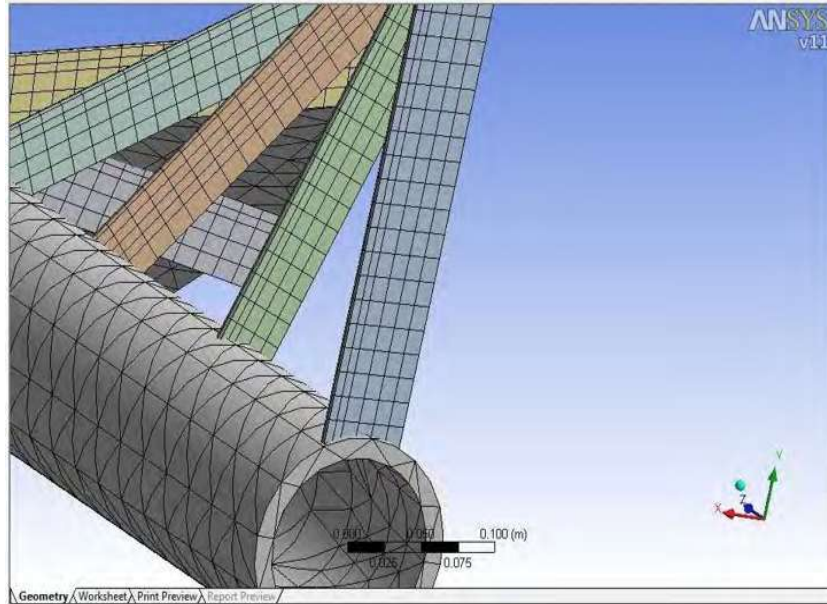


Figura 2.19 Mallados iniciales “preliminares”.

Los mallados preliminares que se logran obtener son de muy buena calidad, siendo estos de un tamaño de elemento muy adecuado con el tamaño del sólido a modelar, teniendo tamaños de elementos muy similares entre ellos. En la figura 2.19 se observa que se tienen mallados muy homogéneos, teniendo como resultado que la simulación obtenida tendrá un comportamiento muy parecido con la realidad.

El mallado tetraédrico es el más utilizado en la simulación estructural, pero siempre es preferible poder obtener uno con hexaedros; ya que los hexaedros se pueden alinear con las direcciones de las fuerzas y los flujos que se desean estudiar, pero existe una gran restricción en su utilización debido a que en geometrías complicadas es muy difícil rellenar los cuerpos con este tipo de elementos, haciendo más fácil rellenarlas con tetraedros. Por tal motivo el tetraedro generalmente se utiliza en el interior de los cuerpos para llenar las cavidades más complicadas. Y para las orillas se utilizan hexaedros donde existen cambios de geometrías donde se puede seguir el patrón de la superficie de los cuerpos.

En las figuras 2.20 y 2.21 se muestra un refinamiento de malla. En la figura 2.20 se hace un mallado más burdo y en la figura 2.21 se refina la malla en las zonas donde se supone se pueden tener los esfuerzos más críticos. Además se busca que los elementos en la malla refinada sean homogéneos; es decir que el cambio de tamaño no sea drástico.

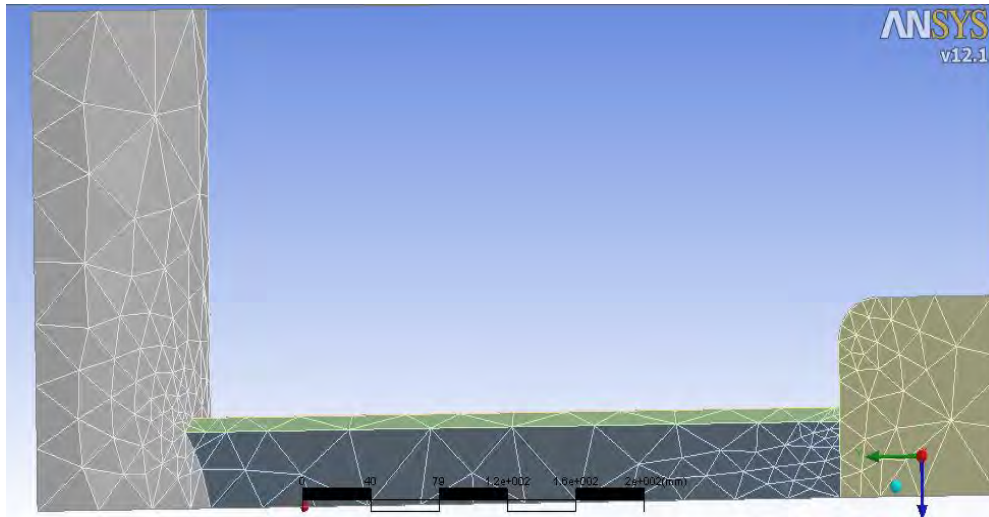


Figura 2.20 Mallado sin refinar

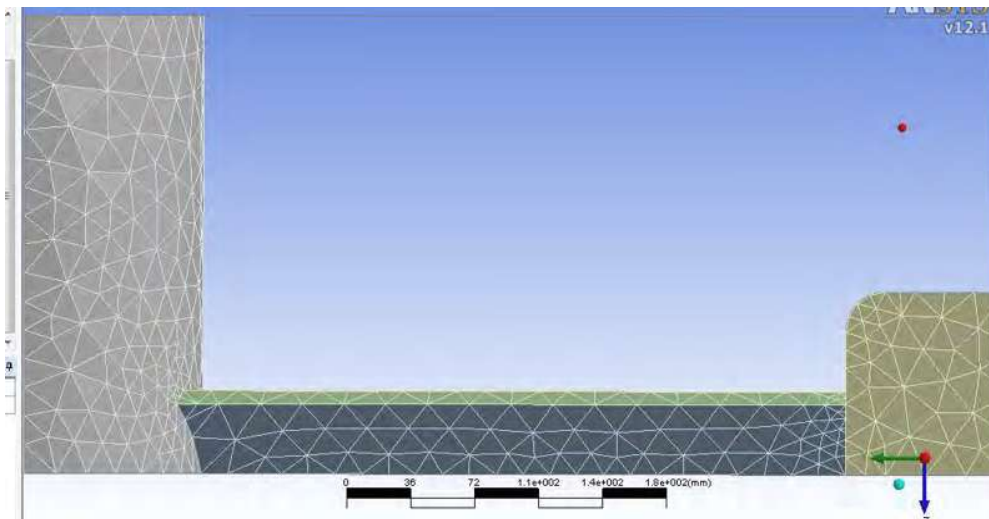


Figura 2.21 Mallado refinado

El mallado tetraédrico se puede generar rápida y automáticamente para geometrías complicadas. Prácticamente en dos pasos: definir el tamaño del elemento y crear la malla. El hacer un mallado con hexaedros se pueden utilizar un menor número de elementos lo

que es bueno para no requerir de grandes recursos de cómputo y reducir los tiempos del mismo. A demás de que a la vista se hace un mallado más limpio.

Una vez creado el mallado para el análisis estructural, se procede a introducir las condiciones de frontera para el posterior análisis.

Las fuerzas que se involucran en el análisis son: el peso total del concreto incluyendo agua, agregados pétreos, cemento. Considerando que el mezclador esta a la máxima capacidad. Como la distribución del peso sobre el mezclador se hace de forma uniforme es decir la posición y ubicación de las paletas mezcladoras es simétrica para evitar que las cargas y deformaciones se ubiquen en un cierto punto del mezclador. Por esta razón se supone que los esfuerzos se comportaran de manera similar en todo el eje de mezclado.

En las pruebas preliminares del análisis estructural se observa que el comportamiento de los esfuerzos sobre el eje es como lo esperado; ya que los esfuerzos se distribuyen a lo largo del eje de forma simétrica como se muestra en la figura 2.22.

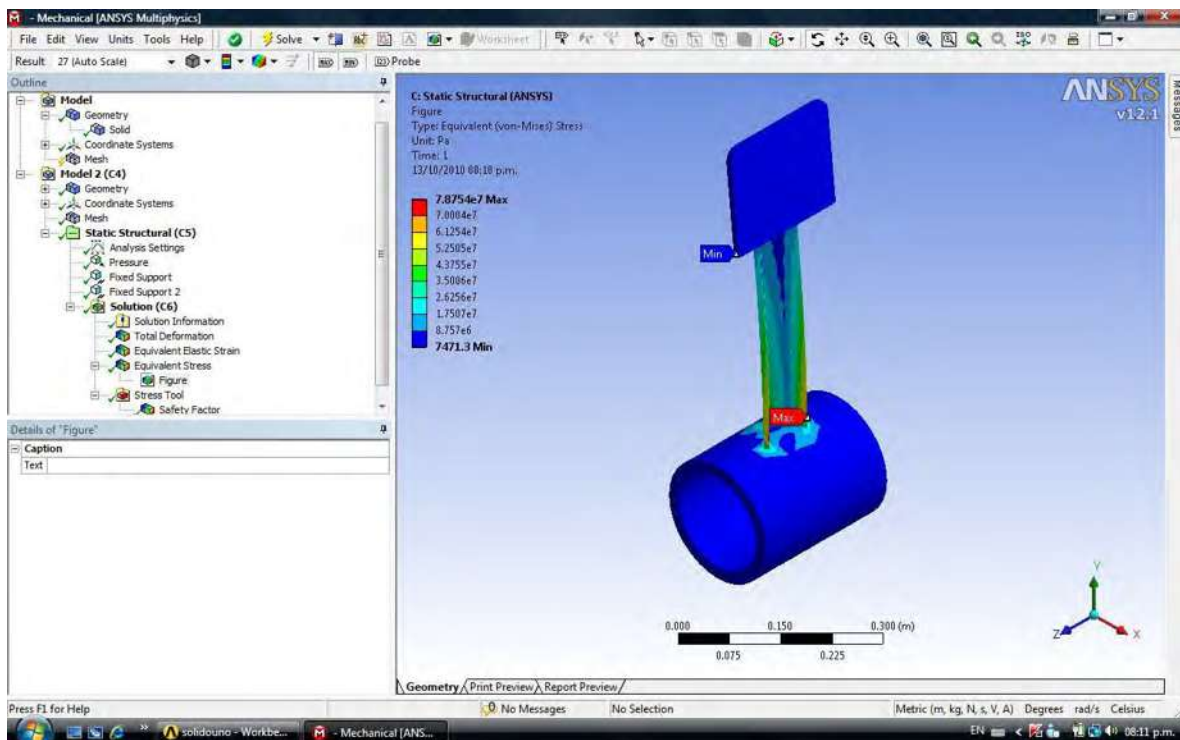


Figura 2.22 Análisis de esfuerzos en paleta

Para simplificar el análisis así como para reducir los requerimientos de prestaciones computacionales durante el mismo. El problema se puede discretizar en el análisis de una sola paleta, como anteriormente se dijo todo el eje de mezclado es simétrico; por esta razón

el análisis se puede disminuir considerablemente si se hace sobre una sola paleta. Considerando que los resultados obtenidos son equivalentes en todo el eje.

El análisis que se hizo sobre la paleta figura 2.22 se hizo aplicando una fuerza de la carga total de concreto dividida entre el número de paletas. Con esto se supone que la paleta solo trabaja en una cierta región del mezclador distribuyendo la carga total en las paletas que correspondan. La fuerza se aplica sobre la cara de la paleta y se restringe el eje, es decir se sujeta en sus extremos. Observando en la figura 2.23 que los esfuerzos máximos se sitúan en la base de la paleta.

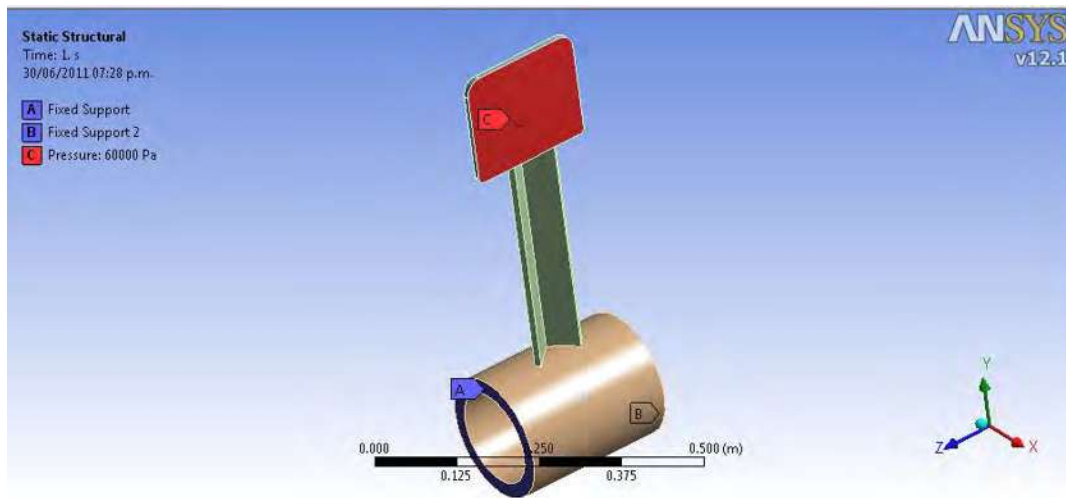


Figura 2.23 Restricciones para análisis estructural

2.2.4 Análisis del fluido

2.2.4.1 Turbulencia en CFX

Debido a que se busca que la mezcla se haga lo más rápida y homogénea posible, se pretende que exista una gran cantidad de turbulencia dentro del mezclador. Por tal motivo se hace una breve reseña de la turbulencia y como es que se usa en ANSYS.

La herramienta ANSYS tiene una gran variedad de tamaños de EDYS para ser utilizados en problemas de turbulencia. Teniendo como principales características:

- *Entre más grandes son los EDIIES disipan mayor energía.
- * La energía se transfiere de grandes EDIIES a pequeños EDIIES
- * En los EDDIES pequeños la energía turbulenta se convierte a energía interna por medio por la disipación viscosa.

Los tipos de flujo se pueden caracterizar de acuerdo al número de Reynolds

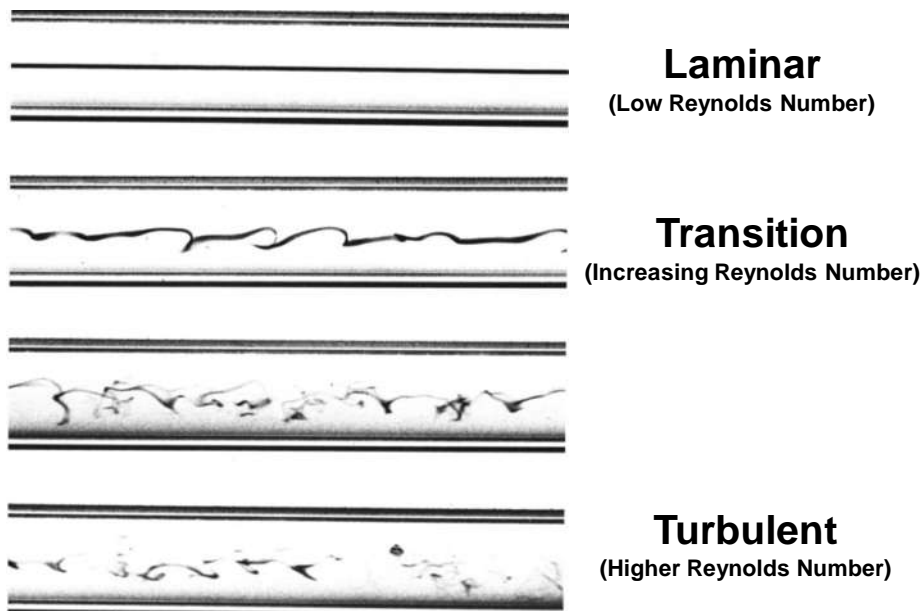


Figura 2.24 Tipos de flujos

Como se observa en la figura 2.24 se busca que el flujo dentro del mezclador sea turbulento y que tenga una gran cantidad de EDIIES. Es decir se supone que entre más turbulento el flujo la mezcla se puede hacer mejor y más rápida

El software ANSYS puede resolver modelos de Reynolds- Average Navier-Stokes (RANS models). Y todos los tipos de escala de turbulencia.

2.2.4.2 Mallado para el fluido

La simulación en CFD (Computational Fluid Dynamics) está integrada por CFX que es la simulación para fluidos en ANSYS, siendo este el software que se utilizara durante los análisis del prototipo. El propósito del mallado es descomponer el dominio de la solución en un número apropiado de localizaciones que permitan una solución más exacta.

El método que se usa para resolver los sistemas fluidos dinámicos es el método por elemento finito. La región del fluido a estudiar se descompone en un volumen de control finito. En la figura 2.25 se muestra con un elemento se malla o se descompone en una gran cantidad de elementos finitos los cuales se van a estudiar uno a uno para estudiar el comportamiento total del modelo.

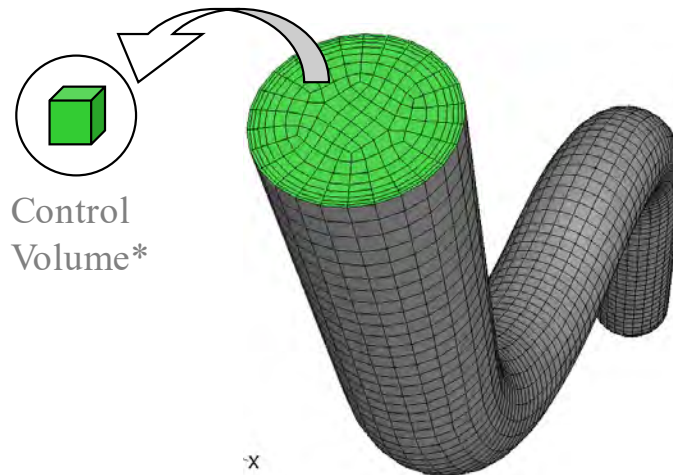


Figura 2.25 Volumen de control

Las ecuaciones generales de conservación de movimiento se utilizan en estos volúmenes de control, se resuelven y discretizan en un sistema línea algebraico que se puede resolver en computadora (Fig. 2.26).

$$\underbrace{\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \phi dV}_{\text{Unsteady}} + \underbrace{\oint_A \rho \phi \mathbf{V} \cdot d\mathbf{A}}_{\text{Advection}} = \underbrace{\oint_A \Gamma \nabla \phi \cdot d\mathbf{A}}_{\text{Diffusion}} + \underbrace{\int_V S_\phi dV}_{\text{Generation}}$$

Figura 2.26 Ecuaciones generales de conservación de movimiento

Después de hacer el mallado para el análisis estructural es decir para conocer los esfuerzos y deformaciones. Se procede a hacer el mallado para la simulación del fluido. Este mallado se debe de hacer lo más homogéneo posible para que los fenómenos físicos se alineen con el mismo.

Los mallados preliminares se hicieron con modelos muy básicos de geometrías para asegurar la solución del mismo. En la figura 2.27 se muestra un mallado básico del que se partió para generar mallados más complicados.

En la figura 2.27 se muestra el modelado del mallado, donde se pueden observar las condiciones de entrada y salida del fluido. Siendo este uno de los mallados más simples para observar el comportamiento del fluido

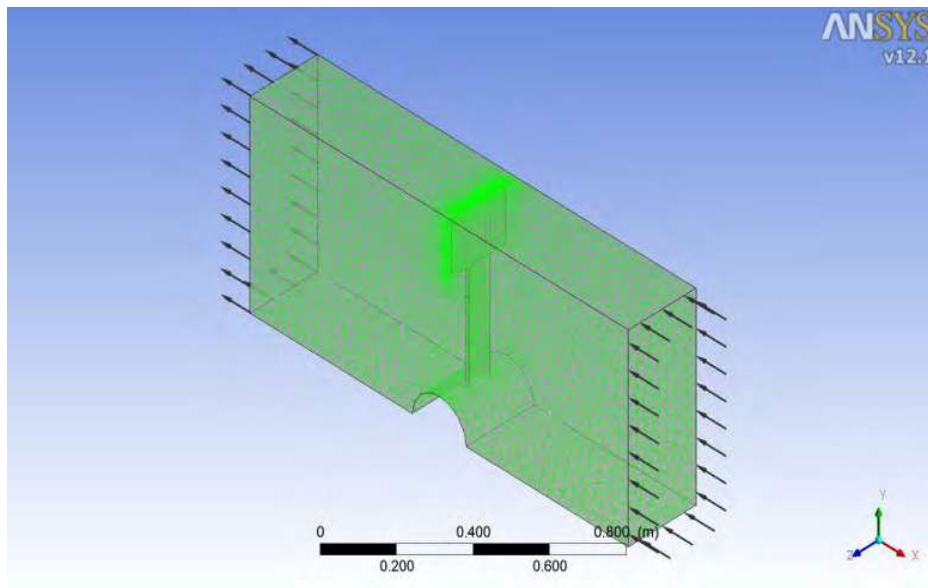


Figura 2.27 Mallado preliminar para análisis del fluido

En este primer prototipo de mallado se busca que el fluido entre y choque con la paleta durante su recorrido para ver la trayectoria que puede tomar y observar cual es el patrón de salida. La simplicidad del mallado es para que la convergencia del análisis sea lo más rápida y sencilla posible. Sirviendo como base para mallados más complicados.

En la figura 2.28 se observa que se tiene un mallado muy homogéneo el cual es válido para poder utilizarlo en las simulaciones del movimiento. En este mallado solo se procedió a mallar un cuarto de vuelta del mezclador, para posteriormente hacer el mezclador completo.

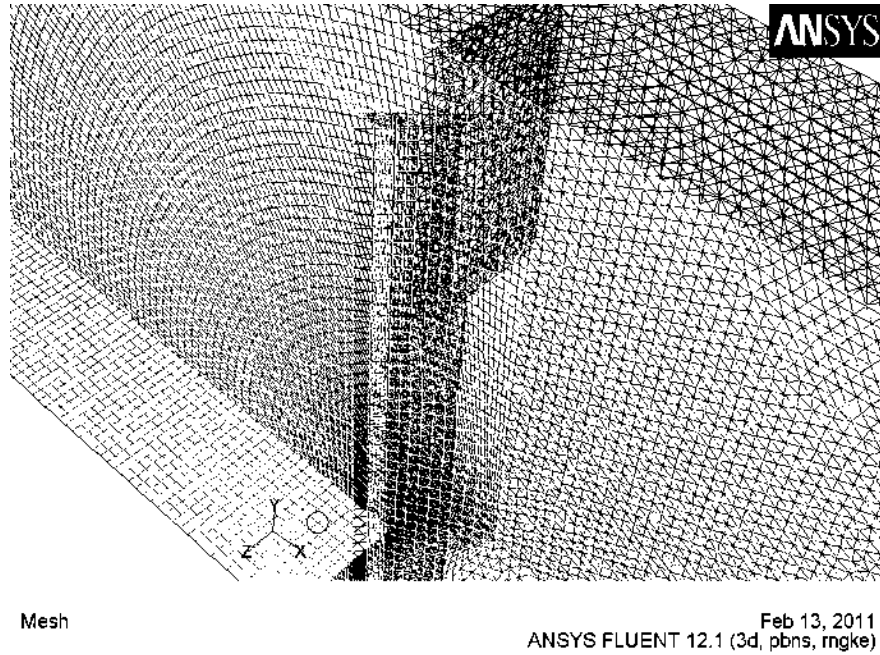


Figura 2.28 Mallado 2 para el fluido.

Posteriormente se fueron haciendo más complejos los mallados hasta acercarse al modelo deseado es decir a la morfología del mezclador (Fig. 2.29).

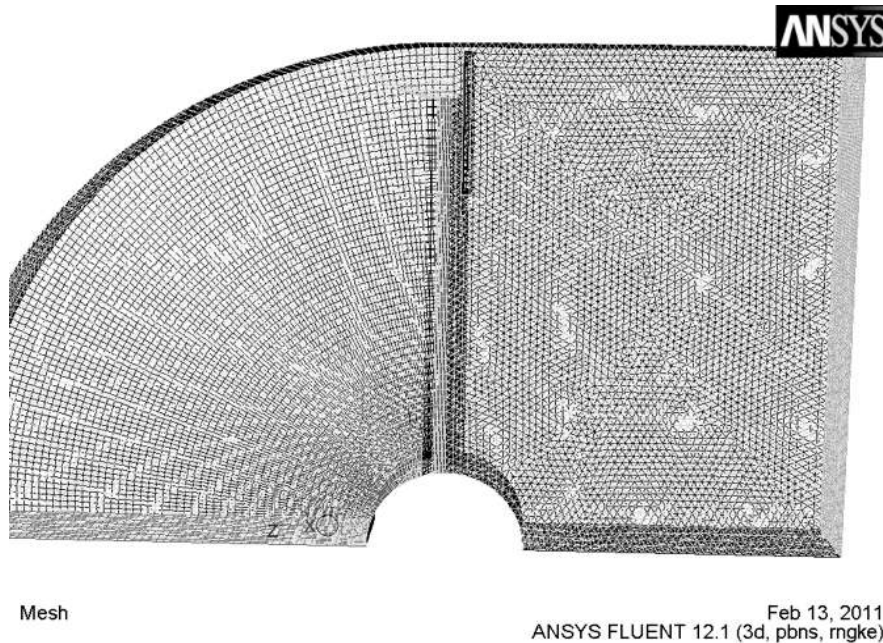


Figura 2.29 Mallado tres para el análisis del fluido.

2.2.4.3 Simulaciones del fluido

En el primer análisis que se realizó, fue el más simple para tratar que la convergencia se diera lo más fácil posible y de ahí partir hacia análisis más complejos. El problema se planteo induciendo sobre la paleta un flujo que pasara sobre ella en dirección normal a la misma donde el flujo tiene que rodear la paleta teniendo las velocidades mayores en los extremos de la paleta como se muestra en la figura 2.30.

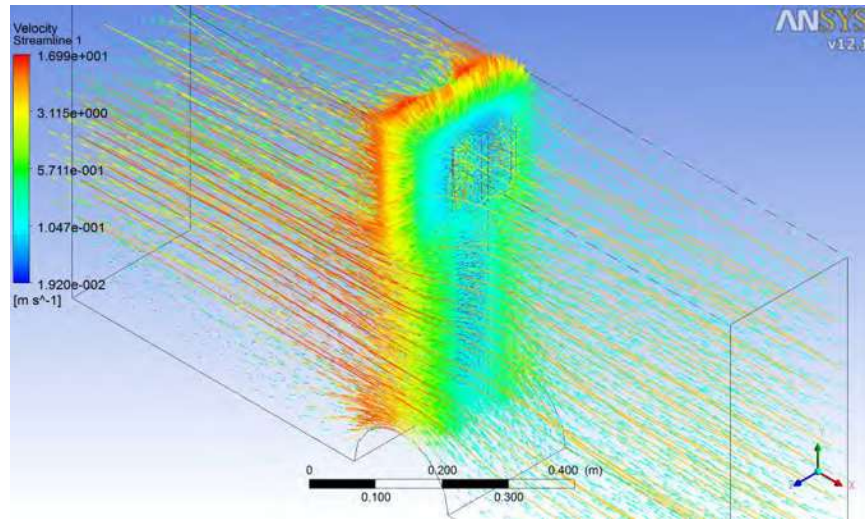


Figura 2.30 Líneas de flujo de primera simulación.

Una vez realizado el primer análisis y que la simulación convergió, se realiza un análisis con una sección del mezclador suponiendo que como todo el mezclador está diseñado de forma simétrica el análisis se puede reducir o discretizar a realizarlo solo en una paleta suponiendo que todas las paletas se comportaran manera similar. Como se muestra en la figura 2.31

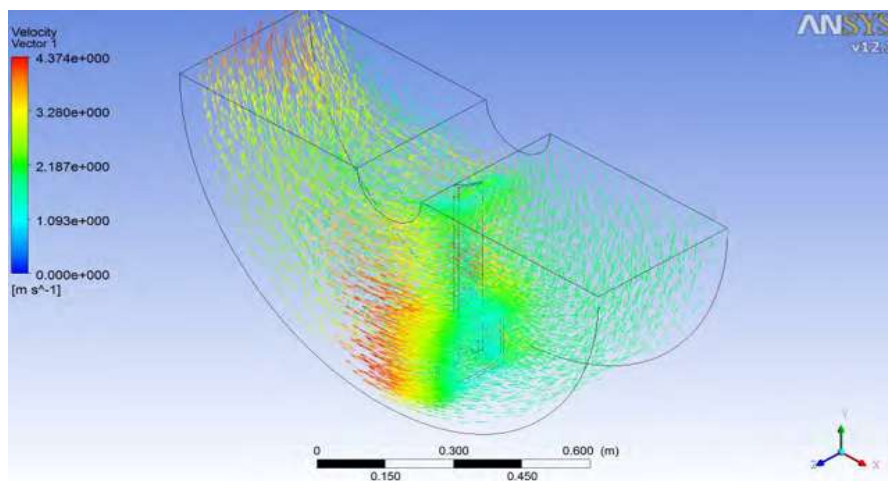


Figura 2.31 Análisis del fluido en sección del mezclador.

En la figura 2.31 el fluido pasa alrededor de la paleta observando que efectivamente rodea a la cara plana de la paleta teniendo las velocidades máximas alrededor de la misma en la parte trasera además de concentrarse los vórtices en esa región. Se observa que las velocidades más altas se encuentran en la parte trasera de la paleta y donde se tiene vórtices. El fluido viaja de manera regular por todo el mezclador teniendo pequeños remolinos detrás de la paleta.

En la figura 2.32 se tiene una vista de del fluido proyectándose sobre la paleta la cual muestra en color rojo el que el gradiente de presión máximo se encuentra sobre la cara plana corroborando que en esa región es donde se encuentra la fuerza que se aplica en el análisis estructural, que en esa región es donde se genera la máxima presión sobre la paleta, y haber hecho de manera correcta la suposición de la aplicación de la carga y restricciones que hicieron en el análisis estructural.

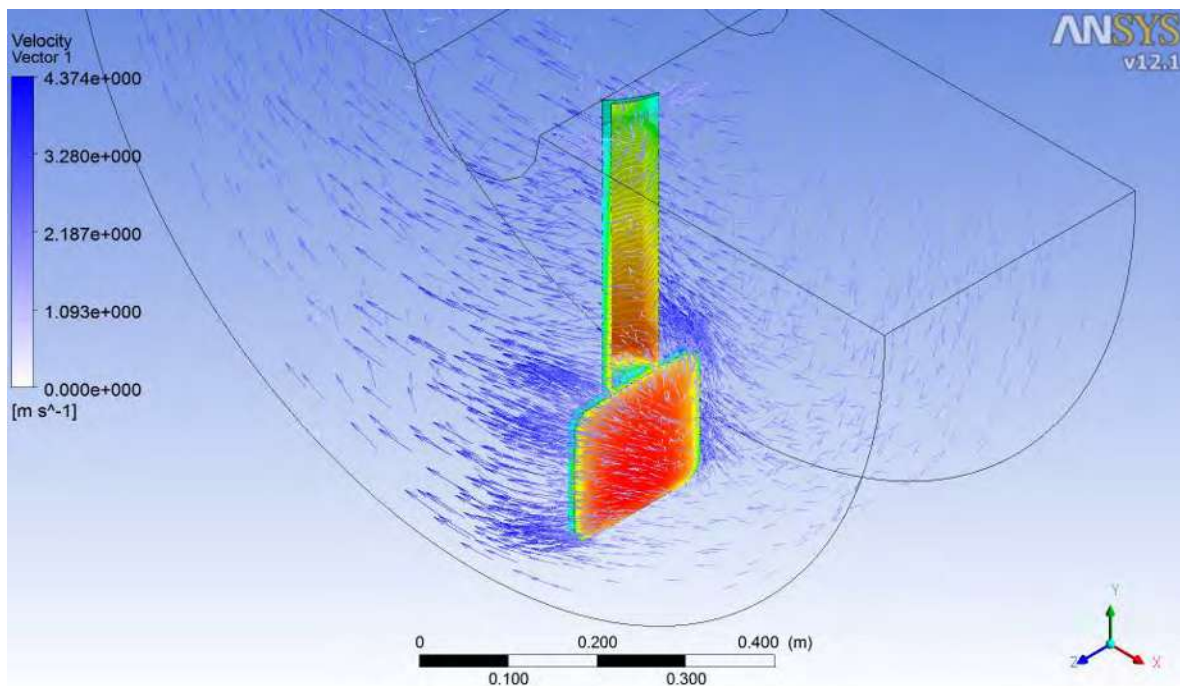


Figura 2.32 Análisis del fluido con gradiente de presión sobre la paleta

2.2.5 Análisis con prototipo

Para tener una validación de la simulación hecha en computadora se hace un prototipo del mezclador conservando todas las escalas de dimensionamiento y velocidades de operación; la escala de construcción del prototipo es de 5:1. Como se quiere observar cómo se comporta el fluido claro está en condiciones ideales, el prototipo se construye un material que sea transparente para poder tener registro de cuáles son las trayectorias de los flujos.

Como el principal objetivo del prototipo es el observar las condiciones de movimiento del fluido, se construye de acrílico transparente esperando que se permita grabar el movimiento de fluido (Fig.2.33).



Figura 2.33 Construcción de prototipo

En la figura 2.33 se muestra la construcción del prototipo donde se hace el ensamble del motor con el sistema de transmisión el cual será el que proveerá el movimiento al mezclador es decir al eje con las paletas.

La velocidad promedio que se buscará durante el mezclado será de 30 rpm, logrando esta velocidad gracias a un motor eléctrico de corriente alterna y una transmisión por cadena y engranaje.

Una vez encontrados el motor y transmisión correcta se realiza un marco el cual soportara el mezclador y al motor. La construcción del marco se busca que sea lo más sencilla posible ya que deberá dejar observar de manera clara el comportamiento del fluido durante la operación de la máquina. En la figura 2.34 se muestra el ensamble del mezclador con el marco de soporte



Figura 2.34 Prototipo en marco de prueba

Uno de los principales problemas fue el de buscar alguna de manera de observar cómo se comporta el fluido durante la operación del mezclador. Por tal motivo se buscaron una gran variedad de trazadores los cuales nos permitieran observar el flujo.



Figura 2.35 Prueba preliminar de prototipo

Originalmente se pensó en cuentas de plástico como trazadores pero debido a que su densidad es mayor que la del agua éstas se hundían al momento de introducirlas al mezclador quedando descartada esa idea. Posteriormente se hicieron pruebas con papel bond (figura 2.35) el cual trabaja de manera adecuada durante unos minutos pero cuando se mojaba totalmente se rompe por el movimiento y el contacto con las aspas; pero se obtuvieron resultados iniciales al poder observar tan solo por unos minutos el comportamiento del fluido durante la operación del mezclador.



Figura 2.36 Prueba de trazadores

Posteriormente después de buscar un trazador adecuado el cual tuviera una densidad muy parecida a la del agua para que se pudiera quedar suspendido en el líquido y no se fuera hacia el fondo o en su defecto se quedara en la superficie. Se hicieron pruebas con bolitas o pellets de hidrogel las cuales funcionaron muy bien debido a que su densidad prácticamente es la misma que la del agua.

Una vez que se probaron los pellets de hidrogel se hicieron las pruebas con el prototipo como se muestra en figura 2.36. Dejando treinta perlas de hidrogel observando que era una cantidad favorable para observar el movimiento y trayectoria del fluido; pero dejando una sola perla de color diferente (verde) para observar la trayectoria de una sola partícula y así poder observar los tiempos de estancia en cada región es decir en cada región de paleta

Capítulo 3 Análisis de resultados y conclusiones

3.1 Resultados

Una vez hecho el diseño y el prototipo final se hicieron pruebas con diferentes configuraciones de paletas. Es decir se cambiaron las paletas del eje mezclador de posición para tratar de saber en qué posición se genera la mejor mezcla. La prueba se idealiza haciéndola en agua y suponiendo que el concreto puede llegar a tener las mismas trayectorias pero con más lentitud. Otra razón por lo que las pruebas se hacen en agua es debido a su transparencia que permite seguir la trayectoria de las partículas trazadoras, haciendo que los videos y fotografías sean más fáciles de analizar.

Las pruebas que se hicieron en el mezclador fueron con una posición en las paletas de 45 y 180 grados. Se hacen pruebas con estos dos tipos de configuraciones sabiendo que existen muchas más posibles soluciones de posicionar las paletas, pero solo se hace una aproximación de cual sería una mejor posición de las paletas en el eje.

Los resultados mostrados son de configuraciones de paletas posicionadas a 45° grados cada una de la otra y también a 180° grados. Tomando estas dos configuraciones como propuesta inicial de diseño esperando que la mejor configuración sea la que tenga más cambios de posición de la partícula trazadora es decir cambie de región de paleta y no se quede estancada en una sola región. En la figura 3.1 se muestra el mezclador con las divisiones de de cada región dependiendo de la posición de las paletas.

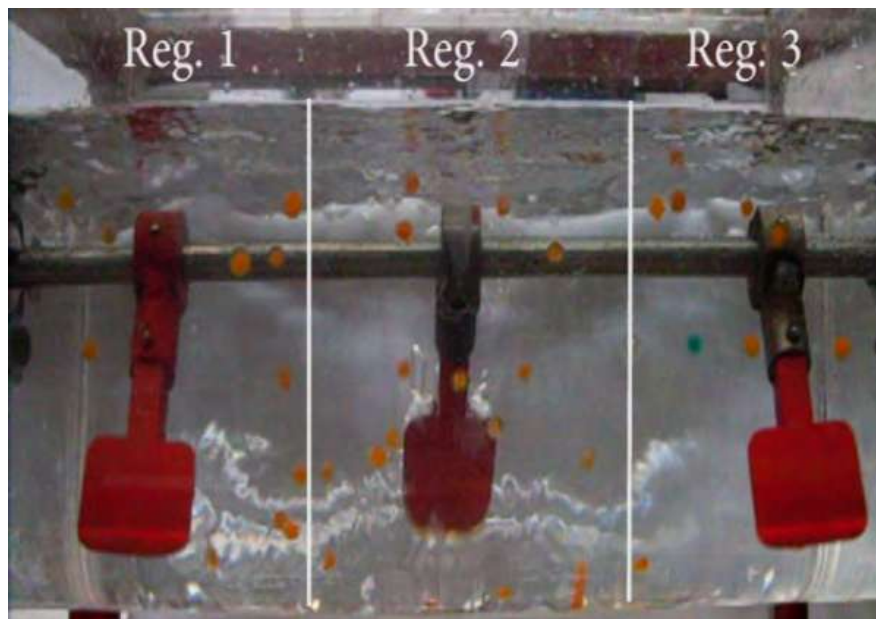


Figura 3.1 Regiones en análisis de pruebas

Las pruebas que se hacen con cada configuración, son pruebas de mezclado de cada cinco minutos ya que es el tiempo máximo de operación del mezclador. Para garantizar que el método de pruebas sea reproducible cada una de éstas se realizó por triplicado

Estas pruebas son las primeras durante el análisis de resultado sabiendo que se pueden tomar otros métodos estadísticos de análisis. Las pruebas iniciales son pruebas en las que se pretende observar como es el comportamiento del mezclador y del movimiento de las partículas de manera muy general. Pueden existir una gran cantidad de variables que se pueden controlar, dejando un diseño experimental más completo para otro trabajo en un futuro.

En la figura 3.2 se muestran los saltos de región del trazador. Se observa que existen treinta saltos, de los cuales el 46.6% corresponden a la región dos, el 30% a la región tres y el 23.4% a la región uno. El trazador presenta una mayor permanencia en la región dos con un tiempo de 28 segundos. El promedio de estancia en cada región es de 10 ± 8.2 segundos.

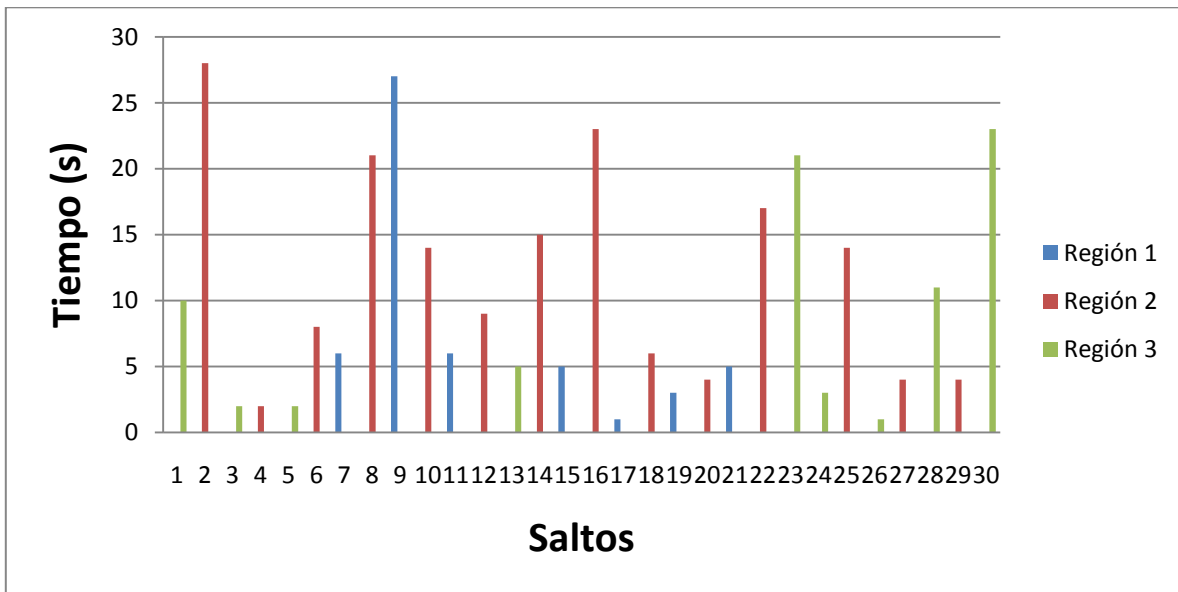


Figura 3.2 Cambios de región con paletas a 45° durante cinco minutos.

Se analizaron de manera similar las otras dos muestras del triplicado. Obteniendo una media de 31 ± 2.6 saltos de región, de los cuales 29 ± 16.5 % corresponden a la región uno, 42.8 ± 11 % corresponden a la región dos y 28.2 ± 8.3 % corresponden a la región tres. La media de estancia en cada región es de 9.1 segundos.

En la figura 3.3 se muestran los resultados de la simulación con paletas posicionadas a 180° grados. Se observa que con esta configuración de paletas existen 62 saltos, de los cuales a la región uno le corresponde el 20.97%, a la región dos el 50% y la región número tres cuenta con el 29.03% del total de los saltos. En el salto 46 el trazador estuvo por 27 segundos en la región número dos, siendo este el mayor tiempo de permanencia durante un salto de región. El promedio de permanencia de tiempo en cada región es de 4.84 segundos.

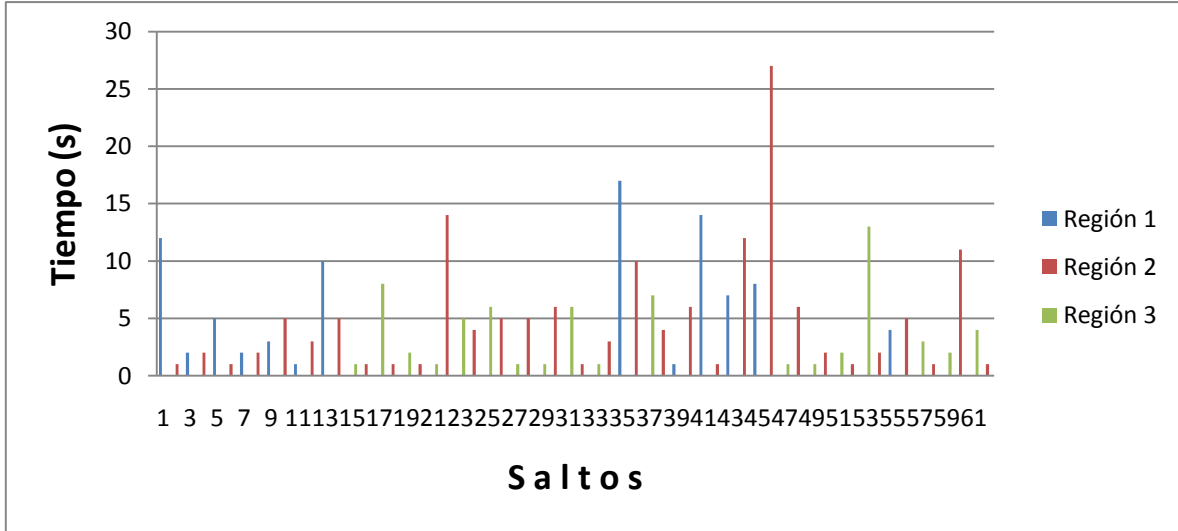


Figura 3.3 Cambios de región con paletas a 180° durante cinco minutos.

Se hizo el mismo análisis con las dos muestras del triplicado teniendo una media de 52 saltos de región, de los cuales el 21.20 % corresponde a la región uno, a la región dos el 50 % y a la región tres el 28.8 %. La estancia media en las regiones es de 5.99 segundos.

Tabla 3.1 Saltos de región con diferentes configuraciones

Configuración de paletas	Saltos de región	Porcentajes de saltos (No. saltos)		
		Región 1	Región 2	Región 3
Paletas a 45°	31	29% (8.99)	42.8% (13.26)	28.2% (8.74)
Paletas a 180°	52	21.2% (11)	50% (26)	28.8% (15)

En la tabla 3.1 se muestra el compilado de los resultados de saltos de región con una configuración de 45° y de 180°. En la primera columna se muestra el total de saltos de región y en las siguientes columnas el porcentaje que le corresponde a cada región.

En la grafica del a figura 3.4 se muestra el tiempo total de permanencia en cada región comparando la configuración de 45 grados y 180 grados

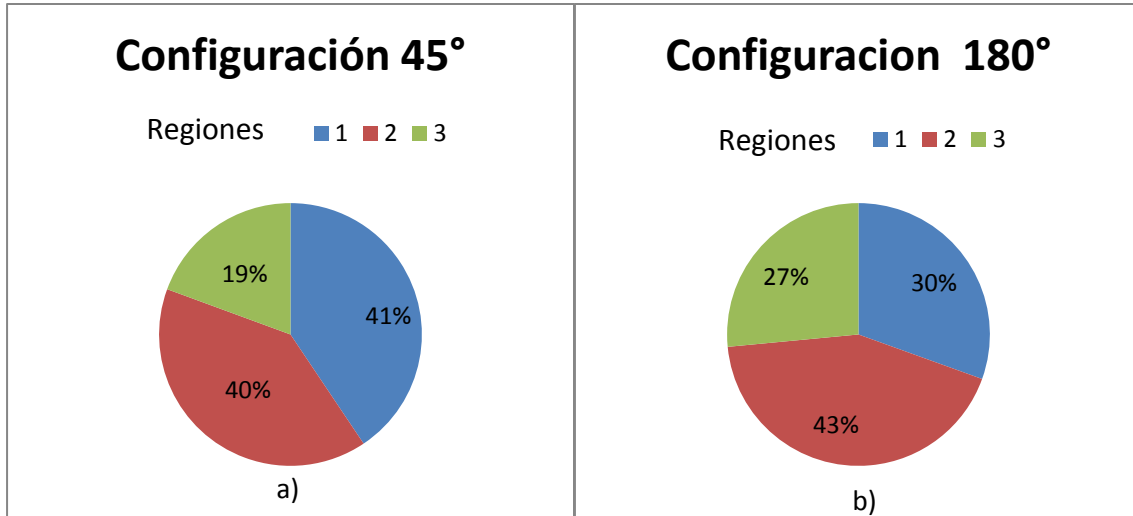


Figura 3.4 Tiempos totales en cada región: a) configuración 45°, b) configuración 180°

En la figura 3.4a de un tiempo total de 300 segundos que es el equivalente de 5 minutos, la partícula trazadora se mantuvo en la región uno 123 segundos que equivale al 41 %, en la región dos se mantuvo por 120 segundos y en la región tres permaneció por 57 segundos.

De la gráfica b de la figura 3.4 se tiene una configuración de paletas a 180 grados, la cual arroja una estancia del trazador en la región uno del 30% es decir 90 segundos, en la región dos un 43% equivalente a 129 segundos y en la región tres el 27% que son 81 segundos.

En la tabla 3.2 se muestran los tiempos totales de permanencia del trazador en cada región con una configuración de 45° y 180°.

Tabla 3.2 Tiempo total en cada región

Configuración de paletas	Tiempo total de permanencia		
	Región 1	Región 2	Región 3
Paletas a 45°	123 s	120 s	57 s
Paletas a 180°	90 s	129 s	81 s

3.3.1 Análisis de resultados

De los resultados obtenidos de la pruebas del prototipo se observa en el compilado de la tabla 3.1 que con la configuración de paletas a 180° se tuvieron 52 saltos de región contra 31 saltos de región con la configuración de paletas de 45° . Es decir la configuración a 180° tiene un aumento del 67 % en comparación con la de 45° .

Analizando el porcentaje de saltos de región en la tabla 3.1 se observa que con la configuración de 45° , la región que más saltos tienen es la número dos (la que se encuentra en el centro del mezclador) con el 42.8 % correspondiendo 13 de los 31 saltos totales y la región uno y tres tiene un porcentaje muy parecido con un 29 % y 28.2 % respectivamente. Con la configuración de 180° se observa que en la región dos (la del centro del mezclador) se presentan la mayor cantidad de saltos, un 50 % de un total de 52; es decir la partícula trazadora entra y sale de esta región 26 veces, la región uno y tres presentan un 21.2 % y 28.8 % respectivamente observando que entre estas dos regiones donde se concentra la mayor cantidad de saltos de región es en la número tres con 15 saltos contra 11 de la región número uno.

De la figuras 3.2 y 3.3 se puede observar que la permanencia promedio en cada región (media) con la configuración de 45° es de 9.1 segundos y con la configuración de 180° es de 5.99 segundos, la permanencia con la segunda configuración disminuye debido a que aumentan los saltos de región con esta configuración.

Del compilado de la tabla 3.2 el cual se obtuvo de la figura 3.4 se puede observar que de un tiempo total de 300 s la configuración de 45° en la región uno el trazador permaneció por un tiempo de 123s siendo el mayor de las tres regiones, seguido por el tiempo de la región dos con 120 s y finalmente la región tres con un tiempo de 57s. Con la configuración de 180° la región donde estuvo más tiempo el trazador fue la número dos con un tiempo de 129s, siguiendo la región uno con 90s después la región tres con 81s. De la configuración a 45° se observa que el trazador permaneció más tiempo en la región uno (la parte izquierda del mezclador) para después seguir la región dos (el centro) y con menos tiempo la región tres (el extremo derecho), con la configuración a 180° donde se mantuvo la mayor parte del tiempo fue en la región dos (la del centro del mezclador) y las regiones de los extremos uno y tres (izquierda y derecha) tuvieron un tiempo muy equilibrado de permanencia con 90s y 81s.

Tomando en cuenta que se busca que la mejor configuración de paletas sea la que haga que el trazador tenga la mayor cantidad de cambios de región dentro del mezclador se toma como mejor opción la configuración de paletas a 180°

3.3.2 Análisis económico

El análisis económico se enfoca en realizar un costo aproximado de la construcción de la maquinaria, dejando a un lado una evaluación económica de un proyecto de inversión. El costo aproximado de fabricación ayudará a tener una idea para comparar precios con las demás mezcladoras en el mercado buscando, reducir los costos considerablemente, el análisis no hace con la profundidad como lo sería con una evaluación económica del proyecto de inversión donde se determina la factibilidad o viabilidad económica.

Como se realiza un costo aproximado solo se tomarán en cuenta los siguientes factores: materia prima, mano de obra directa. Dejando de lado lo relacionado con la inversión fija, el cálculo de las depreciaciones y amortizaciones para realizar un balance general; así como la mano de obra indirecta, materiales indirectos, costos de insumos, mantenimiento

En la siguiente tabla se hace un desglose de los costos aproximados de la materia prima, dividiéndola en aceros, electrodo para soldar y motor, así como la mano de obra para la manufactura.

El acero se dividirá en ángulo, placa y tubular que será el eje del mezclador. El motor a gasolina será un motor para automóvil de VW que en el mercado tiene un costo muy accesible, fácil de conseguir y reparar, la mano de obra se considera como obrero calificado en honorarios por día.

Tabla 3.3 Costo aproximado de construcción

Factor de evaluación	Unidad	Cantidad	Precio unidad	Subtotal
Ángulo (acero)	m	6	\$ 65.00	\$ 390.00
Placa (acero)	m ²	11.08	\$ 471.24	\$ 5,221.33
Tubular (acero)	m	6	\$ 818.00	\$ 4908.00
Electrodo (Soldadura)	kg	10	\$ 34.80	\$ 348.00
Motor a gasolina	Motor	1	\$ 25,000.00	\$ 25,000.00
Mano de obra	Día	15	\$ 500.00	\$ 7,500.00
Gastos varios			\$ 20,000.00	\$ 20,000.00
			Costo Total	\$ 63,367.33

El costo total aproximado para la construcción del mezclador de concreto es de \$63,000.00 pesos, un precio muy razonable ya que en el mercado los mezcladores de este tipo para volúmenes de producción muy similares oscilan desde los \$ 120,000.00 pesos hasta los \$ 600,000.00 pesos (Tabla 3.4) ya haciendo la conversión de dólares a pesos mexicanos y claro esta dependiendo de la cotización del peso frente al dólar.

Tabla 3.4 Tabla de costos de mezcladores

Mezcladores en el mercado	Costo
Horizontal Shaft mixers, Mixer Systems, Inc.	\$ 13,000.00 USD \$ 45,000.00 USD
Horizontal Shaft mixers, SICOMA OMG	\$ 10,000 USD \$ 50,000.00 USD
Horizontal Shaft mixers, SDMIX, Shandong Mix Machinery Equipment Co.	\$ 12,000.00 USD \$ 40,000.00USD
Mezclador Diseñado	\$ 5,000.00 USD

3.1 Conclusiones

Se cumple el objetivo de diseñar un mezclador de concreto hidráulico partiendo de las necesidades de producción hasta las necesidades del consumidor. En el proceso de diseño se tomaron en cuenta los objetivos que debería cumplir la máquina, las funciones que debería de desarrollar, requerimientos y características para poder llegar a generar alternativas reales de diseño y finalmente obtener o seleccionar un diseño final. Al evaluar las posibles alternativas de diseño se ponderaron varias características para poder escoger la mejor opción siendo las principales que el diseño final debería cubrir con la producción deseada (volúmenes de producción) y que la construcción se hiciera lo más sencilla posible que llevaría a que ésta fuera muy económica que son dos puntos muy importantes en el diseño, otra característica deseada era la rápida y económica reparación además de una sencilla operación de la maquinaria.

En el diseño de detalle y simulación se usó una combinación de programas, desde el modelado del sólido hasta las simulaciones estructurales y de fluido; también para analizar los videos tomados en las pruebas realizadas con el prototipo. El uso de software computacional es de vital importancia reduciendo tiempo y costos.

De acuerdo con los análisis de esfuerzos y deformaciones se observa que el mezclador se comporta de forma adecuada, no excediendo los parámetros permisibles de tensiones y deformaciones según el criterio de Von-Misses.

En el análisis del fluido se observa que el comportamiento y trayectoria es muy similar al de las pruebas con el prototipo

Tomando en cuenta las pruebas realizadas con las diferentes configuraciones se llega a la conclusión de que la configuración que otorga un mejor desempeño en el mezclado es la de 180° es decir cuando las paletas se posicionan a 180° una de la otra rotando alrededor del eje. Debido a que con esta configuración en el mezclador el trazador presenta una mayor cantidad de movimiento tomando en cuenta la cantidad de saltos de región que tiene durante el proceso de mezclado, teniendo un incremento del 69% en comparación con la otra configuración. Además de que el tiempo de permanencia en cada región se distribuye de manera homogénea en las tres regiones.

De acuerdo con los datos obtenidos en el análisis económico se observa que el costo aproximado de construcción es mucho más barato que los competidores que existen en el mercado internacional. Al diseñar y construir la mezcladora de concreto en México se reducen costos de traslado y no se tiene que comprar tecnología extranjera. En la tabla 3.4 se puede comparar que el costo de fabricación del mezclador es 50% menor que sus competidores más cercanos, razón por la cual puede presentar una buena competencia contra los mezcladores existentes.

Bibliografía

1. Nawy, E.G., Moreton, A., Mather, B., Malhotra, M., Sprinkel, M. (s.f.). "Concrete Properties". <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/millennium/00022.pdf> (Accesada en mayo del 2010).
2. Christie, Parker & Hale. *Concrete mixer*. G. Hudelmaier. Int. Cl. B28C5/24. U.S. Patent Trade Mark Office. 4 490 045. 1984-12-25.
3. Dougherty, Hessin, Beavers & Gilbert. *Portable large volume cement mixer for batch operations*. L.F. Perry. Int. Cl. B28C 5/20. U.S. Patent Trade Mark Office. 5 411 329. 1995-05-2.
4. Wheeler Kromholz & Manion. *Concrete Mixer*. J.A. Backman. Int. Cl. B28C 5/20. U.S. Patent Trade Mark Office. 5 839 824. 1998-11-24.
5. Stephen T. Belsheim. *Front-end discharge concrete mixer truck*. S.J. Georgoulis. Int. Cl. B28C 5/20. U.S. Patent Trade Mark Office. 6 062 716. 2000-05-16.
6. William Michael Hynes. *Large volume twin shaft compulsory mixer*. G.L. Dahlinger, R. Salgarollo, R. M. Gunter. Int. Cl. B23P 6/00. U.S. Patent Trade Mark Office. 6 588 082 B2. 2003-07-08.
7. *Concrete Batch Plant*. T. J. Harris, W. D. Tippins, A. J. Khouri, W. Rodgers. Int. Cl. B28C 5/20. U.S. Patent Trade Mark Office. 0259715 A1. 2008-10-23.
8. ANSYS. (2005). *ANSYS CFX, Release 10.0[©]: Installation and overview*. Canadá.
9. ANSYS. *ANSYS ICEM CFD/AI *Environment 10.0[©] User Manual*.
10. ANSYS. Modeling and Meshing Guide. (2004). *ANSYS, Release 9.0[©]*. United States.
11. ANSYS. Structural Analysis Guide. (2004). *ANSYS, Release 9.0[©]*. United States.
12. ANSYS. CFX Tutorials. (2009). *ANSYS, Release 12.0[©]*. Canadá.
13. ANSYS. CFX Tutorials. (2006). *ANSYS, Release 11.0[©]*. Canadá.
14. ANSYS. Fluids Analysis Guide. (2005). *ANSYS, Release 10.0[©]*. Europe.
15. Adom-Asamoah, M., Afrifa, R.O. (2010). *A study of concrete properties using phyllite as coarse aggregates*. *Materials and Desing*, 31: 4561-4566.
16. Ferraris, C. F. *Concrete Mixing Methods and Concrete Mixers: State of the Art*. *Journal of Research of the National Institute of Standars and Technology*. 106:391-399.
17. William Michael Hynes; Townsed and Townsend and Crew LLP. *Large volume twin shaft compulsory mixer*. G. L. Dahlinger, R. Salgarollo, R. M. Gunter, Jr. Int. Cl. B23P 6/00. U.S. Patent Trade Mark Office. 6 588 082 B2. 2003-07-08.
18. Arnold, White & Durkee. *Concrete mixer truck*. G. Hudelmaier, I. Hudelmaier. Int. Cl. B28C 5/42. U.S. Patent Trade Mark Office. 4 585 356. 1986-04-29.
19. Arnold, White & Durkee. *Concrete mixer truck*. G. Hudelmaier, I. Hudelmaier. Int. Cl. B28C 7/12. U.S. Patent Trade Mark Office. 4 544 275. 1985-10-01.

20. James E. Nilles. *Concrete mixer truck*. F. Waitzinger, G. Hudelmaier. Int. Cl. B28C 5/24. U.S. Patent Trade Mark Office. 4 585 355. 1986-04-29.
21. Cazacliu, B. (2008). *In-mixer measurements for describing mixture evolution during concrete mixing*. *Chemical Engineering Research and Desing*.86: 1423-1433.
22. Cazacliu, B., Legrand, J. (2008). Characterization of the granular-to-fluid state process during mixing by power evolution in planetary concrete mixer. *Chemical Engineering Science*. 63: 4617-4630.
23. Valigi, M.C., Gasperini, I. (2007). Planetary vertical concrete mixers: Simulation and predicting useful life in steady states and in perturbed conditions. *Simulation modeling Practice and Theory*. 15: 1211-1223.
24. Crutsinger & Booth. *Single discharge door for continuous or batching operation of twin-shaft twin-trough mixers*. B. St. Ama, B. R. Company, Inc. Int. Cl. B01F 15/02. U.S. Patent Trade Mark Office. 5 810 475. 1998-09-22.
25. Jacobson, Price, Holman & Stern. *Concrete mixer with plastic drum*. D. W. Halsted. Int. Cl. B28C 5/18. U.S. Patent Trade Mark Office. 5 492 401. 1996-02-20.
26. Zarley, McKee, Thomte, Voorhes & Sease. *Mobile concrete mixer*. R. C. Milek. Int. Cl. B28C 7/06. U.S. Patent Trade Mark Office. 4 752 134. 1988-06-21.
27. ANSYS. (2009). Introduction to Using CFD-Post: Fluid Flow and Heat Transfer in a Mixing Elbow. *Release 12.0*®.
28. Barkanov, E. (2001). Introduction to the finite element method. <http://mmc.geofisica.unam.mx/Bibliografia/Matematicas/EDP/MetodosNumericos/IntroductionToTheFiniteElementMethod.pdf> (Accesada en agosto del 2008).
29. ANSYS. CFX-Mesh. (2009). *ANSYS, Release 12.0*®.U.S.A.
30. Askeland, D.R., Phulé, P.P. (2004). Ciencia e ingeniería de los materiales. 2da. Edición. International Thomson Editors. México. pp. 1039.
31. Worsak, K. (2005). STRUCTURAL ANALYSIS, in Civil Engineering. Eds. Kiyoshi Horikawa and Qizhong Guo, in *Encyclopedia of life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK. <http://www.eolss.net>. (Accesada junio del 2011).
32. Moaveni, S. (1999). FINITE ELEMENT ANALYSIS, *theory and application with ANSYS*. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey. pp. 272.
33. *Concrete Mixer*. C. Pachetti, F. Bacchini. Int.Cl. B28C 5/20. U.S. Patent Trade Mark Office. 0152996 A1. 2006-07-13.
34. ANSYS Fluent 12. (2009). UDF Manual.
35. ANSYS. (2009). Introduction to Using ANSYS FLUENT in ANSYS Workbench: Fluid Flow and Heat Transfer in a Mixing Elbow. *Release 12.0*®.
36. Monteiro,P.(s.f).http://www.ce.berkeley.edu/~palmount/CE60New/fresh_concrete.pdf (Accesada en noviembre del 2010).
37. E. Oñate. (2009). Structural with the Finite Element Method. Linear Statics. Volume 1. Basis and Solis. Barcelona, España. pp.23.

38. MIXER SYSTEMS[®]. (s.f.). A GREAT MIXER just got better. <http://www.mixersystems.com/>. (Accesada en mayo del 2010).
39. MIXER SYSTEMS[®]. (s.f.). Horizontal Shaft Mixers. <http://www.mixersystems.com/>. (Accesada en mayo del 2010).
40. ANSYS. (2009). Help Manual. *ANSYS ICEM CFD 12.1*. U.S.A.
41. ANSYS. (2007). Tutorial Manual. *ANSYS ICEM CFD 11.0*. U.S.A.
42. ANSYS. (2010). Tutorial: 3D Pipe Junction Using Hexa Meshing. © ANSYS Inc.
43. ANSYS. (2009). Help Manual. *ANSYS ICEM CFD 12.0*. U.S.A.
44. ICEM CFD Tutorial. Joyce, G., Ormiston, S.J. (2010). Parallel Plate Channel Grid.
45. ANSYS. (2009). Introduction to DesingModeler an *ANSYS Tutorial*.
46. ANSYS. (2009). Desing Exploration with ANSYS V12: The response surface method *Step by step Structural Mechanics example*.
47. SICOMA. (s.f.). Twin Shaft Mixer with Reduced Discharge Door. <http://www.sicoma.biz/>. (Accesada en noviembre del 2009).
48. MIXER SYSTEMS[®]. (2010). MSI Twin Shaft Mixer- Specifications. <http://www.mixersystems.com/>. (Accesada en mayo del 2010).
49. MIXER SYSTEMS[®]. (s.f.). The only planetary mixer designed and manufactured in the U.S.A. <http://www.mixersystems.com/>. (Accesada en mayo del 2010).
50. ICEM CFD Engineering. Introduction to ICEM CFD Prism. (2011).
51. Salas, A., Roesler, J.R., Lange, D. (s.f.). Batching Effects on Properties of Recycled Concrete Aggregates for Airfield Rigid Pavements. <http://www.airporttech.tc.faa.gov/att2010/Pavements/Session8b/SalasBatching%20Effects%20on%20Properties%20of%20Recycled%20Concrete.pdf>. (Accesada en noviembre del 2010).
52. ICEM CFD Engineering. (2011). Surface Meshing in ICEM CFD.
53. ICEM CFD Engineering. (2011). Introduction to ICEM CFD Tetra.
54. Liu, G.R. y Quek, S.S. (2003). The finite element method A Practical course. 1era. Edición. Elsevier. p.p. 365.
55. Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., Zhu, J.Z. (2005). The Finite Element Method: its Basis and Fundamentals. 6ta. Edición. p.p. 802.
56. ANSYS. (2010). ANSYS Workbench Tutorial Boundary Layer on a Flat Plate. <http://pdf-world.net/pdf/99226/ANSYS-Workbench-Tutorial-%E2%80%93-Boundary-Layer-on-a-Flat-Plate-pdf.php>. (Accesada en febrero del 2011).
57. ANSYS. (2009). ANSYS CFX Tutorials. Release 12.0©. Canadá.
58. Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., Zhu, J.Z. (2000). The Finite Element Method Volume 2: Solid Mechanics. 5ta. Edición. p.p. 476.
59. ANSYS. (2009). Profile Boundary Conditions. Introduction to CFX an ANSYS Tutorial.
60. CFX-Mesh Tutorial. (2005).
61. Ormiston, S.J., Berg, J.R. (2010). Laminar Flow in a Rectangular Duct. *ANSYS CFX Tutorial*.

62. Poloni, C. (2010). Robust desing optimization and the handling of uncertaninties: modeFRONTIER and ANSYS software combine to procedure a solution. <http://www.modefrontier.com/homeMF.html> . (Accesada en enero del 2011).
63. ANSYS. (2009). Introduction to Sketching an ANSYS Tutorial.
64. ANSYS. (2009). Introduction to Solid Modeling an ANSYS Tutorial.
65. ANSYS. (2009). DesingModeler: Clean-up and Repair Tools an ANSYS Tutorial.
66. ANSYS. (2009). Extracting a Fluid Volume. Clean-up and Repair Tools an ANSYS Tutorial.
67. ANSYS. (2009). DesingModeler: Model Simplification an ANSYS Tutorial.
68. ANSYS. (2009). DesingModeler: Selection Tools an ANSYS Tutorial.
69. ANSYS. (2009). Tutorials. U.S.A. *Release 12.0*[©].
70. ANSYS. (2009). Fluid Analysis Guide. U.S.A. *Release 12.0*[©].