

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UNA MAQUINA CRIBADORA DE MATERIAL
PETREO, MODULAR, CON UNA CAPACIDAD DE CARGA DE
(300 m³/DIA)”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

Francisco José Bajzelj Cirbían

**DIRECTOR: ING. FERNANDO OLMEDO
CODIRECTOR: ING. CARLOS NARANJO**

Sangolquí, 2006-11-01

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “DISEÑO DE UNA MAQUINA CRIBADORA DE MATERIAL PETREO, MODULAR, CON UNA CAPACIDAD DE CARGA DE (300 m³/DIA)” fue realizado en su totalidad por FRANCISCO JOSE BAJZELJ CIRBIAN, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

ING. FERNANDO OLMEDO

DIRECTOR

ING. CARLOS NARANJO

CODIRECTOR

Sangolquí, 2006-11-01

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“DISEÑO DE UNA MAQUINA CRIBADORA DE MATERIAL PETREO,
MODULAR, CON UNA CAPACIDAD DE CARGA DE (300 m³/DIA)”

ELABORADO POR

FRANCISCO JOSE BAJZELJ CIRBIAN

COORDINADOR DE CARRERA DE INGENIERIA MECANICA

Sangolquí, 2006-11-01

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a mis papás, Miguel y Crucita, a mis hermanos y amigos, que de una u otra forma ayudaron desde el inicio hasta el final de este proyecto a concluirlo satisfactoriamente.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado todo lo que me ha dado, a mis padres, hermanos y amigos por apoyarme en los momentos más difíciles de esta carrera, a mis Directores Ing. Fernando Olmedo e Ing. Carlos Naranjo y a todas las personas que de alguna manera colaboraron con la realización de este proyecto.

Un agradecimiento muy especial para el Ing. Fabián Alarcón, Ab. Vinicio Zabala, Ing. Joaquín Mitau, Ing. Armando Gómez de la Torre, Ing. Andrés Tobar, Ing. Miguel Carrera, Ing. Santiago Montenegro.

“Somos tres y siempre seremos tres, panas del alma”

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	II
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
INDICE DE CONTENIDOS.....	VI
INDICE DE ECUACIONES.....	XI
INDICE DE FIGURAS.....	XIV
INDICE DE TABLAS.....	XVII
LISTADO DE ANEXOS	XVIII
PRESENTACIÓN	1
CAPITULO 1.....	3
GENERALIDADES	3
1.1.- ANTECEDENTES:	3
1.1.1.- INTRODUCCION:.....	3
1.1.2.- SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.	4
1.1.3.- EXPLOTACIÓN DE CANTERAS:.....	4
1.1.4.- EXPLOSIVOS:.....	5
1.1.5.- TRITURACIÓN PREVIA:.....	6
1.1.6.- SELECCIÓN DE LA MAQUINARIA:.....	6

1.1.7.- MÁQUINAS TRITURADORAS:.....	7
1.1.8.- CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS:	8
1.1.9.- PROPIEDADES DE LAS ROCAS:.....	9
1.1.10.- GRANULOMETRÍA.....	9
1.1.11.- GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS FINOS.....	10
1.2.- DEFINICION DEL PROBLEMA	11
1.3.- OBJETIVO GENERALES	12
1.4.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
1.5.- ALCANCE DEL PROYECTO	12
1.6.- META DEL PROYECTO	12
CAPITULO 2	13
2 APLICACIÓN DEL TRIZ PARA ENCONTRAR SOLCIONES	13
2.1.- MARCO TEORICO:	13
2.2.- FUNCIONES Y ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINARIA IDEAL	25
2.2.1.- ANTES DE EMPEZAR.....	25
2.2.2.- RESOLUCIÓN DE CONTRADICCIONES TÉCNICAS	28
2.2.3.- PRINCIPIOS DE INVENTIVA DE ALTSHULLER	31
2.2.4.- MATRIZ DE CONTRADICCION	42
2.2.5.- CUESTIONARIO PARA LA SITUACION DE INNOVACION.....	43
CAPITULO 3	46
3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	46

3.1.- REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y PARAMETROS.....	46
3.1.1.- CONCLUSIONES OBTENIDAS EN BASE A LAS ENCUESTAS.....	47
3.1.2.- DISEÑO DESEADO.	47
3.1.3- BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	48
3.1.4.- INFORMACIÓN SOBRE EL SISTEMA	48
3.1.5- INFORMACIÓN SOBRE LA SITUACIÓN DEL PROBLEMA.....	50
3.1.6.- VISIÓN IDEAL DE SOLUCIÓN	51
3.1.7.- RECURSOS DISPONIBLES	51
3.1.8.- CAMBIOS PERMITIDOS AL SISTEMA.....	51
3.1.9.-CRITERIO PARA SELECCIONAR CONCEPTOS DE SOLUCIÓN.....	51
3.2.-FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	52
3.2.1.- CONSTRUIR UN DIAGRAMA.....	52
3.2.2. - DIRECCIONES PARA INNOVAR.....	53
3.3.-PRIORIZAR DIRECCIONES	53
3.3.1.- DIRECCIONES SELECCIONADAS PARA CONSIDERACIONES FUTURAS.....	53
3.4.-DESARROLLAR CONCEPTOS	55
3.4.1.- CATEGORIZAR IDEAS PRINCIPALES	55
3.4.2.- COMBINAR IDEAS CON CONCEPTOS.....	56
3.5.-SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	56
3.5.1.- EVALUAR RESULTADOS	56
3.5.2.- REVELAR Y PREVENIR FALLAS POTENCIALES.....	62

CAPITULO 4	64
4 DISEÑO MECANICO	64
4.1.- CRIBA	64
4.1.1.- DIMENSIONES PRINCIPALES DE COMPONENTES	64
4.1.2.- POTENCIA DE ENTRADA.....	68
4.1.3.- DISEÑO DEL SISTEMA SEPARADOR	68
4.1.5- ANALISIS POR IMPACTO	104
4.1.6.- DISEÑO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.....	106
4.1.7.- ANÁLISIS POR FATIGA	112
4.1.8.- ANALISIS DE SOLDADURAS	117
4.1.9.- DISEÑO SISTEMA DE CONTROL	126
4.2.- ANALISIS DE VIBRACIONES	127
4.3.- SIMULACION Y VERIFICACION DE LOS SISTEMAS DISEÑADOS.....	130
4.3.1.-ANALISIS DE ESFUERZOS.....	130
4.3.1.1.- CONCLUSIONES OBTENIDAS EN BASE A LOS MODELOS DE SIMULACION, VERIFICACIÓN Y ESFUERZOS	139
CAPITULO 5	142
5 ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO	142
5.1.- ANÁLISIS ECONÓMICO	142
5.2.- ANÁLISIS FINANCIERO.....	145
CAPITULO 6	148
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	148

6.1.- CONCLUSIONES.....	148
6.2.- RECOMENDACIONES	149
BIBLIOGRAFÍA.....	150

INDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 4-1: ÁREA DE CRIBADO	65
ECUACIÓN 4-2: FACTOR DE CORRECCIÓN QN.....	67
ECUACIÓN 4-3: LARGO NOMINAL.....	67
ECUACIÓN 4-4: DENSIDAD.....	70
ECUACIÓN 4-5: SUMATORIA DE FUERZAS EN X.....	72
ECUACIÓN 4-6: SUMATORIA DE FUERZAS EN Y	73
ECUACIÓN 4-7: SUMATORIA DE MOMENTOS EN H	73
ECUACIÓN 4-8: REACCIÓN EN GY´	73
ECUACIÓN 4-9: ESFUERZO FLECTOR EN LA FIBRA H SECCIÓN I	75
ECUACIÓN 4-10: FACTOR DE SEGURIDAD EN LA FIBRA H SECCIÓN I....	75
ECUACIÓN 4-11: ESFUERZO FLECTOR FIBRA H1 SECCIÓN I DE LA FUERZA AXIAL.....	76
ECUACIÓN 4-12: ESFUERZO FLECTOR FIBRA H1 SECCIÓN I DEL MOMENTO FLECTOR.....	76
ECUACIÓN 4-13: ESFUERZO CORTANTE FIBRA H1 SECCIÓN I.....	76
ECUACIÓN 4-14: T.E.C.M.....	77
ECUACIÓN 4-15: FACTOR DE SEGURIDAD PUNTO H1 SECCIÓN I.....	77
ECUACIÓN 4-16: MOMENTO MÁXIMO APLICADO EN EL ALA.....	103
ECUACIÓN 4-17: FACTOR DE SEGURIDAD DEL ALA.	103
ECUACIÓN 4-18: SUMATORIA DE FUERZAS EN Y	105

ECUACIÓN 4-19: ECUACIÓN DE IMPACTO	105
ECUACIÓN 4-20: DEFLEXIÓN DE UNA MEMBRANA RECTANGULAR EMPOTRADA EN SUS LADOS.	106
ECUACIÓN 4-21: SISTEMA DE ECUACIONES PARA OBTENER CARGA POR IMPACTO	106
ECUACIÓN 4-22: LIMITE DE ESBELTEZ.....	107
ECUACIÓN 4-23: ESFUERZO APLICADO	107
ECUACIÓN 4-24: FACTOR DE SEGURIDAD.....	107
ECUACIÓN 4-25: ESFUERZO CRÍTICO	108
ECUACIÓN 4-26: FACTOR DE SEGURIDAD REAL	108
ECUACIÓN 4-27: ESFUERZO MEDIO	112
ECUACIÓN 4-28: ESFUERZO ALTERNANTE	112
ECUACIÓN 4-29: RESISTENCIA A LA FATIGA MODIFICADA.....	113
ECUACIÓN 4-30: FACTOR DE SEGURIDAD APLICANDO SODERBERG ..	113
ECUACIÓN 4-31: ESFUERZO CORTANTE PRIMARIO EN LA SOLDADURA.	118
ECUACIÓN 4-32: ÁREA DE LA GARGANTA DE SOLDADURA	119
ECUACIÓN 4-33: ESFUERZO CORTANTE NOMINAL EN LA GARGANTA.	119
ECUACIÓN 4-34: SEGUNDO MOMENTO DEL ÁREA UNITARIA	119
ECUACIÓN 4-35: SEGUNDO MOMENTO DE INERCIA CON BASE EN EL ÁREA DE LA GARGANTA	120
ECUACIÓN 4-36: ESFUERZO CORTANTE RESULTANTE EN LA SOLDADURA	120

ECUACIÓN 4-37: ESFUERZO CORTANTE PERMISIBLE DE LA SOLDADURA	121
ECUACIÓN 4-38: FACTOR DE SEGURIDAD PARA LA SOLDADURA	121
ECUACIÓN 4-39: DESPLAZAMIENTO DEL RESORTE DEBIDO A LA CARGA ESTÁTICA.....	128
ECUACIÓN 4-40: FRECUENCIA NATURAL CON CARGA	128
ECUACIÓN 4-41: FRECUENCIA NATURAL SIN CARGA	129
ECUACIÓN 4-42: AMPLITUD QUE GENERA EL DESBALANCE	129
ECUACIÓN 4-43: FUERZA GENERADA EN EL EJE Y	129
ECUACIÓN 4-44: FUERZA GENERADA EN EL EJE X	129

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: TÉCNICA EN RELACIÓN A SU AMBIENTE Y SUB, SUPER-SISTEMAS	16
FIGURA 2-2: ESQUEMA DE UN PROBLEMA.....	30
FIGURA 3-1: ESQUEMA DE UN PROBLEMA.....	52
FIGURA 4-1: ESQUEMA DEL MATERIAL PASANTE Y NO PASANTE	65
FIGURA 4-2: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL PRIMER NIVEL	69
FIGURA 4-3: DIAGRAMA EQUIVALENTE DE CUERPO LIBRE DEL PRIMER NIVEL	70
FIGURA 4-4: DIAGRAMA DE FUERZA AXIAL	73
FIGURA 4-5: DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE	74
FIGURA 4-6: DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.....	74
FIGURA 4-7: ESTADO BIAxIAL DE ESFUERZOS EN H1	76
FIGURA 4-8: ESTADO BIAxIAL DE ESFUERZOS EN H	78
FIGURA 4-9: ESTADO BIAxIAL DE ESFUERZOS EN H	79
FIGURA 4-10: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL SEGUNDO NIVEL	80
FIGURA 4-11: DIAGRAMA DE FUERZA AXIAL	85
FIGURA 4-12: DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE	85
FIGURA 4-13: DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR.....	85
FIGURA 4-14: PERFIL CX125X50X6.....	86
FIGURA 4-15: ESTADO BIAxIAL DE ESFUERZOS.....	87

FIGURA 4-16: ESTADO BIAXIAL DE ESFUERZOS	89
FIGURA 4-17: ESTADO BIAXIAL DE ESFUERZOS	90
FIGURA 4-18: DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL TERCER NIVEL.....	91
FIGURA 4-19: DIAGRAMA EQUIVALENTE DE CUERPO LIBRE DEL TERCER NIVEL.....	93
FIGURA 4-20: DIAGRAMA DE FUERZA AXIAL.....	96
FIGURA 4-21: DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE	96
FIGURA 4-22: DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR	97
FIGURA 4-23: PERFIL CX125X50X6	97
FIGURA 4-24: ESTADO BIAXIAL DE ESFUERZOS	99
FIGURA 4-25: ESTADO BIAXIAL DE ESFUERZOS	101
FIGURA 4-26: ESTADO BIAXIAL DE ESFUERZOS	102
FIGURA 4-27: MALLA METÁLICA EMPOTRADA EN TODOS SUS LADOS.	105
FIGURA 4-28: CARGAS EN LA ESTRUCTURA PRINCIPAL.....	109
FIGURA 4-29: FUERZA CORTANTE	110
FIGURA 4-30: MOMENTO FLECTOR	110
FIGURA 4-31: DIAGRAMA DE SOLDADURA ENTRE COLUMNAS.....	117
FIGURA 4-32: ESQUEMA DE SOLDADURA DE FILETE	118
FIGURA 4-33: ESQUEMA DE SOLDADURA DE FILETE	122
FIGURA 4-34: ESQUEMA DE SOLDADURA DE FILETE	123
FIGURA 4-35: ESQUEMA DE SOLDADURA DE FILETE	124
FIGURA 4-36: ESQUEMA DE SOLDADURA DE FILETE	125

FIGURA 4-37: ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONTROL.....	126
FIGURA 4-38: SIMULACIÓN TENSIONES PRIMER DECK-FACTOR DE SEGURIDAD	131
FIGURA 4-39: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES PRIMER DECK.....	131
FIGURA 4-40: SIMULACIÓN TENSIONES SEGUNDO DECK-FACTOR DE SEGURIDAD	132
FIGURA 4-41: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES SEGUNDO DECK.....	133
FIGURA 4-42: SIMULACIÓN TENSIONES TERCER DECK-FACTOR DE SEGURIDAD	134
FIGURA 4-43: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES TERCER DECK	134
FIGURA 4-44: SIMULACIÓN TENSIONES UNIÓN PRIMERO Y SEGUNDO DECK- FACTOR DE SEGURIDAD.....	135
FIGURA 4-45: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES UNIÓN PRIMERO Y SEGUNDO DECK.....	136
FIGURA 4-46: SIMULACIÓN TENSIONES UNIÓN SEGUNDO Y TERCER DECK- FACTOR DE SEGURIDAD.....	137
FIGURA 4-47: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES UNIÓN SEGUNDO Y TERCER DECK.....	137
FIGURA 4-48: SOPORTE RESORTES- FACTOR DE SEGURIDAD.....	138
FIGURA 4-49: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES SOPORTE RESORTES....	138
FIGURA 4-50: DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES ESTRUCTURA PRINCIPAL	139

INDICE DE TABLAS

TABLA 2-1: ERRORES TÍPICOS EN PROBLEMAS TÉCNICOS, FORMULACIONES Y MÉTODOS PARA ELIMINARLOS.....	27
TABLA 2-2: PARÁMETROS DE ALTSHULLER.....	29
TABLA 2-3: MATRIZ DE CONTRADICCIÓN	41
TABLA 4-1: PORCENTAJE DE MATERIAL PASANTE SEGÚN NECESIDADES	64
TABLA 5-1: COSTO Y DETALLE DE EQUIPOS.	143
TABLA 5-2: COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	144
TABLA 5-3: COSTO ANUAL DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA.....	145
TABLA 5-4: CARACTERÍSTICAS DE LA MAQUINA A COMPARAR.	145
TABLA 5-5: COSTO ANUAL DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA A COMPARAR.	145
TABLA 5-6: COSTO POR M ³ DEL PROYECTO.....	146
TABLA 5-7: COSTO POR M ³ DE MÁQUINA IMPORTADA	146
TABLA 5-8: AHORRO ANUAL /M ³ DE MATERIAL	146
TABLA 5-9: FLUJO DE CAPITAL PARA 5 AÑOS.....	147
TABLA 5-10: VALORES TIR, VAN, B/C.....	147

LISTADO DE ANEXOS

Anexo A: Manual de Cribas Facó.

Anexo B: Encuestas

Anexo C: Planos de diseño de la máquina.

PRESENTACIÓN

Actualmente la competitividad que se requiere para un mundo cambiante es sumamente importante debido al crecimiento económico de las naciones, estas van entrando a una etapa de cambio global.

Para lograr un cambio significativo lo que se debe hacer es cortar la importación de nuevas tecnologías y de esta manera investigar dentro de este campo para que así nuestras empresas puedan entrar a ser mas competitivas.

El plan de este proyecto es realizar el diseño de una máquina cribadora de rocas modular para cualquier cantera existente en nuestro país. El concepto principal es modernizar los métodos de cribado de rocas e implementar nuevas tecnologías.

En la industria de la construcción se utilizan métodos antiguos para el cribado de material pétreo. Se suele utilizar una simple malla o Cribas de gran tamaño que dificultan su traslado.

El sistema de las Cribas es bastante sencillo, mediante un desbalance de masas se genera una vibración, la cual ocasiona que la criba entre en movimiento y por ende la separación de piedras empieza.

Este diseño de Cribas tienen que tener un sistema que pueda controlar la transmisión de vibraciones al resto de la estructura, por lo general se colocan resortes en determinadas secciones para evitar el efecto dañino de las vibraciones.

El diseño ideal de este tipo de maquinarias va a ser una que sea de bajo costo, hecho con materiales que se puedan conseguir en nuestro país, que sea de fácil mantenimiento y cumpla con las capacidades requeridas.

El hecho de que la criba sea modular hace que esta tenga facilidad de transporte de un lugar a otro, y capacidad de carga variable.

La capacidad de carga variable significa que mediante la separación de los decks se puede aumentar o disminuir la cantidad de material pétreo a cribar.

El problema fundamental de este tipo de maquinarias es que trabajan con vibraciones, es por esto que hay que realizar un diseño seguro y resistente, para que la maquinaria no sufra ningún desperfecto y a su vez el operador de la máquina no tenga ningún accidente.

La metodología de diseño a utilizar va a ser el T.R.I.Z (Teoría para la resolución de problemas con soluciones inventivas), el cual se basa en la idealidad del diseño, en ver las contradicciones que este genera, para así sacar mediante una matriz de decisiones la solución ideal. El T.R.I.Z ayuda a simplificar el diseño final deseado y a su vez disminuye el costo de fabricación.

Para empezar la realización de este proyecto se tiene que tener presente los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera, los cuales están en el campo de: Mecánica de materiales, Resistencia de materiales, Procesos de manufactura, tecnología de fundición y soldadura, Diseño de elementos, y los que están dentro del área de Ing. Económica y financiera y la manera de realizar un proyecto.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1.- ANTECEDENTES:

1.1.1.- INTRODUCCION:

Las Cribas son elementos mecánicos diseñados para la separación de material pétreo existente en los diferentes tipos de industrias en el mundo.

Existen diferentes tipos de Cribas según la necesidad, actualmente se las utiliza en canteras para obtener la materia prima que se requiere en la industria de la construcción.

Las Cribas vibrantes **serie KS marca URBAR¹** transmiten al producto a manipular un **movimiento** multidireccional o **circular**. El **accionamiento** se lleva a cabo por medio de un motor eléctrico con un eje cardan conectado al eje principal. Equipado con dos masas excéntricas ajustables a cada lado del eje, incorpora rodamientos de rodillo especiales lubricados con grasa. La velocidad y la amplitud de la vibración se adaptan a los diferentes productos obteniendo así la mayor eficiencia de cribado.

Las Cribas de la **serie IM marca URBAR** están concebidas siguiendo el principio del cribado estadístico o de probabilidad. Este principio se basa en seleccionar las luces de malla, la frecuencia, la amplitud y el ángulo de vibración, así como la inclinación de las telas, buscando siempre la máxima probabilidad de paso de cada partícula. De este modo, se consigue que el cribado tenga lugar en muy pocos intentos de paso de la partícula (rebotes) o lo que es lo mismo, en muy poca longitud de la malla.

¹ <http://www.urbar.com/>

Así como los dos tipos de cribas descritos anteriormente existen otros tipos de criba con diferente tipo de movimiento vibratorio, todo dependiendo del tipo de trabajo que se va a realizar.

1.1.2.- SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.

Esta elección nunca debe ser arbitraria, se debe conocer bien los resultados que quieren obtener, así como las limitaciones que se tienen, no siempre es necesario o conveniente utilizar el mejor material desde el punto de vista mecánico.

Una vez que se conocen las cualidades, calidades y exigencias de la obra, el técnico debe elegir los materiales² que más convengan atendiendo a unos factores, finalidad utilitaria, función estructural, exigencia estética y limitación económica.

Solamente con un profundo conocimiento de los materiales, las técnicas constructivas y un cierto grado de experiencia podremos atinar en la correcta elección, de modo que en vez de hacer una disociación de cualidades incompatibles, logremos un todo homogéneo y en armonía.

1.1.3.- EXPLOTACIÓN DE CANTERAS:

Al ser yacimientos de materiales duros y compactos necesitamos medios especiales de explotación, como los barrenos, en cuyo interior se sitúan cargas explosivas. El procedimiento de explotación de una cantera a grandes rasgos se hace de la siguiente manera:

-Se perfora en barreno de forma manual o mecánica, esto no es más que un agujero, en cuyo final se hace una cuevita por medio de algún reactivo químico que lo disuelva o con una pequeña carga explosiva.

-Una vez perforado el barreno se procede a la colocación del explosivo, que por seguridad nunca pasará del 20% del volumen de perforación. Éste consta de tres elementos: la masa explosiva, el detonador, y la mecha. Tras

² <http://www.arqhys.com/materiales-construccion.html>

descenderlos lentamente por el barreno, se realiza el atacamiento, es decir que se va introduciendo arena por el agujero y compactando con mucho cuidado para cerrarlo de modo que solamente asome la mecha.

-Con todo lo anterior se dispone la voladura con una mecha individual para cada barreno, o con una común a todos ellos. En caso de que alguno no explotase, el cabuquero debería entrar pasada media hora localizar el elemento que no hubiera hecho y, colocando otro forzar su explosión.

-Tras esto, si hiciera falta por ser los fragmentos demasiado grandes, se realizaría otra voladura secundaria o taqueo, en el cual se fragmentarían estos.

-La trituración previa, tras la voladura y el taqueo, se realiza para que llegue a la fábrica con un tamaño y granulometría adecuados. Generalmente en la cantera solo se realiza una primera fase y otra en la fábrica.

1.1.4.- EXPLOSIVOS:

Para que una sustancia³ que cumple la condición de transformarse en gases a alta presión pase a fabricarse industrialmente, además debe cumplir una serie de condiciones:

-Su sensibilidad al choque ha de ser tal que permita su manipulación sin riesgo, pero que se pueda explotar por medios sencillos.

-Su estabilidad química permitirá su almacenaje sin alteraciones.

-Su fabricación será fácil y barata.

Con todas estas limitaciones quedan bastante reducidas las posibilidades de elección de los explosivos.

³ <http://mineria.iespana.es/explos.htm>

1.1.5.-TRITURACIÓN PREVIA:

Una vez que el material se puede cargar en la pala, se somete a un desmenuzamiento orientado a optimizar su tamaño y granulometría para los posteriores procesos a los que vaya a ser sometido en la fábrica. Esta operación se hace en dos etapas, de las cuales solo la primera se realiza en la cantera. El material se transporta a la tolva de alimentación de la trituradora, siendo preciso dimensionar la boca de salida de ésta para evitar el acodamiento de las piedras de gran tamaño, pero a la vez cuidando por una regulación de dispositivos la salida hacia la máquina para conseguir una continua y uniforme alimentación, la forma más corriente es un distribuidor de cadenas regulado con un peso (calculando el peso de las cadenas para que durante las paradas soporten el empuje de la piedra), y el movimiento lento del tambor para la salida de la máquina.

1.1.6.- SELECCIÓN DE LA MAQUINARIA:

Se ha de prestar especial cuidado en el tipo de trituradora a instalar, de acuerdo con:

- La naturaleza y condición de los materiales en lo referente a su dureza y poder abrasivo.
- El estado de la roca en la cantera, que hace prever la forma del material extraído y esta forma determina el tipo de trituradora.
- El tamaño máximo de alimentación, que deberá ser del 70-75% de la boca de entrada. Este tamaño junto con el grado de reducción regula la necesidad de realizar o no sucesivas etapas de trituración.
- Grado de reducción o relación entre los diámetros medios del material a la entrada y salida de la machacadora.
- La capacidad de trituración primaria, que ha de ser del orden del 30-35% más elevado que la del resto de las instalaciones por razón de la intermitencia de su trabajo, por los retrasos de las palas, dificultades del traqueo o condiciones atmosféricas que pueden paralizar el trabajo.

1.1.7.- MÁQUINAS TRITURADORAS:

La operación de trituración se basa en someter al material a tensiones superiores a su límite elástico de manera que se rompa. Hay dos maneras de romper, por compresión o por golpe, existiendo un tercer tipo combinación de los dos anteriores.

Dentro del grupo de las de compresión están:

-Machacadoras de mandíbula: Una cámara de fracturación de cuatro paredes de las que una es móvil y está provista de un movimiento que la acerca y aleja alternativamente de ella, la boca de llenado puede llegar a medir 1,50 m.

-Machacadora giratoria: Consta de una superficie fija en forma troncocónica invertida, alrededor de cuyo eje girará la superficie de machaqueo móvil en forma troncocónica normal, al entrar material entre las dos superficies, rellenando el espacio en el cual se producirá la trituración por acercamiento del tronco móvil, tras la cual cae el material al retirarse dicho tronco, muy similar a la de mandíbula pero con menor tamaño de recepción.

-Trituradora⁴ de rodillo: Es adecuada para materiales blandos. La trituración se produce al pasar los materiales entre unos cilindros lisos o corrugados, que giran a igual o distintas velocidad. Su grado de reducción es menor que el de otras.

Las máquinas de trituración por impacto fragmentan por un golpe rápido impartido por los elementos móviles sobre las piedras o por choque de las piedras contra superficies rompedoras, dentro de ellas están:

-Machacadora de martillos oscilantes: Constan de una placa rompedora y una serie de martillos en aspa que en su giro golpean las piedras, quedando el tamaño máximo limitado a la distancia entre la placa y los martillos.

⁴ http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_127.htm

-Machacadora de martillos fijos: Consta de dos rotores provistos de martillos que giran y lanzan las piedras contra unas rejillas, donde las pequeñas pasan y las grandes se fragmentan.

1.1.8.- CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS:

Existen varias maneras de clasificar⁵ las rocas. Vamos a utilizar las que se dividen en Eruptivas, Sedimentarias y Metamórficas:

-Rocas eruptivas:

-De profundidad o plutónicas (batolitos):Granito, sienita, diorita, gabro, peridoto, serpentina.

-Efusivas o volcánicas (mantos eruptivos): Pórfido, traquita, diabasa, basalto, tobas volcánicas.

-Filoneanas (lacolitos): Pórfido (granítico, cinético y diorítico), aplita, pegmatita, felsita.

-Rocas sedimentarias:

-De sedimentación mecánica: Areniscas, conglomerados y brechas.

-De sedimentación por desecación: Algez.

-De sedimentación por insolubilización: Dolomía, caliza química, marga.

-De sedimentación biológica: Caliza biológica, kieselgur, trípoli, carbón mineral.

-Rocas metamórficas:

-Gneis.

-Serpentina.

-Micacita o pizarra micácea.

⁵ http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_127.htm

-Pizarra común, regular o arcillosa.

-Mármol.

1.1.9.- PROPIEDADES DE LAS ROCAS:

El color de las rocas corresponde al de sus minerales esenciales y a la proporción en la que entra cada uno de ellos, variando con la finura de labra.

Las rocas presentan unas estructuras muy variadas, por consiguiente diferentes planos de fractura, lo cual nos da una idea de su aptitud para la labra y para su identificación. La densidad real y aparente, su porosidad y compacidad varían de una variedad a otra, e incluso dentro de una misma variedad por las alteraciones sufridas. Su conductividad térmica es muy baja, al contrario que su calor específico. Como todos los materiales se dilatan al cantar y contraen al enfriar. Su resistencia al fuego es generalmente mala y su flexibilidad pequeña. Su mayor resistencia la presentan sin duda a compresión, cuyo valor varía enormemente entre rocas. Atendiendo a su dureza se clasifican en blandas, semiduras, duras y muy duras. En cuanto a su cohesión, coherentes, friables, sueltas y agrias. La durabilidad se relaciona con la textura, estructura y composición.

1.1.10.- GRANULOMETRÍA

La granulometría⁶ es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (norma ASTM C 136). El tamaño de partícula del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre aberturas cuadradas. Los siete tamices estándar ASTM C 33 para agregado fino tiene aberturas que varían desde la malla No. 100(150 micras) hasta 9.52 mm.

Los números de tamaño (tamaños de granulometría), para el agregado grueso se aplican a las cantidades de agregado (en peso), en porcentajes que pasan a través de un arreglo de mallas. Para la construcción de vías terrestres, la norma ASTM D 448 enlista los trece números de tamaño de la ASTM C 33,

⁶ <http://www.arqhys.com/granulometria.html>

más otros seis números de tamaño para agregado grueso. La arena o agregado fino solamente tiene un rango de tamaños de partícula.

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto.

1.1.11.- GRANULOMETRIA DE LOS AGREGADOS FINOS

Depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas mas pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que mas se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo mas conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua – cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. Entre mas uniforme sea la granulometría, mayor será la economía. Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30mm (No. 50) y de 15mm (No. 100) sean reducidos a 15% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

1): El agregado que se emplee en un concreto que contenga más de 296 Kg de cemento por metro cúbico cuando el concreto no tenga inclusión de aire.

2): Que el modulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, el agregado fino se deberá rechazar a menos de que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones el agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No. 50) y de 1.15 mm (No. 100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto. El modulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los

porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. El modulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el modo de finura, mas grueso será el agregado. El modulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

1.2.- DEFINICION DEL PROBLEMA

Las actividades de cribado de material pétreo en nuestro país de manera general se lo hace mediante el uso de maquinas y equipos de diseño extranjero pero de fabricación local.

Este tipo de maquinas de acuerdo a las primeras investigaciones realizadas son en general de capacidad superior a las que usualmente requieren los usuarios locales., causando perdidas económicas tanto en la operación del equipo como porque no tiene un valor de recuperación, ya que luego de que se terminara la explotación de la cantera la máquina queda abandonada además que la inversión inicial es superior a la que se requeriría usualmente.

Dado que el diseño de las maquinas no ha variado en los últimos años, estas son de gran tamaño y peso, es por esto que su traslado a otros sitios de trabajo se complica y se opta por abandonar la maquinaria.

Dado estos problemas se propone encontrar un diseño más funcional de la máquina acorde a las necesidades locales en cuanto a capacidad y realizando un uso optimo de los materiales, haciendo que el diseño final sea resistente y liviano para su fácil transporte, por lo cual se propone utilizar un método alternativo de diseño que va a permitir mejorar y modernizar el diseño. Este método de diseño se lo conoce como T.R.I.Z, el cual mediante contradicciones permite llegar a un diseño óptimo y económico.

1.3.- OBJETIVO GENERALES

El objetivo del proyecto es realizar el diseño de una máquina cribadora modular de material pétreo mediante un método de diseño llamado T.R.I.Z (Theory of Inventive Problem Solving).

1.4.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar y analizar lo que el cliente necesita, para así poder cumplir con todos los requerimientos de este.
2. Utilización de metodologías de diseño que enfoquen la solución ideal (T.R.I.Z)
3. Diseñar una máquina cribadora con diferentes tamaños de separación de material pétreo.
4. Realizar diseño mecánico de la criba utilizando software adecuado basado en elementos finitos.
5. Determinar costos de fabricación.

1.5.- ALCANCE DEL PROYECTO

- 1.- Diseñar una máquina cribadora de material pétreo, basada o fundamentada en el método TRIZ para el diseño básico.
- 2.- El diseño de detalle se basara en software para optimizar el uso de los materiales.

1.6.- META DEL PROYECTO

En el desarrollo de este proyecto se considerarán los siguientes aspectos fundamentales:

- Obtener planos de detalle del diseño.
- Obtener el presupuesto de la máquina.
- Que tiempo se va a demorar el proyecto de la maquina.

CAPITULO 2

2 APLICACIÓN DEL TRIZ PARA ENCONTRAR SOLUCIONES

2.1.- MARCO TEORICO:

TRIZ es el acrónimo ruso de Teoría para la Resolución de Problemas Inventivos.

Esta teoría surge del análisis que inició y consolidó Genrich S. Altshuller y que sus discípulos han continuado hasta el estudio de más de 2,5 millones de patentes de todo el mundo. Con ello, se han identificado los principios y la organización del conocimiento para la resolución de problemas técnicos de gran dificultad, que requieren soluciones totalmente innovadoras e ingeniosas.

En la actualidad, diversos equipos científicos e industriales están profundizando y avanzando en esta metodología y sus resultados.

La práctica de TRIZ nos permite:

- Simplificar técnicamente los productos y los procesos, ganando en costes, fiabilidad y vida media. La mejor máquina es la que no existe pero sus funciones siguen dando servicio.
- Resolver conflictos y contradicciones técnicas sin necesidad de soluciones intermedias ni de optimización del compromiso.
- Concebir de forma rápida, las próximas generaciones de productos y procesos. Reducir el ciclo de desarrollo partiendo inicialmente de un concepto correcto.

TRIZ AYUDA A CREAR PRODUCTOS Y PROCESOS INNOVADORES DE FORMA RÁPIDA Y SENCILLA

INTRODUCCION

En 1946 cuando el ingeniero ruso de 22 años Genrich Altshuller, que por entonces era un examinador de patentes de la armada Soviética, había revisado cerca de 200.000 patentes clasificándolas por su principio inventivo, por la forma de resolver el problema. Ello le llevó a catalogar una serie de pasos necesarios, presentes en la mayoría de invenciones y que podían aplicarse a cualquier nueva invención que se intentara acometer.

A partir de ahí, escribió una carta a Stalin proponiendo algunas ideas para mejorar la tecnología Soviética, por lo cual fue puesto en prisión (por pretender que lo Soviético no era perfecto!). Allí tuvo Altshuller ocasión de perfeccionar las ideas y desarrollar la Teoría para Resolución de Problemas de Invención, mas conocida como TRIZ. Una técnica que permite a cualquier técnico mejorar notablemente su capacidad inventiva para la resolución de problemas, produciendo ideas incluso patentables.

PRINCIPALES CRITERIOS E INSTRUMENTOS DEL TRIZ

- *Análisis preliminar:* puede evitar soluciones de cambio de problemas⁷ de conteniendo contradicciones y puede ayudar a clarificar información importante sobre la técnica y ocultar soluciones futuras.
- *Matriz de contradicción:* consiste en contradicciones técnicas entre las características a mejorar y las características que pueden ser afectadas arbitrariamente.
- *Principios de separación:* Ayuda a resolver las contradicciones físicas generales entre características contrarias de un subsistema simple.
- *Análisis del campo de substancias (su-field):* es una aproximación a un modelo basado en lenguaje simbólico que puede recordar transformación de sistemas técnicos y procesos tecnológicos.
- *Aproximaciones estándar a problemas de inventiva:* está basado en la observación de que muchos problemas técnicos de inventiva de varios campos de la ingeniería son resueltos por las mismas aproximaciones

⁷ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 25

genéricas. Los estándares contienen clases típicas de sus soluciones, que usualmente pueden ser presentados en términos de análisis (Su-field).

- *Algoritmo para la solución de problemas de inventiva (ARIZ):* Procedimientos lógicos secuenciales para eliminar la contradicción constante del sistema. ARIZ se considera uno de los más poderosos y elegantes instrumentos del TRIZ. Este incluye el proceso de reformulación de problemas y reinterpretación hasta que la definición precisa sea alcanzada.
- *Métodos agente:* Es un proceso gráfico-lógico para la implementación de procesos hacia, atrás, adelante o pasos bidireccionales entre la situación inicial y deseada donde ellos pueden, respectivamente, ser presentados como la correcta declaración de un problema y el resultado final ideal.

Los problemas de estructura; ayudan a navegar entre varios análogos. En adición, técnicas fueron creadas en el cuadro de trabajo del TRIZ para muchas operaciones que estén siempre presentes en el análisis o mejoramiento de una técnica, tal como declaración de problemas, búsqueda de recursos y reducción de contradicciones topológicas.

Los puntos a continuación son importantes:

- Cada criterio o instrumento del TRIZ fue probado varias veces; algunos cientos de soluciones fueron obtenidas con cada criterio durante y después de las pruebas.
- Cada nuevo criterio o instrumento debe ser probado con mucho cuidado.
- Es imposible resolver problemas con un grado de dificultad muy alto solo con el conocimiento de los criterios o instrumentos del TRIZ, sin antes aprender todo el procedimiento metodológico de este.

PARTES DE UNA TECNICA

SUBSISTEMAS

La técnica⁸ puede consistir en subsistemas arreglados de cierta manera en el espacio (sistemas, dispositivos, máquinas, substancias, elementos), y/o subsistemas interconectados en el tiempo (procesos tecnológicos, pasos de trabajo, métodos, y operaciones). Los subsistemas son en si sistemas, a cambio, por subsistemas de si mismo, y así seguir hasta un nivel granular donde los elementos y las operaciones puedan ser etiquetadas. El razonamiento del TRIZ no requiere que los elementos y operaciones sean invisibles. Varios puntos de vista con diferente granularidad en la misma técnica pueden coexistir.

Un elemento también puede ser visto como un sistema; al igual que, un sistema puede ser visto como un elemento dentro de un sistema mas grande— un *súper sistema*. Todas las técnicas tienen sistemas subordinados y también sirven como parte de súper sistema de mayor nivel.

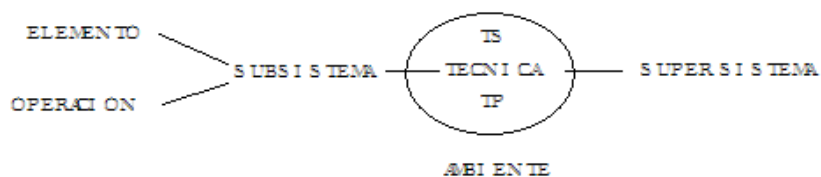


Figura 2-1: Técnica en relación a su ambiente y sub, super-sistemas

Sin más que decir, un supersistema o entorno puede ser una técnica para un subsistema de la técnica bajo consideración. Por ejemplo: la técnica “producción de TV” como un TP(proceso tecnológico), es parte de un supersistema “industria electrónica”, esto también incluye una serie de subsistemas: manufactura de cátodos especiales, ensamble de tubos de vidrio para pantallas, y otros procesos más. Producción de TV es parte del proceso tecnológico televisión, que en cambio, es parte de un supersistema mayor rango -- información de distribución -- y así sucesivamente. Por otra parte, TV,

⁸ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 36

como un TS (sistema técnico), puede ser parte de un supersistema “recibidores de onda electromagnéticas, y consiste de sus propios subsistemas: pantalla, amplificador, canal acústico, platos, conectores, etc.”

En general la técnica, de TP o TS, sus subsistemas y sus supersistemas forman una simple jerarquía.

Cualquier TS puede ser dividido en varios subsistemas que dependen de campos específicos de la ingeniería.

Escogiendo el grado de granularidad correcta en análisis TP y TS en TRIZ, el éxito de la toma de decisiones depende en la habilidad del que va a resolver el problema.

TECNICA TP Y TS

El propósito de cualquier técnica es la de efectuar alguna función en orden de transformar un objeto no procesado en un producto.

Todas las técnicas⁹ cumplen las siguientes condiciones:

- Son diseñadas para un propósito, ejecutan funciones útiles.
- Tienen un grupo de características o propiedades y sus parámetros.
- Son organizados en el tiempo y el espacio.

La ausencia de alguna de las condiciones mencionadas anteriormente no nos permite el considerar un objeto como técnica.

TP (Proceso tecnológico)

Un TP es una secuencia determinada de pasos individuales y actividades.

TP puede ser simple y consistir de solo una operación de trabajo, o puede ser muy complicada y consistir de varios miles de operaciones. Muchos TP tienen

⁹ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 39

una estructura interna de operaciones que pueden ser descritas en una regla, prescripción, regulación, instrucción, procedimiento, etc. Un TP puede ser también rígido – su secuencia de operaciones está determinada, una vez y para todo el tiempo, o puede ser un TP flexible con control adaptable – la secuencia de operaciones depende del resultado de una operación precedente.

Para un TP flexible, ciertas condiciones de las operaciones precedentes deben ser repasadas antes de la siguiente operación arranque.

El número de factores conocidos que afectan al TP es muy grande; consecuentemente, cualquier proceso tecnológico puede ser categorizado desde varios puntos de vista.

- Aplicación tecnológica (Química, mecánica, etc.)
- Acciones primarias y otras acciones, que están basadas en físicas, geológicas, biológicas, y otros fenómenos
- Las clases principales de objetos no procesados y productos(sustancias, campo e información)
- El lugar y/o tiempo

TS (SISTEMA TECNOLÓGICO)

La noción de sistema también puede depender en que, si algún interés que tengamos en la característica de un sistema en particular. Por ejemplo, los fragmentos de un auto chocado no serían considerados por algunas personas como sistemas, pero sería un sistema para los policías que investigan el accidente. Generalmente, cualquier sistema tiene características que no son iguales a un simple resumen de sus elementos o subsistemas constituyentes.

En algunos casos, los sistemas exhiben propiedades que son incluso contrarias a las propiedades de sus subsistemas. Por ejemplo: Un abre latas TS tiene cierta especificación de cortar cierto tipo de metales de superficies específicas, donde ninguno de sus elementos por separados muestran las propiedades de cortado.

Todos los TS se clasifican como dinámicos (TV, carros, cocinas, mezcladoras, pianos) o estáticos (Edificios, lentes ópticos, muebles) dependiendo del tiempo y comportamiento del TS estático. Muy a menudo un TS consiste en los dos subsistemas estático y dinámico. TS dinámico envuelve una especie de cambio con el ambiente y transformación de sustancias y campos. TS estático no tiene una energía explícita e intercambio de masa con el ambiente, sin embargo afectan el ambiente; están caracterizados por aceptar acciones externas (mayormente energéticas) y transmisión (algunas veces con transformación) de ellos a los subsistemas que tienen roles de cobertores.

ESCENARIO DE DISEÑO

El principal punto de referencia en el proceso de síntesis de técnica es el futuro sistema de ganancia. La siguiente secuencia de pasos es posible durante el diseño conceptual:

1. Metas¹⁰ para una nueva técnica son reconocidas y verificadas (análisis tecnológico)
2. Función primaria (PF) es formulada.
3. Principios del efecto en las herramientas de trabajo en un producto son determinadas (análisis del comportamiento)
4. Modo del rendimiento del PF es determinado (análisis físico y económico)
5. Herramientas de trabajo son seleccionadas o sintetizadas (análisis estructural)
6. Esquema funcional es construido en la primera aproximación basada en una idea sobre un subsistema mayor
7. Transmisiones, motores, fuente de energía, y sistemas de control son seleccionados y unidos con la herramienta de trabajo dentro de un módulo. Los parámetros de todos los subsistemas tienen que ser ajustados para que pueda cumplir con sus metas predestinadas.

¹⁰ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 54

Por ejemplo, un esquema simple para un flujo lineal de energía es:

Fuente de energía---Motor---Transmisión---Herramienta de trabajo---Producto

Otros esquemas más detallados son creados con respecto a los subsistemas jerárquicos, sus parámetros y características, y tipos de campos y sustancias que fluyen de un subsistema a otro.

El esquema de una construcción estructurada es muy importante durante la síntesis de la técnica. Está basado en las reglas de formación estructurada que incluye, funcionalidad, causa, subsistemas llenos y complementarios.

Mas adelante, la estructura es determinada por la decisión tomada con anterioridad viendo el flujo siguiente:

Meta---función---comportamiento---estructura---subsistema---elemento/operación

Cada evento en una técnica tiene al menos una causa; al mismo tiempo, el evento en si mismo es una causa para eventos subsecuentes. El modo de rendimiento de funciones útiles (UF) está basado en lo que más haga realizar la regla de casualidad. La herramienta de trabajo, que realiza la técnica de función primaria, es lo que construye una cadena de acciones confiable, desde el evento final hasta el inicial.

ESTRUCTURA DE UN PROBLEMA

Debido a la diversidad de TS y TP, variedad de problemas¹¹ pueden ocurrir en cualquier técnica. Inicialmente la estructura de TP y TS no revelan prácticamente nada en como resolver problemas o los requerimientos de la solución. Simplemente describe el estatus quo de la técnica.

Existen algunos problemas estructurales genéricos: punto, par, lineal, red, triángulo, y estrella.

¹¹ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 64

Problemas punto tienen o contradicciones físicas o naturales dentro de un subsistema único o no tienen contradicción alguna. Los problemas punto que envuelven contradicciones físicas por lo general están escondidos, pero casi siempre son la raíz del resto de problemas.

Problemas pares tienen una simple contradicción técnica entre funciones en dos subsistemas. Usualmente aparecen después de la reducción de una situación inventiva de estructuras más complicadas a una serie de contradicciones técnicas independientes.

Problemas lineales tienen cadenas de contradicciones de ingeniería. Usualmente pueden ser presentadas como una secuencia de técnicas dependientes y contradicciones físicas en dos o más subsistemas diferentes.

Problemas de red tienen una repetición de varias contradicciones dependientes (usualmente llamadas matemáticas). Estas aparecen cuando 1, m, y n subsistemas dependen el uno del otro y/o pueden depender de k subsistemas, resultando en técnicas unidas de/o contradicciones físicas.

Problemas triángulo es el caso más simple de problemas de red, tienen tres contradicciones dependientes de ingeniería.

Problemas estrella tienen una serie de técnicas independientes o contradicciones matemáticas con una raíz común que es usualmente una contradicción física. En un cuadro de trabajo de TRIZ, para poder convertir un problema de una estructura compleja a un problema genérico de estructura, es esencial el reformular el problema en términos de subsistemas distinguibles, funciones (primarias, secundarias), y recursos, para aclarar la contradicción en el problema, y recoger sistemáticamente, organizar, y documentar toda la información necesaria relacionada con la situación.

Por simplicidad, solo problemas en sistemas técnicos son discutidos, sin embargo las ideas propuestas son también válidas para procesos tecnológicos. Las diferentes estructuras de los problemas pueden ser presentadas usando un

cuestionario creado por Jhon Terninko, como guía para los problemas de semántica.

Funciones Útiles (UF)

1. ¿Es esta función útil UF_n requerida por otras funciones útiles UF_{n+1} ?
2. ¿Las funciones útiles UF_n causan efectos dañinos HF_n ?
3. ¿Las funciones útiles UF_n fueron introducidas para eliminar efectos dañinos HF_n ?
4. Las funciones útiles UF_n requieren de otras funciones útiles para poder tener mayor rendimiento UF_{n-1} ?

Funciones Dañinas (HF)

1. Las funciones dañinas HF_n causan otras funciones dañinas HF_{n+1} ?
2. Esta función dañina HF_{n-1} es causada por otra función dañina HF_n ?
3. Esta función dañina HF_n es causada por funciones útiles UF_n ?
4. Una función útil UF_n fue introducida para eliminar esta función dañina HF_n ?

TECNICA IDEAL, METODO IDEAL,..., IDEALIDAD

En TRIZ, aplicaciones ideales¹² incluyen el sistema ideal, proceso ideal, recursos ideales, soluciones ideales, métodos ideales, maquinaria ideal, y sustancia ideal. TRIZ ideal se describe de la siguiente forma:

- La máquina ideal que no tiene masa o volumen pero que cumple con los trabajos requeridos.
- El método ideal que no gasta energía y tiempo pero obtiene los efectos necesarios de una manera automática.
- El proceso ideal que actualmente solamente es el resultado del proceso sin el proceso en si.
- La sustancia ideal que actualmente no es sustancia (vacío), pero que su función se cumple.

¹² Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 71

- La técnica ideal que no ocupa espacio, no tiene peso, no requiere mantenimiento, y entrega beneficios sin riesgos, etc., y “ lo hace el mismo”, sin energía adicional, mecanismos, costos, o materiales sin procesar.

Tal declaración representa la idealidad primeramente como un prejuicio mental en contra de la inercia psicológica de la persona que resuelve el problema. Una técnica aspirando la idealidad no tiene extras y puede ser caracterizada a continuación:

- Las funciones primarias y secundarias se ejecutan ahí y solo cuando se las requiere, donde y cuando son necesarias, en cualquier lugar y tiempo.
- La técnica ejecuta solo lo que es necesario, solo PF y UF secundarios.
- La técnica consiste en solo lo que es necesario, solo esos subsistemas e interacciones requeridas para el PF y el UF secundario.
- La técnica no tiene funciones dañinas y neutrales y tampoco tiene apoyo y funciones auxiliares (la necesidad de estas funciones es eliminada)

La técnica puede ser llamada ideal si esta no está ausente pero posee el resto de parámetros ideales para funcionar. El postulado de Mitrofanov es la aproximación secuencial de la técnica real ideal en cada efecto no deseado o parámetro analizado. El atajo de la técnica ideal absoluta a la realidad ocurre en los siguientes pasos:

1. Un resultado que sirve de TP o TS es el que se puedan obtener sin utilizar estos TP o TS.
2. A cada tiempo y cada punto del espacio, TS o TP deben tener solamente esas propiedades e interacciones que son necesarias para la obtención de resultados útiles.
3. Todas las propiedades e interacciones disponibles de los subsistemas y el ambiente deben ser usadas al máximo; pérdidas y desperdicios deben ser eliminados.

4. Trabajo continuo para obtener mejor tiempo, velocidad, masa, eficiencia, energía, etc.

El primer paso orienta al inventor no a crear una técnica, pero al usar algo que ya existe. Este paso puede ser implementado utilizando recursos del ambiente o supersistemas. Cuando este paso es implementado, el número de relaciones entre TS y el supersistema incrementa.

El segundo paso orienta la inventor para que desarrolle TS o TP que tiene solo lo esencial. Este paso puede ser implementado apropiadamente a la especialización de subsistemas es el espacio y tiempo, que guía al incremento en número y diversidad de subsistemas e interacción entre ellos. Debido a un cambio en condiciones operacionales del TS es más una regla que una excepción, la transición de sistemas estáticos a dinámicos es conocido más a menudo. Mayor optimización de distribución de propiedades e interacciones de subsistemas en el espacio y tiempo a menudo requieren un mayor grado de variabilidad de subsistemas. Los subsistemas se hacen menos rígidos, con facilidad tipos controlados de energía.

El tercer paso orienta a la maximización de todos los recursos de técnica. Es aplicado más a menudo, debido a que no hay esenciales absolutos, solamente TP y TS. En el TODO, la implementación de estos pasos nos llevan al incremento de la versatilidad de los subsistemas, este paso está relacionado con el primer paso, que puede ser considerado como aplicación del tercer paso en el nivel de supersistema. Este paso puede ser predominantemente implementado en las siguientes formas:

1. El uso de desperdicios u otros productos no usados de la técnica, subsistemas y elementos.
2. El uso de propiedades ocultas de subsistemas TS; cargan al máximo el subsistema.
3. Con el temor de introducir nuevos elementos, cambiar subsistemas existentes o el ambiente debido a adiciones, campos externos, cambios de forma, etc.

RESULTADO FINAL IDEAL (IFR)

El propósito del IFR¹³ es el presentar un punto de orientación de una solución de un problema y estimular un “proceso posterior” durante la solución de un problema. Es imposible tomar el primer paso a la idealidad sin conocimiento de las características de la técnica que fueron discutidas. En adición también es imposible improvisar una técnica sin el conocimiento de sus recursos.

2.2.- FUNCIONES Y ESPECIFICACIONES DE LA MAQUINARIA IDEAL

2.2.1.- ANTES DE EMPEZAR

- **CORRECTA DECLARACION DEL PROBLEMA**

Los dos pasos más importantes¹⁴ para resolver problemas son definir el problema a resolver y encontrar una solución potencial. Una buena, clara, y simple definición pueden prevenir de un falso comienzo en la búsqueda de una solución. Ingenieros y científicos generalmente repiten la idea de Jhon Dewey que dice que un problema bien definido se puede resolver. Es por esto que la declaración correcta del problema (CSP) juega un rol importante dentro del TRIZ. La creatividad comienza cuando la persona es capaz de iniciar una pregunta o reconocer un problema y después devotamente intentar resolverlo.

Al comienzo del proceso de solución de problemas, uno enfrenta usualmente una situación inicial asociada con desventajas del sistema que deben ser eliminadas o los requerimientos para mejorar una técnica. Estas desventajas pueden ocurrir debido a nuevos requerimientos de sociedad para la técnica o algunos problemas dentro de la técnica. En la práctica real, la persona que resuelve los problemas debe enfrentar la situación inicial, que invariablemente tiene mucha incertidumbre y puntos no claros. Es importante el entender la situación inicial lo mejor posible y transferirla a CSP. Varias declaraciones correctas del problema pueden ser formuladas con la misma situación inicial para diferentes metas de la solución de problemas. Por esta razón, la correcta

¹³ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 77

¹⁴ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 161

declaración del problema significa dar mayor información importante necesaria para la solución de problemas. La posible solución de estos problemas técnicos pueden ser alcanzados al cambiar una técnica dada, alterando uno de sus subsistemas, modificando algún supersistema, o creando una conceptualmente nueva técnica.

- **CLARIFICACION DE PROBLEMAS**

La tabla¹⁵ que se muestra a continuación es para definir el problema a resolver. Una solución eficiente de muchos problemas puede ser obtenida solo cuando la fuente de una función dañina es determinada. Un efecto de una función dañina es cualquier desviación de valores esperados a cualquier parámetro o característica de una técnica.

Las siguientes preguntas ayudan a encontrar la fuente de una función dañina:

Quien—el grado directo de participación humana en la creación de HF.

Donde—el lugar donde el efecto HF se manifiesta.

Cuando—el tiempo donde el efecto HF ocurre

Que—la esencia del efecto HF, que parámetros no son normales

Por que – la razón por la cual el efecto HF aparece o causa del efecto HF

Como—Bajo que condiciones el efecto HF ocurre

¹⁵ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 163

Errores típicos en problemas técnicos, formulaciones y métodos para eliminarlos

Error	Explicación	Método
Declaraciones globales excesivas o sobre concretadas	La declaración del problema es muy general o muy angosta	Concretar el problema, teniéndolo atado a la situación concreta ó explicar el problema en palabras simples usando TRIZ
Problemas falsos	1.- La solución del problema no da un efecto positivo. ó 2.- Un intento es hecho para resolver un problema mucho más complicado en lugar del que necesita ser resuelto ó 3.- La declaración vista de un problema no toma en cuenta las variaciones que pueden tomar lugar durante el tiempo de solución del problema y la reducción a la práctica. ó 4.- Un grupo de problemas que interactúan es mal entendido por un solo problema	1.- Entender el resultado de resolver este problema ó 2.- Reconstruir la situación de un problema de invención y escoger otro problema, el cual es capaz de dar los resultados necesarios ó 3.- Sacar los prospectos de producción y considerar el tiempo necesitado para la implementación de la solución a practicar. ó 4.- Estudiar la estructura del problema, escoger todos los elementos del problema, y resolverlos individualmente, asumiendo que otros problemas en el grupo ya fueron resueltos.
Explicación secundaria	La declaración de un problema viejo dirige una búsqueda de cierta manera no teniendo prospectos y los especialistas explican algunos efectos o peculiaridades en una estructura no por la razón verdadera pero por algunas opiniones falsas que se convirtieron tradicionales y legítimas debido a su largo uso	Reconstruir la situación original de la invención y escoger otro problema y Investigar la naturaleza física del proceso bajo consideración, no confiándose de la explicación ofrecida por el especialista.
Aproximación no sistemática	La declaración de que solo el problema más obvio es dado. Cuando la solución de este problema es obtenida se ve con claridad de que el problema es solo una conexión en una cadena de problemas el cuál impide el desarrollo de TS y TP	Sacar toda la cadena de problemas y encontrar la clave entre ellos

Tabla 2-1: Errores típicos en problemas técnicos, formulaciones y métodos para eliminarlos

• INFORMACION, RESTRICCIONES Y CONJETURAS

El pensamiento¹⁶ inventivo tiene 5 características distintivas:

- La habilidad de presentar al mundo como un sistema con conexiones entre fenómenos y objetos
- La habilidad de considerar varios recursos
- La habilidad de formular contradicciones, eso es, comprender el centro del problema
- La habilidad de considerar cada objeto en evolución (y rastrear su pasado, presente y futuro) a la idealidad

¹⁶ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 165

- La habilidad de clasificar objetos y entender la relatividad de cualquier clasificación.

2.2.2.- RESOLUCIÓN DE CONTRADICCIONES TÉCNICAS

- **PARAMETROS DE INGENIERIA DE ALTSHULLER**

Los principales parámetros¹⁷ utilizados por Altshuller para la ingeniería fueron sacados de más de 40.000 patentes. Extrajo 40 principios de inventiva y 39 parámetros de ingeniería que son genéricos en diferentes campos de la ingeniería. La siguiente tabla muestra esos parámetros:

¹⁷ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 200

Parámetros de Altshuller

1. Peso de un objeto en movimiento
2. Peso de un objeto sin movimiento
3. Longitud de un objeto en movimiento
4. Longitud de un objeto sin movimiento
5. Área de un objeto en movimiento
6. Área de un objeto sin movimiento
7. Volumen de un objeto en movimiento
8. Volumen de un objeto sin movimiento
9. Velocidad
10. Fuerza
11. Tensión, presión
12. Forma
13. Estabilidad de composición de un objeto
14. Resistencia
15. Tiempo de acción de un objeto en movimiento
16. Tiempo de acción de un objeto sin movimiento
17. Temperatura
18. Iluminación
19. Energía gastada por un objeto en movimiento
20. Energía gastada por un objeto sin movimiento
21. Potencia
22. Desperdicio de energía
23. Desperdicio de sustancia
24. Pérdida de información
25. Desperdicio de tiempo
26. Cantidad de sustancia
27. Confiabilidad
28. Precisión de mediciones
29. Precisión de manufactura
30. Factores perjudiciales actuando en un objeto
31. Factores perjudiciales del objeto
32. Conveniencia de manufacturabilidad
33. Conveniencia de uso
34. Conveniencia de reparabilidad
35. Adaptabilidad, universalidad
36. Complejidad de un mecanismo
37. Complejidad de control y medición
38. Nivel de automatización
39. Productividad

Tabla 2-2: Parámetros de Altshuller

Representando contradicciones técnicas como la combinación de dos de estos parámetros requieren una amplia interpretación de cualquier parámetro de ingeniería, por eso son genéricos. Como podemos ver muchos de estos parámetros representan objetos movibles y objetos necesarios.

Objetos movibles pueden cambiar fácilmente su posición en el espacio, por su propia cuenta o por fuerzas externas, ejemplo: un bote.

Objetos necesarios no cambian su posición en el espacio, por su propia cuenta o por fuerzas externas, ejemplo: un edificio.

Todos los parámetros de ingeniería pertenecen a la siguiente agrupación:

1. Parámetros físicos y geométricos comunes (masa, tamaño, energía).
2. Parámetros negativos técnicos independientes (desperdicio de sustancias o tiempo, pérdida de información, daño, etc.).
3. Parámetros positivos técnicos independientes (productividad, manufactura, etc.)

Con estos 39 parámetros de ingeniería y tomando en cuenta la definición de la contradicción técnica “cuando algo mejora – otras se empeoran”, es decir cuando un parámetro de ingeniería se mejora otros parámetros de ingeniería empeoran, de modo que Altshuller construyó una matriz de contradicciones técnicas de 39 x 39

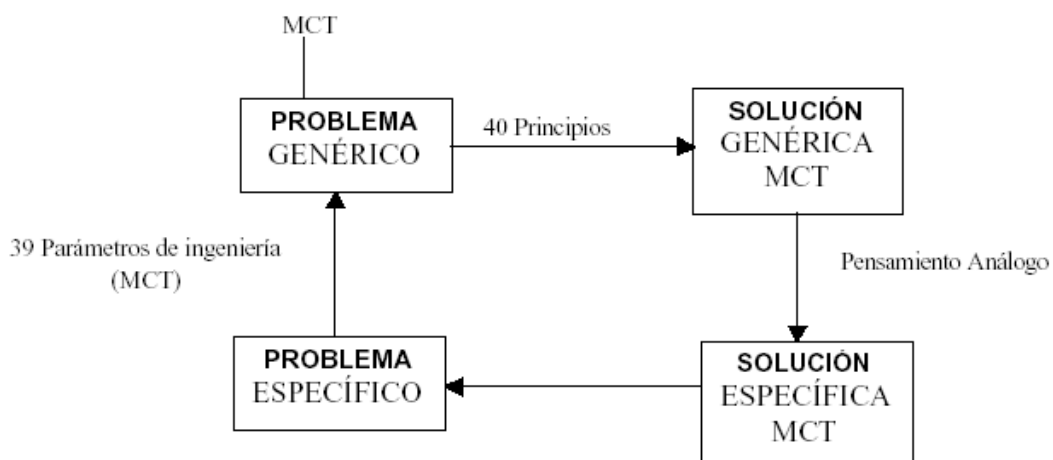


Figura 2-2: Esquema de un problema.

2.2.3.- PRINCIPIOS DE INVENTIVA DE ALTSHULLER

Principio 1:

Segmentación¹⁸ (fragmentación)

- Dividir un objeto en partes independientes
- Hacer a un objeto modular
- Incrementar el grado de fragmentación o segmentación

Principio 2:

Remoción/Extracción

- Separar(extraer) una parte que interfiere o que forma propiamente un objeto, o dejarla sola a la parte necesaria de un objeto

Principio 3

Calidad local

- Cambiar la estructura de un objeto de uniforme(homogénea) a una no uniforme, cambiar el ambiente externo de uniforme a no uniforme.
- Hacer cada parte del objeto funcionar en condiciones apropiadas para su operación.
- Hacer que cada parte del objeto cumpla una función útil y diferente.

Principio 4

Asimetría

- Cambiar la forma de un objeto de simétrica a asimétrica.
- Si un objeto es asimétrico, incrementar su grado de asimetría.

¹⁸ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 204-219

Principio 5

Fusión (unir/combinar)

- Unir objetos similares o idénticos, ensamblar partes similares o idénticas para realizar operaciones paralelas.
- Hacer operaciones contiguas o paralelas

Principio 6

Universalidad

- Hacer que una parte u objeto cumple funciones múltiples, eliminar la necesaria por otras partes.

Principio 7

Estructuras anidadas

- Poner un objeto dentro de otro.
- Hacer que una parte pase por una ranura de otro.

Principio 8

Contra peso

- Para contrarrestar el peso de un objeto, unirlo con otros objetos que produzcan empuje.
- Para compensar el peso de un objeto, hacerlo interactuar con el ambiente.

Principio 9

Contra acción preliminar

- Si es necesario realizar una acción con efectos útiles y dañinos a la vez, esta acción debe ser reemplazada por contra acciones para controlar efectos dañinos.

- Crear acciones en un objeto que más adelante se opondrán a las acciones de trabajo no deseadas conocidas.

Principio 10

Acción preliminar

- Efectuar, antes de lo necesario, el cambio requerido de un objeto. Llevar a cabo parte de la acción por avanzado.
- Prearreglar objetos para que estos puedan actuar desde el lugar más conveniente y sin perder tiempo para su entrega.

Principio 11

Amortiguación en avanzado

- Prepara medios de emergencia de antemano para compensar la relativa baja confiabilidad de un objeto.

Principio 12

Equipotencialidad

- En un campo potencial, la posición límite cambia

Principio 13

Reversa

- Invertir las acciones usadas para resolver problemas.
- En vez de una acción dictada por los requerimientos, uno implementa la acción opuesta.
- Hacer partes móviles o el ambiente externo preparado, y preparar partes móviles.
- Dar la vuelta al objeto o proceso

Principio 14

Curva

- En lugar de usar partes rectilíneas, superficies, o formas, use curvilíneas; mover de superficies planas a esféricas, de partes con forma de cubo a forma de esfera.
- Use bolas, espirales, domos
- Ir de movimiento lineal a rotacional, usar fuerza centrífuga

Principio 15

Dinamismo

- Permitir o diseñar las características de un objeto, ambiente externo, o el proceso de cambiar para ser óptimo o encontrar condiciones óptimas de operación.
- Dividir un objeto en partes capaces de movimientos relativos entre ellos.
- Si un objeto es rígido o inflexible, hacerlo movable o adaptable.

Principio 16

Acción excesiva o parcial

- Si el 100% de un objeto es difícil de alcanzar utilizando métodos de soluciones dadas, el problema puede ser considerablemente fácil de resolver utilizando un poco menos o un poco más del mismo método.

Principio 17

Otra dimensión

- Las dificultades envueltas en el movimiento o reubicación de un objeto sobre una línea son removidas si el objeto adquiere la habilidad de moverse en dos dimensiones. Conformemente, problemas conectados con movimiento o reubicación de objetos en un plano son removidos al cambiar a una tercera dimensión en el espacio.

- Usar un arreglo multi-story de objetos en lugar de un arreglo single-story. Utilizar un ensamble de capas múltiples de objetos en lugar de una capa simple.
- Reorientar el objeto, posarlo en su lado.
- Usar otro lado de un área dada.
- Usar líneas ópticas cayendo en áreas vecinas o en el lado de reserva del área disponible.

Principio 18

Vibración Mecánica

- Oscilación o vibración de un objeto
- Si la oscilación existe, incrementar su frecuencia
- Usar la frecuencia de resonancia de un objeto
- Usar vibradores piezoeléctricos en lugar de mecánicos
- Usar campos de oscilación combinados, ultrasónicos y electromagnéticos

Principio 19

Acción periódica

- En lugar de una acción continua, usar acciones de pulsación o periódicas.
- Si una acción ya es periódica, cambiar la magnitud periódica o frecuencia.

Principio 20

Continuidad de acciones útiles

- Continuar las acciones; hacer que todas las partes de un objeto realicen UF y/o NF en su carga máxima, todo el tiempo.
- Eliminar todas las acciones intermitentes o neutras.

Principio 21

Omisión

- Conducción de un proceso o ciertas etapas a altas velocidades.

Principio 22

Convertir dañino en beneficioso

- Usar factores dañinos para alcanzar un efecto positivo
- Eliminar la acción dañina primaria añadiendo a esta a otra acción dañina para resolver el problema.
- Amplificar un factor dañino a tal grado que llegue a no ser dañino.

Principio 23

Retroalimentación

- Introducir la retroalimentación para mejorar un proceso o acción.
- Si la retroalimentación esta siendo usada, cambiar su magnitud o influencia.

Principio 24

Intermediario

- Utilizar un artículo de carrera intermedio o un proceso intermedio.
- Mezclar un objeto temporalmente con otro

Principio 25

Auto servicio y auto organización

- Hacer que un objeto se auto sirva realizando funciones de ayuda auxiliares.
- El objeto debe servir/organizar a el mismo y llevar a cabo operaciones suplementarios y de mantenimiento.

- Usar recursos de desperdicios, energía o sustancias.

Principio 26

Copiar

- En lugar de un indispuesto, caro, objeto frágil, usar copias simples y baratas.
- Reemplazar un objeto o proceso con una copia óptica.
- Si copias ópticas esta siendo ya usadas, usar copias infrarrojas o ultravioletas.

Principio 27

Objetos baratos y de corta vida

- Reemplazar un objeto caro por muchos objetos baratos, comprometiendo ciertas cualidades.

Principio 28

Substituciones mecánicas

- Reemplazar cualquier medio mecánico por sensores.
- Usar eléctricos, magnéticos, y campos electromagnéticos para interactuar con el objeto.
- Cambiar de campos estáticos a móviles, desde campos sin estructuras a campos con estructuras.
- Usar campos junto a campos activados con partículas.

Principio 29

Neumáticos e hidráulicos

- Usar partes de gas y líquido de un objeto, en lugar de partes sólidas.
- Usar el principio de Arquímedes para reducir el peso de un objeto.
- Usar presión negativa o atmosférica

- Un tipo de espuma puede ser utilizada como combinación de propiedades líquidas u gaseosas con poco peso.

Principio 30

Armazones flexibles y finas películas

- Usar armazones flexibles y películas finas en lugar de estructuras tridimensionales.
- Aislar los objetos del exterior usando armazones flexible y películas finas.

Principio 31

Membranas y materiales porosos

- Hacer a un objeto poroso o añadir elementos porosos.
- Si un objeto ya es poroso, utilizar los poros para introducir sustancias o funciones útiles.

Principio 32

Cambio de colores

- Cambiar el color de un objeto o de su ambiente externo.
- Cambiar la transparencia de un objeto o su ambiente externo.
- Para poder observar objetos o procesos que son difíciles de ver, usar aditivos de colores. Si tales aditivos ya fueron usados, emplear trazos luminosos.

Principio 33

Homogeneidad

- Hacer que los objetos interactúen con objetos dados del mismo material.

Principio 34

Descartar y recuperar

- Descartar porciones de un objeto que ya han cumplido sus funciones o han modificado sus propiedades durante una operación.
- Al contrario, restaurar partes consumidas de un objeto directamente en operación.

Principio 35

Cambio de parámetros y propiedades

- Cambiar el estado agregado físico de un objeto.
- Cambiar la concentración o consistencia.
- Cambiar el grado de flexibilidad.
- Cambiar la temperatura.
- Cambiar otras características de la técnica.

Principio 36

Transición de fase

- Usar el fenómeno que ocurre durante la transición de fase.

Principio 37

Expansión térmica

- Utilizar la expansión térmica de los materiales.
- Si la expansión térmica ya está siendo utilizada, usar materiales con diferentes coeficientes de expansión térmica.

Principio 38

Oxidantes fuertes

- Reemplazar el aire común por un aire enriquecido en oxígeno.
- Reemplazar aire enriquecido por oxígeno puro.
- Exponer aire u oxígeno a radiación iónica.
- Usar oxígeno ionizado.
- Reemplazar ozonizado o ionizado por oxígeno con ozono.

Principio 39

Atmósfera inerte

- Reemplazar un ambiente normal por uno inerte
- Añadir partes neutrales o aditivos inerte a un objeto

Principio 40

Materiales compuestos

- Cambiar de materiales uniformes a compuestos.

Estos principios están formulados en general con el afán de demostrar la solución del concepto. Si, por ejemplo, algunos principios recomiendan herramientas de flexibilidad, significa que la solución del problema relata de alguna forma como cambiar el grado de flexibilidad o adaptabilidad de la técnica que está siendo modificada.

Concretar el problema, teniéndolo atado a la situación concreta ó explicar el problema en palabras simples usando TRIZ

Con la combinación de los 40 principios en la matriz de decisiones que se muestra a continuación, podemos llegar a tener el inicio con el cuál podemos realizar la resolución del problema.

2.2.4.- MATRIZ DE CONTRADICCION

La matriz de contradicción es un cuadro de doble entrada, donde se listan 39 características básicas de los sistemas técnicos y en el cruce de cada fila y columna se dan referencias a los tipos de soluciones que se pueden aplicar para variar una de las características, sin que varíe la otra. Las soluciones ofrecidas son los 40 principios de inventiva que identificó Altshuller y que dan nombre a uno de sus libros más famosos. Evidentemente los principios no son una solución directa a la contradicción, sino una línea de razonamiento para encontrar la solución. Las casillas de la matriz que quedan vacías corresponden a contradicciones técnicas que no se pueden dar o que no están resueltas. La resolución de un problema con esta herramienta y lo mismo sucede con las otras, requiere la abstracción del sistema, la identificación de la contradicción técnica, la aplicación del operador abstracto o principio y la especificación para obtener de nuevo el sistema físico, con el problema resuelto.

La matriz de contradicción junto con los principios son herramientas que tienen que ir de la mano, estas no trabajan por si solas; solo sugieren la mejor dirección para que uno pueda alcanzar la solución.

El que resuelve el problema tiene que saber interpretar lo sugerido y determinar como se aplica a determinada situación.

2.2.5.- CUESTIONARIO PARA LA SITUACION DE INNOVACION

1. Breve descripción del problema²⁰
2. Información sobre el sistema
 - a. Nombre del sistema
 - b. Estructura del sistema
 - c. Funcionamiento del sistema
 - d. Ambiente del sistema
3. Información sobre la situación del problema
 - a. Problema que debe ser resuelto
 - b. Mecanismos que causan el problema
 - c. Consecuencias no deseadas de problemas no resueltos
 - d. Historia del problema
 - e. Otros sistemas en los que un problema similar existe
 - f. Otros problemas a ser resueltos
4. Visión ideal de la solución
5. Recursos disponibles
6. Cambios permitidos al sistema
7. Criterio para seleccionar conceptos de solución
8. Información del proyecto

²⁰ Knowledge Wizard, Basic Triz Learning.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

- 1.- Construir un diagrama
- 2.- Direcciones para innovar

PRIORIZAR DIRECCIONES

- 1.- Direcciones seleccionadas para consideraciones futuras
- 2.- Listar ideas preliminares

DESARROLLAR CONCEPTOS

- 1.- Categorizar ideas principales
- 2.- Combinar ideas con conceptos

EVALUAR RESULTADOS

- 1.- Encontrar el criterio para evaluar conceptos
- 2.- Revelar y prevenir fallas potenciales
- 3.- Trabajar con problemas secundarios
- 4.- Planear la implementación

Con el cuestionario mostrado se puede empezar de una manera sencilla la resolución de problemas que se tengan en el momento de mejorar la maquinaria o cuando se quiera realizar un diseño innovador.

Las herramientas que se van a utilizar van a ser los 40 principios de Altshuller junto con la matriz de decisiones, los cuales van a ayudar para llegar a una solución ideal.

Es posible la realización de encuestas a diferentes empresas dedicadas a la construcción de la maquinaria a analizar, para que de esta forma se llegue a ver globalmente lo que sería la máquina ideal.

Cuando la matriz de decisiones nos haya ayudado a reconocer cual puede ser la solución ideal se procede a escoger esta solución para así poder empezar con el diseño de la maquinaria.

CAPITULO 3

3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1.- REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y PARAMETROS.

Una vez vistos los principios del TRIZ, las alternativas que se van a seleccionar serán vistas mediante los principios de este método de diseño.

Hay diversos diseños de Cribas con los cuales se puede ver cual será el diseño óptimo, para esto tendremos que seguir los pasos mencionados en el capítulo 2.2 el cual dice “cuestionario para la situación de innovación”.

- El diseño requiere que la criba tenga una capacidad de $300 \text{ m}^3/\text{día}$, para así poder separar el material pétreo que ingresa en diferentes tamaños, los cuales van a ser almacenados según la distribución del dueño de la cantera.
- El material va a ser piedra que proviene de canteras, por lo general la densidad del material pétreo es de $1.6 \text{ ton}/\text{m}^3$
- El mantenimiento tiene que ser simple, una primera idea podría ser que las mallas estén sujetas con pernos, para que así estas sean removidas con facilidad.

3.1.1.- CONCLUSIONES OBTENIDAS EN BASE A LAS ENCUESTAS

Esta encuesta se realizó principalmente para determinar la granulometría del material pétreo, el tamaño que se debería tener en una criba y el peso adecuado para este tipo de maquinarias.

Fueron consultadas algunas empresas, las cuales coincidieron en el tamaño de piedra que más se utiliza en el mercado, estos son:

- Para el primer deck dieron valores mayores a 1”
- Para el segundo deck dieron valores entre 1” y 3/8”
- Para el tercer deck dieron valores menores a 3/8”

Para el tipo de máquina a diseñar, las empresas encuestadas dijeron lo siguiente:

- La máquina ideal tiene que ser una que no vibre.
- Que sea de bajo peso.
- El costo no sea excesivo.
- Fácil transporte.

A su vez, los principales problemas que se encuentran en la vida útil de la máquina son:

- Partes sufren de desgaste por oxidación.
- Mallas sufren desgaste debido al trabajo continuo.

3.1.2.- DISEÑO DESEADO.

La idea principal en este diseño es que la criba deba tener una capacidad de cribado de 300 m³/día, con tres diferentes tipos de malla para así poder tener diferentes posibilidades de tamaño de roca y que al final sea modular.

Va a estar formada por tres sistemas:

- Sistema de separación
- Sistema estructural
- Sistema de control

Estos sistemas van a estar conformados por subsistemas, los cuales van a estar dados según los datos obtenidos en el literal 3.1.1.

3.1.3- BREVE DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las vibraciones generadas por las masas desbalanceadas van a crear problemas de fatiga en la estructura general y el resto de componentes de esta.

Las mallas se pueden romper cuando el material es descargado sobre ellas, es por esto que tienen que ser resistentes a este tipo de tratos.

El desgaste de las mallas va a depender de la vibración de la máquina y del tipo de material pétreo a ser cribado.

Si la estructura es muy pesada el costo de esta va a aumentar, entonces lo que se busca es un diseño liviano y resistente.

La estructura general tendrá que ser resistente a los efectos dañinos de la vibración.

3.1.4.- INFORMACIÓN SOBRE EL SISTEMA

Nombre del sistema

Cribadora de material pétreo

Estructura del sistema

- Sistema de separación
- Sistema estructural
- Sistema de control

Funcionamiento del sistema

Sistema de separación:

Este sistema es necesario para la separación del material pétreo, así sea por vibración o por cualquier otro método deseado.

Sistema Estructural:

Es el que le da rigidez estructural a la maquinaria, parte fundamental del diseño de esta, debido a que va a estar sometido a diferentes tipos de cargas.

Sistema de control:

Es aquel que controla el encendido y apagado de la maquinaria, según el tipo de control que se requiera puede también controlar la amplitud de vibración de la máquina, si esta tiene un sistema de separación vibrante, o si tiene cualquier otro tipo de sistema de separación.

Ambiente del sistema:

- El lugar de trabajo va a ser dentro de canteras o lugares de construcción.
- El operador de la criba se va a encontrar situado a un lado de esta, debido a que su proximidad a esta puede ocasionar algún tipo de accidente.
- La fuente de energía la va a proporcionar el dueño de la cantera, el cual va a colocar la maquinaria según los requerimientos de este.

3.1.5- INFORMACIÓN SOBRE LA SITUACIÓN DEL PROBLEMA

Problema que debe ser resuelto

El sistema vibratorio presenta un gran problema al resto de los sistemas, debido a que las vibraciones causadas por este pueden ocasionar que el resto de los elementos fallen por fatiga, para evitar esto se requeriría elementos mas robustos.

La estructura principal tiene que resistir a los efectos dañinos que ocasionan las vibraciones y a su vez ser liviana para así abaratar costos.

Mecanismos que causan el problema

El conjunto de motor, masas desbalanceadas generan vibraciones, las cuales hacen que la estructura general de la criba esté sometida a vibraciones en varios sentidos, y debido a esto puede resultar en el colapso de la estructura.

Consecuencias no deseadas de problemas no resueltos

- La estructura principal es muy pesada, y por eso el costo de esta incrementa.

Historia del problema

El sistema vibratorio influye en como va a ser el diseño estructural de la criba, debido a que los efectos que causan las vibraciones sobre todos los sistemas van a ser dañinos, de esta manera se va a llegar a un diseño óptimo y de bajo costo, previniendo los problemas futuros que todos los sistemas puedan tener.

Otros sistemas en los que un problema similar existe

Todos los sistemas van a estar sometidos a diferentes cargas, ya sea por efectos de vibraciones o efectos puntuales.

Otros problemas a ser resueltos

El desgaste de las mallas debido al rozamiento existente con el material pétreo es acelerado.

3.1.6.- VISIÓN IDEAL DE SOLUCIÓN

Para que una máquina de estas características sea ideal, su diseño debe ser liviano, resistente y de bajo costo, para que de esta manera sea rentable construir.

3.1.7.- RECURSOS DISPONIBLES

Económicos: El costo de fabricación de una criba va a depender de la calidad de material utilizado, y de la cantidad de tiempo que se utilice para la construcción de esta. Ya que estamos utilizando el método de TRIZ para el diseño de la máquina, este nos abarata costos.

Humanos: Dueños de fábricas cuyo producto principal son las Cribas.

3.1.8.- CAMBIOS PERMITIDOS AL SISTEMA

La única función del sistema es el de separar material pétreo, por eso no se recomiendan cambios en el sistema, lo que si se recomienda es analizar el tipo de sistema vibratorio para así poder llegar a un modelo óptimo.

3.1.9.- CRITERIO PARA SELECCIONAR CONCEPTOS DE SOLUCIÓN

Resultados esperados:

- La vibración de la criba es la adecuada para el trabajo
- El precio de la criba se abarata debido a que el diseño es mas simple
- El operador de la criba se siente mas a gusto con su trabajo
- Los resultados financieros se basan en la reducción de costos de fabricación

Anticipando nuevos problemas secundarios

- Los elementos pueden fallar debido a las vibraciones

Probabilidad de éxito y asentamiento de riesgos

- La criba no va a tener una frecuencia de vibración correcta, y esto lleva a disminuir la capacidad de cribado.
- La excesiva vibración ocasiona que los elementos de la criba fallen
- Si llegara a fallar el sistema vibratorio se debe tener una criba de respaldo.
- Solo en el caso de que la criba fallara por completo se deberá utilizar la otra criba.

3.2.-FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.2.1.- CONSTRUIR UN DIAGRAMA

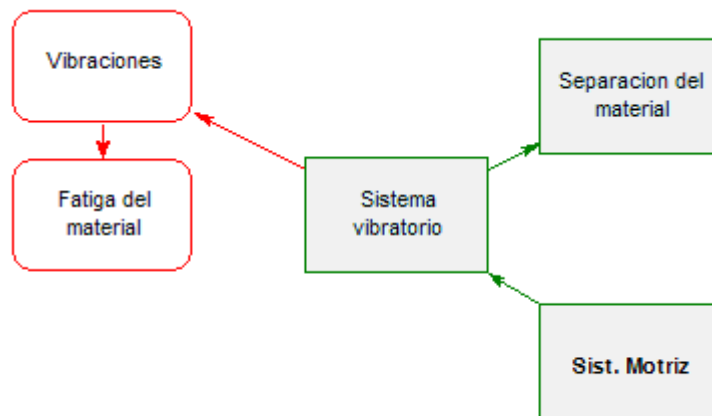


Figura 3-1: Esquema de un problema

3.2.2. - DIRECCIONES PARA INNOVAR²¹

- Encontrar una vía alternativa para obtener el sistema vibratorio que ofrece lo siguiente: al aumentar la separación del material que no cause vibraciones y que no requieran motores eléctricos.
- Tratar de resolver las siguientes contradicciones: El factor útil (UF) sistema vibratorio debe estar localizado para poder incrementar la separación del material, y no debería existir para poder evitar vibraciones.
- Encontrar una vía alternativa para obtener la separación del material que no requiera del sistema vibratorio.
- Considerar reemplazar todo el sistema con uno alternativo que provea la separación del material.
- Encontrar una vía alternativa para que el motor eléctrico mejore el sistema vibratorio.
- Encontrar una forma de eliminar, reducir, prevenir vibraciones con el orden de evitar fatiga del material, bajo las condiciones del sistema vibratorio.

3.3.-PRIORIZAR DIRECCIONES

3.3.1.- DIRECCIONES SELECCIONADAS PARA CONSIDERACIONES FUTURAS

Primera prioridad²²

- Encontrar una forma de incrementar la efectividad del sistema vibratorio.
- Encontrar una forma de reducir vibraciones en el sistema vibratorio.

²¹ Knowledge wizard, Basic TRIZ learning

²² Knowledge wizard, Basic TRIZ learning

- Utilizar los operadores universales para resolver las contradicciones.
- Encontrar una forma de incrementar la separación del material.
- Encontrar una forma de aumentar la efectividad del motor eléctrico.
- Encontrar una forma de beneficiarse de las vibraciones.
- Encontrar una forma de reducir las vibraciones que causan fatiga del material.
- Considerar el crear una situación que hace a la fatiga del material insignificante.

Largo plazo

- Encontrar beneficios adicionales de la separación del material.
- Considerar no utilizar la función útil primaria para evitar el problema.
- Encontrar una forma de hacer funcionar al sistema vibratorio sin el sistema motriz.

Fuera de alcance

- Encontrar una forma de obtener separación del material sin utilizar el sistema vibratorio.
- Encontrar beneficios adicionales del sistema motriz.
- Encontrar una forma para beneficiarse de la fatiga del material.

Otros

- Encontrar beneficios adicionales del sistema vibratorio
- Considerar otras alternativas para compensar los resultados dañinos que ocasionan la fatiga del material.

3.3.2.- Listar ideas preliminares residentes

Basadas en las definiciones del numeral 2.2 Se presentan las siguientes:

- No existe sistema vibratorio, en su lugar el proceso de separación lo va a realizar el agua a altas presiones.
- El sistema vibratorio de la criba va a estar formado por un motor eléctrico junto a dos masas descentradas situados en la parte superior o inferior de la criba.
- El sistema vibratorio de la criba va a estar formado por un motor eléctrico junto a un eje situado de acuerdo al diseño el cual va a tener masas descentradas las cuales van a generar vibración.
- La estructura principal debe ser diseñada para poder soportar los factores dañinos causados por la vibración.
- La estructura tiene que ser liviana pero resistente, así se reducen costos.
- La criba va a ser modular para que el costo sea menor.
- El material de la criba tiene que ser resistente a la corrosión debido a que su ambiente de trabajo va a ser en el exterior, y tiene que ser resistente a vibraciones.
- El encendido de la criba va a constar de un interruptor el cual va a prenderla y a apagarla.
- Las mallas tienen que ser de un material resistente a la corrosión y al desgaste debido al rozamiento.

3.4.-DESARROLLAR CONCEPTOS

3.4.1.- CATEGORIZAR²³ IDEAS PRINCIPALES

- El sistema vibratorio ocasiona que los materiales fallen por fatiga.
- El desgaste de las mallas va a ser acelerado debido al rozamiento con el material pétreo.
- Las masas descentradas controlan la amplitud de vibración de la criba.

²³ Knowledge wizard, Basic TRIZ learning

- La estructura principal de la criba tiene que resistir los efectos dañinos ocasionados por las vibraciones.

3.4.2.- COMBINAR IDEAS CON CONCEPTOS

- Aumentando el tamaño de los perfiles en la estructura principal se puede disminuir el efecto dañino ocasionado por las vibraciones, pero de esta manera el costo de construcción aumenta.
- Rediseñando la estructura principal para que resista a todos los efectos dañinos sin comprometer el sistema vibratorio y sin que el costo de construcción incremente.

3.5.-SELECCIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

3.5.1.- EVALUAR RESULTADOS

La vibración es el factor principal que va a afectar al resto de sistemas de la criba, es por esto que se tienen que tomar en cuenta los siguientes parámetros de ingeniería para así poder encontrar una guía para la solución óptima de la maquinaria.

Parámetro # 14: Resistencia²⁴

Parámetro # 30: Efectos secundarios dañinos

Parámetro # 31: Factores dañinos que actúan sobre objetos

Parámetro # 35: Adaptabilidad

Se va a realizar el cruce de los parámetros 14, 30, 31, 35 en combinaciones de 14 con 30, 14 con 31, 14 con 35, 30 con 31, 30 con 35 y 31 con 35, para así poder ver el o los principios de ALTSHELLER que se van a utilizar.

Cruce de los parámetros 14 con 30

²⁴ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 204-219

Viendo en la matriz de contradicciones el cruce de estos dos parámetros nos dice que utilicemos como los principios 18, 35, 37 y 1.

Principio 18.- Vibración Mecánica

A.- Oscilar o vibrar un objeto

La caja de zarandas va a estar sometida a vibraciones, es por esto que se debe emplear algún dispositivo para evitar que estas se transmitan al resto de la estructura, pero sin comprometer eficiencia de cribado.

El método más simple para reducir la vibración en la estructura principal es colocar resortes o amortiguadores de caucho, de esta manera la caja de zarandas podrá vibrar libremente sin comprometer a que la estructura principal llegue a fallar por efecto de la vibración.

Principio 35.- Cambios de parámetros y propiedades

C.- Cambiar el grado de flexibilidad

Utilizar amortiguadores para reducir ruido y vibraciones.

No es aplicable utilizar amortiguadores ya que estos disminuyen en una gran parte las vibraciones requeridas para que se cumpla el trabajo de cribado.

Principio 37.- Expansión²⁵ térmica

Este principio no es aplicable, ya que la expansión termal en la criba no va a existir.

²⁵ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 204-219

Principio 1.- Segmentación

B.- Hacer a un objeto modular

Dividiendo el número de niveles que se necesitan en la criba hace que el costo de fabricación disminuya, de esta manera si la persona requiere de mayor número de Cribas esta podrá incrementar las mallas que desee.

Cruce de los parámetros 14 con 31

Viendo en la matriz de contradicciones el cruce de estos dos parámetros nos dice que utilicemos como los principios 15, 35, 22 y 2.

Principio 15.- Dinamismo²⁶

B.- Dividir un objeto en partes capaces de tener un movimiento relativo el uno del otro

La estructura principal de la criba se va a dividir en dos partes, la estructura soporte y la estructura de la caja de zarandas, con esto podemos aumentar resortes para que de esta manera la vibración generada por el sistema vibratorio no tenga consecuencias dañinas a toda la estructura.

Al dividir la estructura se tiene la capacidad de poder realizar arreglos independientemente si es que se los llegaran a necesitar.

Principio 22.- Convertir dañino en beneficio

En este caso las vibraciones dañinas no se pueden aprovechar, ya que si incrementamos esto tendríamos que rediseñar la estructura.

²⁶ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 204-219

Principio 2.- Remoción/Extracción

En un modelo puede ir en la parte superior de la criba junto con las masas descentradas, en otro modelo puede ir a un lado de la criba, conectado mediante poleas o cardanes a un eje con masas descentradas.

Puede emplearse un método de extracción con agua a alta presión, de esta manera se evita uno de los principales problemas que encontramos con los otros sistemas de separación que utilizan vibración.

Cruce de los parámetros 14 con 35

Viendo en la matriz de contradicciones el cruce de estos dos parámetros nos dice que utilicemos como los principios 35, 3, 32 y 6.

Principio 3.- Calidad²⁷ local

B.- Hacer que cada parte de un objeto funcione en las condiciones mas adecuadas para su operación.

Las mallas tienen que ser removibles para así tener un acceso fácil para su mantenimiento.

El motor eléctrico tiene que estar situado en una parte adecuada, para que si este sufre algún desperfecto, su extracción sea fácil.

La estructura al ser liviana se la puede transportar con facilidad.

²⁷ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 204-219

Principio 32.- Cambio de color

Lo único que se puede hacer en este caso es la utilización de pintura anti-corrosiva.

Principio 6.- Universalidad

A.- Hacer que un objeto efectúe múltiples funciones; eliminar la necesidad de otras partes.

Para no tener que utilizar un eje con masas descentradas, o un eje descentrado juntos con un motor, lo que se puede hacer es que el motor funciones como sistema vibratorio, juntando las masas descentradas, con el eje principal del motor.

Cruce de los parámetros 30 con 31

Viendo en la matriz de contradicciones que el cruce de estos dos parámetros es una casilla en blanco, esto quiere decir que la unión de estos dos parámetros no es aplicable en el TRIZ.

Cruce de los parámetros 30 con 35

Viendo en la matriz de contradicciones el cruce de estos dos parámetros nos dice que utilicemos como los principios 35, 11, 32 y 31

Principio 11.- Acolchamiento²⁸ anticipado

A.- Preparar medios de emergencia anticipadamente para compensar la fiabilidad relativamente baja de un objeto.

En la conexión entre la estructura principal y la estructura de la criba se debe poner cojinetes para así evitar daños a la máquina por si llegaran a fallar los resortes.

Principio 31.- Membranas y materiales porosos

Los materiales porosos no se pueden aplicar para el proceso de cribado debido a que el tamaño de la abertura que se necesita es muy pequeño, por esta razón se utilizan mallas metálicas.

Cruce de los parámetros 31 con 35

Viendo en la matriz de contradicciones que el cruce de estos dos parámetros es una casilla en blanco, esto quiere decir que la unión de estos dos parámetros no es aplicable en el TRIZ.

Una vez identificados todos los principios, y con todas las ideas planteadas, se ve que el diseño óptimo de la criba va a ser:

- Sistema vibratorio ubicado en la parte inferior de la caja de zarandas
- La estructura principal va a ser el soporte principal de la estructura de la zaranda, unidas por medio de resortes que en las puntas tienen cojinetes de caucho para prevenir daños en la estructura cuando alguno o todos los resortes fallen.
- La caja de zarandas va a ser modular, para que de esta disminuyan los gastos de fabricación y el costo total de la máquina.

²⁸ Engineering of creativity, Semyond D. Savransky, Pag . 204-219

- La maquinaria en general va a ser pintada con pintura anticorrosiva, para que así pueda resistir el clima cambiante.

3.5.2.- REVELAR²⁹ Y PREVENIR FALLAS POTENCIALES

- Fatiga de la estructura principal debido a las vibraciones.
- Rotura de rodamientos debido a vibraciones excesivas.
- Desgaste rápido de las mallas debido a la corrosión y vibraciones.
- Fatiga del resto de componentes de la criba debido a las vibraciones.

El problema principal es el exceso de vibraciones, esto se combate incrementando el espesor del material o haciendo que el sistema vibratorio funciones a la frecuencia correcta.

Para hacer que la frecuencia sea la deseada, se tienen que ubicar correctamente las masas descentradas, esto se realiza mediante una serie de pruebas con la criba construida y haciendo una tabla de los datos obtenidos.

El incremento de espesor del material no sería una opción, ya que esto incrementa los costos de construcción.

La fatiga en el sistema estructural se evita diseñando correctamente el sistema de vibración.

Una vez realizado un correcto diseño del sistema de vibración, el resto de posibles fallos van a eliminarse.

Ahora que se tiene claro como influyen los parámetros del TRIZ se llegó a las siguientes conclusiones de cómo va a ser el diseño final de la máquina.

- Criba modular, con su sistema motriz que consiste de dos motovibradores que generan la vibración necesaria para realizar el trabajo de cribado.

²⁹ Knowledge wizard, Basic TRIZ learning

- Resortes de trabajo pesado que ayudan a prevenir el impacto por las cargas y vibraciones dañinas.
- La estructura principal va a ser liviana y resistente.

CAPITULO 4

4 DISEÑO MECANICO

4.1.- CRIBA

4.1.1.- DIMENSIONES PRINCIPALES DE COMPONENTES

Dimensiones de una criba para una capacidad de 300 m³/día.

Utilizando la relación de cantidad pasante y no pasante de tablas se tiene lo siguiente:

M :=

	0	1	2	3	4	5
0	"Malla"	4	1	0.5	0.375	0.188
1	% Pasante"	100	75	45	30	22

Tabla 4-1: Porcentaje de material pasante según necesidades

Con esta tabla se selecciona la cantidad de material que pasa a la siguiente malla y la cantidad de material que no va a pasar, según los requerimientos del cliente, en este caso para una malla de 1plg se tiene que el 75% del material va a pasar y el 25 % del material no va a pasar. Así podemos ver un esquema mostrado a continuación.

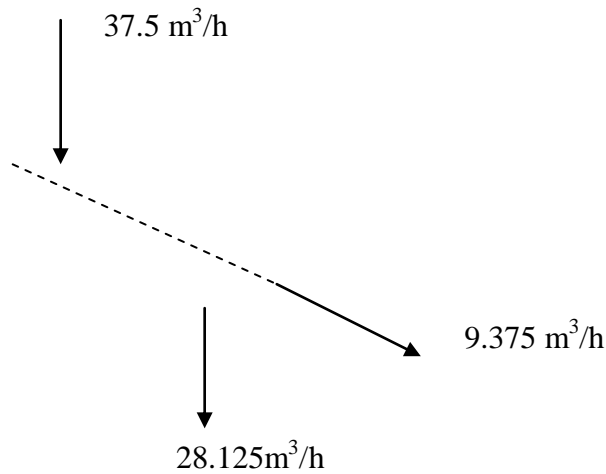


Figura 4-1: Esquema del material pasante y no pasante

Una vez seleccionada la primera malla y la cantidad de material pasante y no pasante se ven las condiciones de trabajo de la criba. Para este caso se tiene:

Humedad 3%
 Forma de partículas: Cúbicas
 Cribado seco
 Sin limitaciones de espacio

Con los datos siguientes se realizan los cálculos para el dimensionamiento de la criba.

$$T_{\text{max}} := 30 \frac{\text{m}^3}{8\text{h}} \quad T_1 := \frac{T}{8} \quad T_1 = 37.5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad \delta := 1.6 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$$

El cálculo para determinar el área de cribado se realiza con la siguiente fórmula.

$$A_c = (T_1 * P) / (C * M * K * Q_n)$$

Ecuación 4-1: Área de Cribado

Donde:

A_c : Área³⁰ de Cribado

T_1 : Cantidad de material alimentado

P : Factor que se conoce sabiendo el material a cribar

³⁰ Folleto de cribas FAÇO-Anexos

C: Factor de capacidad ($m^3/h \cdot m^2$)

M: Factor de retiro de material

K: Factor relativo a la cantidad de material de alimentación menor que la mitad de la abertura nominal de la superficie de cribado

Qn: Factor de corrección

El valor de P va a depender de las siguientes consideraciones:

- Toma el valor de 1.4, sabiendo con certeza que se conocen las medidas del material a cribar.
- En instalaciones de mineración, donde las medidas del material y la abertura de la superficie de cribado son bastante conocidas y confiables, podrá ser adoptado el factor $P=1$.
- En instalaciones de agregados donde la granulometría, abertura de la malla y capacidad, varían en función de la aplicación del material a cribar, y se recomienda, como garantía, tomar factores $P < 1$.

En este caso se va a tomar la segunda consideración, donde $P=1$.

$C=33.5$ Este valor se obtiene de la tabla B en el folleto de cribas FAÇO
Para una malla de 1"

Factor de material retirado:

$M=1$ de la tabla c, viendo el porcentaje de material no pasante, en el folleto de Cribas FAÇO.

$K=1.1$ de la tabla d, asumiendo que el 45% pasa por la abertura nominal.

Factor de corrección:

Valores tomados de la tabla 5.03

$Q_1=1$ —Malla cuadrada

$Q_2=1$ —Partícula laminar

$Q_3=1$ —Cribado en seco

Q4=1—Humedad del 3%

Q5=0.9—Deck superior

Q6=0.9—Malla tipo estándar con abertura libre del 64%

$Q_n = Q_1 * Q_2 * Q_3 * Q_4 * Q_5 * Q_6$

Ecuación 4-2: Factor de corrección Qn

Qn=0.81

Con todos los factores tenemos que:

Ac=1.26 m²

Una vez obtenida el área de cribado se calcula el largo nominal, que va a depender del material retirado no pasante.

$$w := \left(\frac{100 \cdot T_f}{6 \cdot S \cdot D} \right) + 0.1'$$

Ecuación 4-3: Largo nominal.

Donde:

W: largo³¹ nominal de la criba

Tf: Cantidad de material no pasante

S: Factor de velocidad del material que se obtiene en la tabla f del folleto de Cribas FAÇO.

D: Espesor en la extremidad de descarga que se puede ver en la tabla 5.01 del folleto de cribas FAÇO

S=30 m/min de la tabla f del manual de cribas FAÇO.

D=76.2 de la tabla 5.01 del manual de cribas FAÇO.

Tf=T1*0.25

Tf=9.375 m³/h

Reemplazando en la ecuación 4.3 todos los parámetros se tiene que:

W=0.218 m

³¹ Folleto de cribas FAÇO-Anexos

Con los datos obtenidos descritos anteriormente se tiene el tamaño nominal del primer nivel, pero el tamaño final va a depender del tamaño comercial que tengan las mallas.

La medida comercial de las mallas es de 1m de ancho x la longitud que uno requiera, y el diseño esta basado en estas medidas y en el área de cribado calculada anteriormente.

El área final de los tres niveles va a ser de 1.4m^2 , donde:

Largo de la malla = 2 m

Ancho de la malla = 0.7 m

4.1.2.- POTENCIA DE ENTRADA

La amplitud de vibración de la criba va a depender de la velocidad de giro del motor, y la potencia va a estar relacionada principalmente con la carga que la criba vaya a mover. En este caso como es una criba de capacidad pequeña, el motor no necesita ser muy potente, lo que va a influir va a ser la velocidad de giro.

El motor seleccionado es uno que gira a 900 r.p.m y con una potencia de 5 H.p que es usualmente utilizado en este tipo de maquinarias.

4.1.3.- DISEÑO DEL SISTEMA SEPARADOR

Ya que es un sistema modular, se tiene que calcular el primer nivel, el cuál va a tener la carga inicial del material, y seguido se calculan los otros niveles necesarios, en este caso se van a poner 3 niveles.

El diagrama de cuerpo libre (D.C.L) para los tres niveles va a ser el mismo, pero el peso que actúa sobre cada uno de ellos va a ir cambiando dependiendo de la cantidad de material pasante y no pasante.

PRIMER DECK

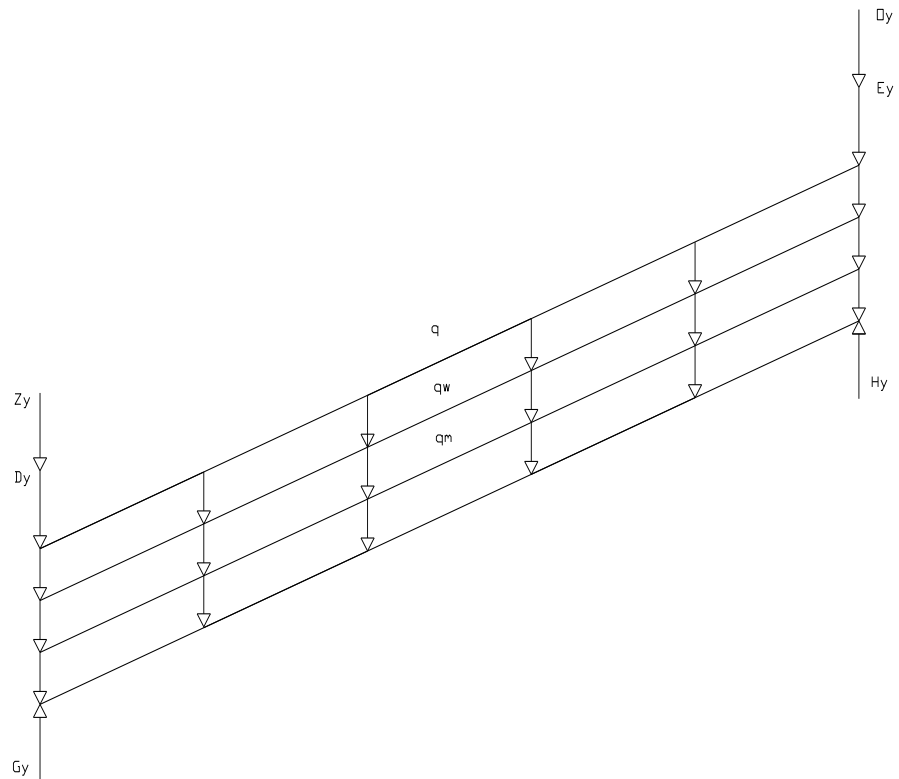


Figura 4-2: Diagrama de cuerpo libre del primer nivel

q : Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre la viga

q_w : Carga distribuida del peso de la viga

q_m : Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre la viga

A_y : Reacción sobre el eje y en ese punto

B_y : Reacciones sobre el eje y en ese punto

O_y : Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

Z_y : Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

El peso de piedra para este nivel va a estar dado por el volumen total del primer nivel, el cual se va a tomar con las medidas de largo, ancho y altura del primer nivel. Con la herramienta "propiedades físicas" de Solid Works 2006, se obtiene el volumen.

El volumen calculado para este caso es de:

$$v=0.13m^3$$

La densidad del material a cribar es:

$$d=1500 \text{ Kg/m}^3$$

Para calcular el peso total se utiliza la siguiente fórmula:

$$d=m/v$$

Ecuación 4-4: Densidad.

Reemplazando los datos en la Ec (4.4) se obtiene:

$$m= 195 \text{ Kg}$$

$$W= 1950 \text{ N}$$

Sabiendo el peso total de material pétreo, el peso de la viga, el peso de la malla y el peso de las vigas pequeñas, se obtienen las cargas que van a estar aplicadas al segundo nivel.

Debido a que la carga distribuida se encuentra en un plano inclinado se tiene que obtener las cargas aplicadas sobre un plano equivalente para así poder llevar después al plano original x-y.

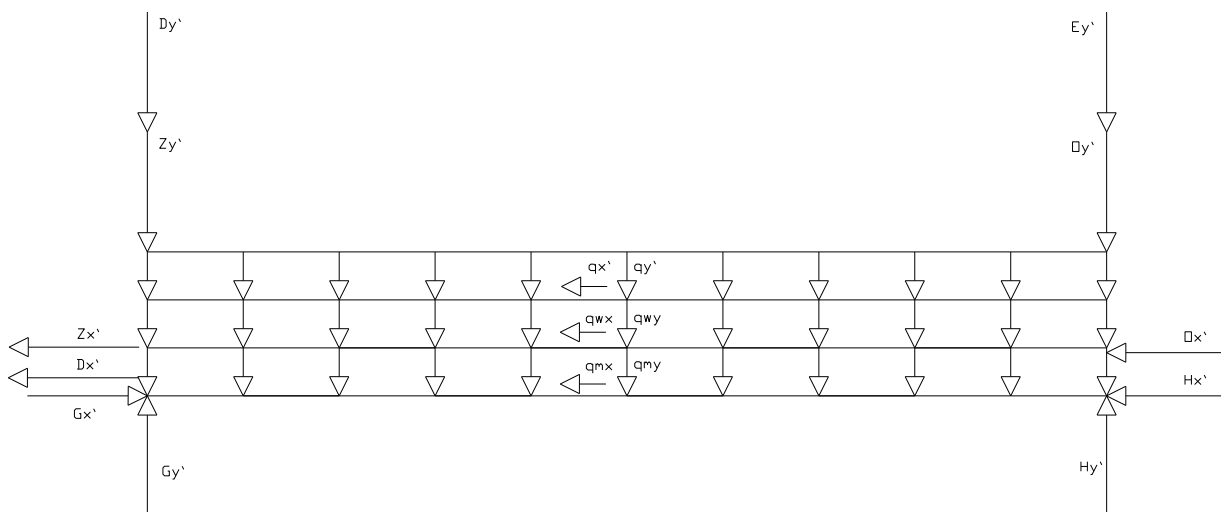


Figura 4-3: Diagrama equivalente de cuerpo libre del primer nivel

$q_{y'}$: Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre la viga

$q_{x'}$: Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre el eje axial de la viga

q_{wy} : Carga distribuida del peso de la viga

q_{wx} : Carga distribuida del peso de la viga en el eje axial

q_{my} : Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre la viga

q_{mx} : Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre el eje axial de la viga.

A_y : Reacción sobre el eje y en ese punto

A_x : Reacción sobre el eje axial de la viga

B_y : Reacciones sobre el eje y en ese punto

S_y : Carga del soporte del motor sobre la viga

S_x : Carga del soporte del motor sobre el eje axial de la viga

O_y : Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

O_x : Carga de la viga pequeña que actúa sobre el eje axial de la viga larga

Z_y : Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

Z_x : Carga de la viga pequeña que actúa sobre el eje axial de la viga larga

Se tienen las fuerzas(N) de cada uno de los componentes que actúan sobre la viga:

$$P_{vl} := 119.8\text{N}$$

$$P_{vc} := 17.85\text{N}$$

$$P_r := \frac{1950}{2} \cdot \text{N}$$

$$P_m := \frac{208.9}{2} \cdot \text{N}$$

Donde:

P_{vl} : peso de la viga larga.

P_{vc} : Peso de la viga corta.

P_r : Peso de la roca.

P_m : Peso de la malla.

Una vez conocidas las cargas que van a actuar se tiene que llevarlas a un sistema equivalente, el cual se muestra en la figura 4.3.

Donde:

$$p_x := P_r \cdot \sin(20\text{deg}) \quad p_x = 333.47\text{N}$$

$$p_y := P_r \cdot \cos(20\text{deg}) \quad p_y = 916.2\text{N}$$

$$z_x' := P_{vc} \cdot \sin(20\text{deg}) \quad z_x' = 6.105\text{N}$$

$$z_y' := P_{vc} \cdot \cos(20\text{deg}) \quad z_y' = 16.774\text{N}$$

$$o_x' := P_{vc} \cdot \sin(20\text{deg}) \quad o_x' = 6.105\text{N}$$

$$o_y' := P_{vc} \cdot \cos(20\text{deg}) \quad o_y' = 16.774\text{N}$$

$$q_w := \frac{P_{vl}}{L} \quad q_w = 59.9\text{N}$$

$$q_{wx} := q_w \cdot \sin(20\text{deg}) \quad q_{wx} = 20.487\text{N}$$

$$q_{wy} := q_w \cdot \cos(20\text{deg}) \quad q_{wy} = 56.288\text{N}$$

$$q'_x := \frac{p_x}{L} \quad q'_x = 166.735\text{N}$$

$$q'_y := \frac{p_y}{L} \quad q'_y = 458.1\text{N}$$

$$q_m := \frac{P_m}{L} \quad q_m = 52.225\text{N}$$

$$q_{mx} := q_m \cdot \sin(20\text{deg}) \quad q_{mx} = 17.862\text{N}$$

$$q_{my} := q_m \cdot \cos(20\text{deg}) \quad q_{my} = 49.075\text{N}$$

$$W_{x'} := P_{vl} \cdot \sin(20\text{deg}) \quad W_{x'} = 40.974\text{N}$$

$$W_{y'} := P_{vl} \cdot \cos(20\text{deg}) \quad W_{y'} = 112.575\text{N}$$

Una vez calculadas las fuerzas equivalentes se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos.

$$\sum f_x = 0$$

$$G_x' := z_x' + o_x' + q_{wx} \cdot L + q'_x \cdot L + q_{mx} \cdot L$$

Ecuación 4-5: Sumatoria de fuerzas en X

$$G_x' = 422.378 \text{ N}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$G_y' + H_y' := q_w y \cdot L + q' y \cdot L + z y' + o y' + q_m y \cdot L$$

Ecuación 4-6: Sumatoria de fuerzas en Y

$$G_y' + H_y' := 1160 \text{ N}$$

$$\sum M_H = 0$$

$$H_y' := \frac{L \cdot q' y + q_w y \cdot L + o y' \cdot L + q_m y \cdot L}{2}$$

Ecuación 4-7: Sumatoria de momentos en H

$$H_y' = 580.237 \text{ N}$$

Una vez calculado H_y' se reemplaza en la Ec.(4.6) y se tiene:

$$G_y' := q_w y \cdot L + q' y \cdot L + z y' + o y' + q_m y \cdot L - H_y'$$

Ecuación 4-8: Reacción en G_y'

$$G_y' = 580.237 \text{ N}$$

Con estas reacciones equivalentes calculadas se realizan los diagramas de fuerza axial, fuerza cortante y momento flector.

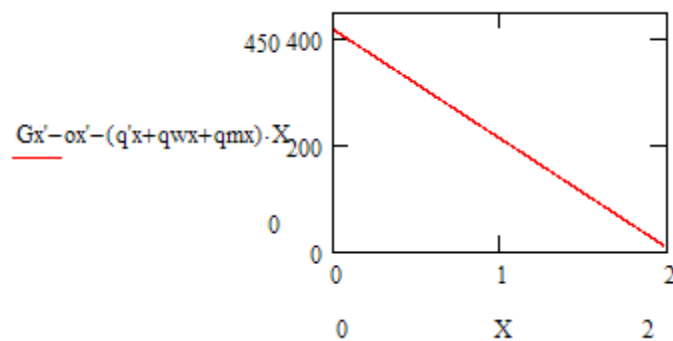


Figura 4-4: Diagrama de fuerza Axial

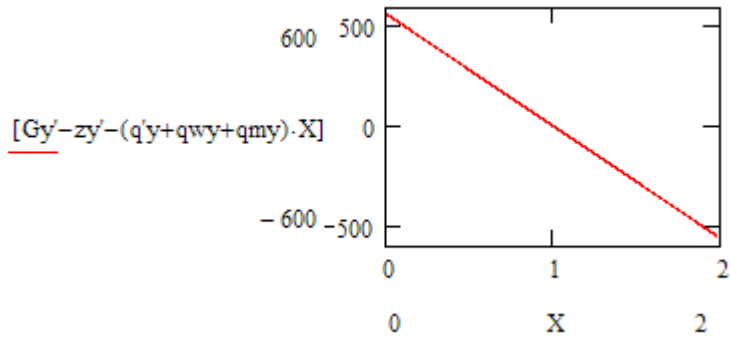


Figura 4-5: Diagrama de fuerza Cortante

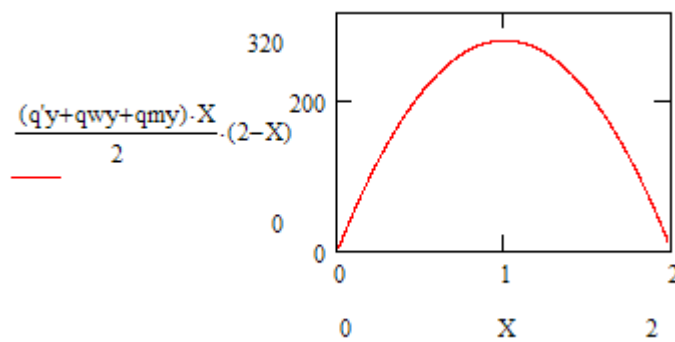


Figura 4-6: Diagrama de Momento flector

Una vez obtenidos los diagramas de fuerza axial, fuerza cortante y momento flector, se selecciona un perfil al cual van a estar sometidas las cargas máximas.

Perfil C125x50x6

$$I := 2.67 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^4$$

$$y := 0.05 \text{ m}$$

$$E := 200000 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

$$Q := 2.63 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^3$$

$$A := 12.3 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2$$

$$b := 0.006 \text{ m}$$

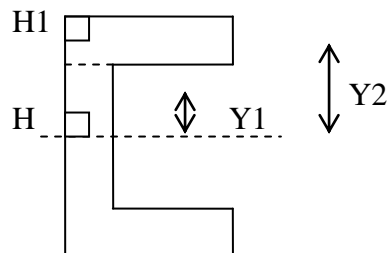


Figura 4.7.- Perfil Cx125x50x6

Fuerzas Axiales

$$P_g := 416.27\text{N}$$

$$P_i := 211.19\text{N}$$

$$P_h := 0\text{N}$$

Fuerzas Cortantes

$$V_g = 563.463\text{N}$$

$$V_h = -563.463\text{N}$$

$$V_i = 0$$

Momentos Flectores

$$M_{\max} = 281.732\text{N}$$

$$M_g := C$$

$$M_h := C$$

Análisis de la sección I

Punto H

$$\sigma_{hp} := \frac{-P_i}{A}$$

Ecuación 4-9: Esfuerzo flector en la fibra H sección I

$$\sigma_{hp} = -1.717 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{sh} := \frac{S_y}{-\sigma_{hp}}$$

Ecuación 4-10: Factor de seguridad en la fibra h Sección I

$$F_{sh} = 1.456 \times 10^3$$

Punto H1

$$\sigma_{h1p} := \frac{-P_i}{A}$$

Ecuación 4-11: Esfuerzo flector fibra h1 sección I de la fuerza axial

$$\sigma_{h1p} = -1.717 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{h1m} := \frac{M_{\max y}}{I} \cdot r$$

Ecuación 4-12: Esfuerzo flector fibra h1 sección I del momento flector

$$\sigma_{h1m} = 5.276 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{h1v} := \frac{V_i Q}{I \cdot b}$$

Ecuación 4-13: Esfuerzo cortante fibra h1 sección I

$$\tau_{h1v} = 0$$

$$\tau_{xy} := \tau_{h1v}$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{\text{tot}} := \sigma_{h1p} + \sigma_{h1m}$$

$$\sigma_{\text{tot}} = 5.104 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_x := \sigma_{\text{tot}}$$

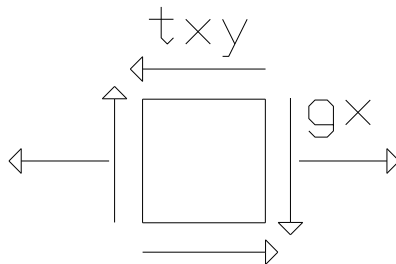


Figura 4-7: Estado biaxial de esfuerzos en H1

Obtenidos los esfuerzos cortantes y flectores, se utiliza la teoría del esfuerzo cortante máximo (T.E.C.M).

$$\sigma_{\text{eq}} := \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \cdot \tau_{xy}^2}$$

Ecuación 4-14: T.E.C.M

$$\sigma_{eq} = 5.104 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F_s := \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

Ecuación 4-15: Factor de seguridad punto h1 sección I

$$F_s = 48.98$$

En el análisis del resto de secciones se utilizan las mismas fórmulas que se utilizaron en el análisis de la sección I

Análisis de la Sección G

Punto H1

$$\sigma_{h1pg} := \frac{-P_g}{A}$$

$$\sigma_{h1pg} = -3.384 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{sh1g} := \frac{S_y}{-\sigma_{h1pg}}$$

$$F_{sh1g} = 738.703$$

Punto H

$$\sigma_{hpg} := \frac{-P_g}{A}$$

$$\sigma_{h1pg} = -3.384 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{hgm} := \frac{M_g \cdot y}{I} \cdot r$$

$$\sigma_{hgm} = 0$$

$$\tau_{hgv} := \frac{V_g \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{hgv} = 9.25 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xyg} := \tau_{hgv}$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{totg} := \sigma_{hpg}$$

$$\sigma_{totg} = -3.384 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{xg} := \sigma_{totg}$$

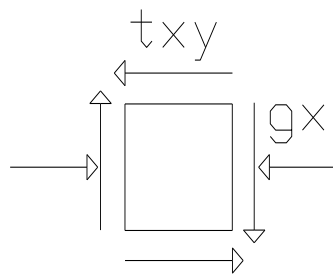


Figura 4-8: Estado biaxial de esfuerzos en H

T.E.C.M

$$\sigma_{eqg} := \sqrt{\sigma_{xg}^2 + 4 \cdot \tau_{xyg}^2}$$

$$\sigma_{eqg} = 1.881 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F_{s1} := \frac{S_y}{\sigma_{eqg}}$$

$$F_{s1} = 132.924$$

Análisis de la Sección H

Punto H1

$$\sigma_{h1ph} := \frac{-Ph}{A}$$

$$\sigma_{h1ph} = 0$$

Punto H

$$\sigma_{hph} := \frac{-Ph}{A}$$

$$\sigma_{hph} = 0$$

$$\sigma_{hhm} := \frac{Mh \cdot y}{I} \cdot n$$

$$\sigma_{hhm} = 0$$

$$\tau_{h hv} := \frac{Vh \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{h hv} = -9.25 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xyh} := \tau_{h hv}$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{toth} := \sigma_{hph}$$

$$\sigma_{toth} = 0$$

$$\sigma_{xh} := \sigma_{toth}$$

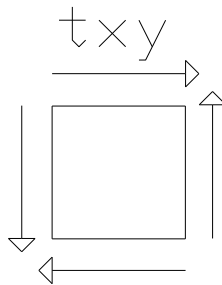


Figura 4-9: Estado biaxial de esfuerzos en H

T.E.C.M

$$\sigma_{eqh} := \sqrt{\sigma_{xh}^2 + 4 \cdot \tau_{xyh}^2}$$

$$\sigma_{eqh} = 1.85 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$Fs2 := \frac{Sy}{\sigma_{eqh}}$$

$$Fs2 = 135.13$$

SEGUNDO DECK

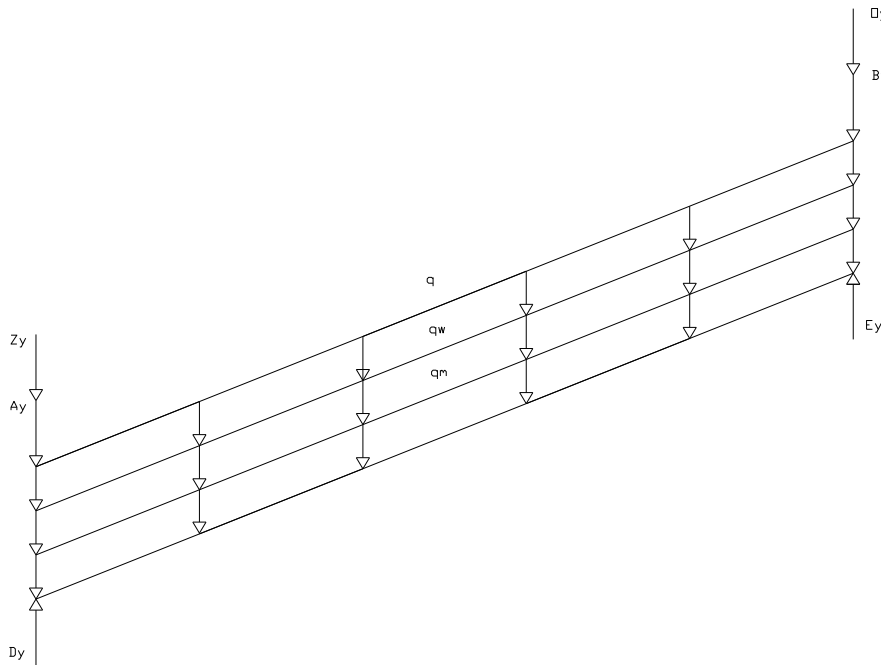


Figura 4-10: Diagrama de cuerpo libre del Segundo nivel

q : Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre la viga

q_w : Carga distribuida del peso de la viga

q_m : Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre la viga

A_y : Carga del primer nivel sobre el segundo nivel

B_y : Carga del primer nivel sobre el segundo nivel

O_y : Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

Z_y : Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

D_y : Reacción sobre la viga en el eje y

E_y : Reacción sobre la viga en el eje Y

El peso de piedra para este nivel va a estar dado por el volumen total del primer nivel, el cual se va a tomar con las medidas de largo, ancho y altura del primer nivel. Con la herramienta "propiedades físicas" de Solid Works 2006, se obtiene el volumen y multiplicado por el porcentaje pasante al segundo nivel, en este caso es 75% pasante

El volumen calculado para este caso es de:

$$v=0.13\text{m}^3 \cdot 0.75$$

$$v=0.0975\text{m}^3$$

La densidad del material a cribar es:

$$d=1500 \text{ Kg/m}^3$$

Para calcular el peso total se utiliza la siguiente fórmula:

$$D=m/v$$

Reemplazando los datos en la Ec (4.33) se obtiene:

$$m= 146.25 \text{ Kg}$$

$$W= 1462.5 \text{ N}$$

Sabiendo el peso total de material pétreo, el peso de la viga, el peso de la malla y el peso de las vigas pequeñas, se obtienen las cargas que van a estar aplicadas al segundo nivel.

Debido a que la carga distribuida se encuentra en un plano inclinado se tiene que obtener las cargas aplicadas sobre un plano equivalente para así poder llevar después al plano original x-y.

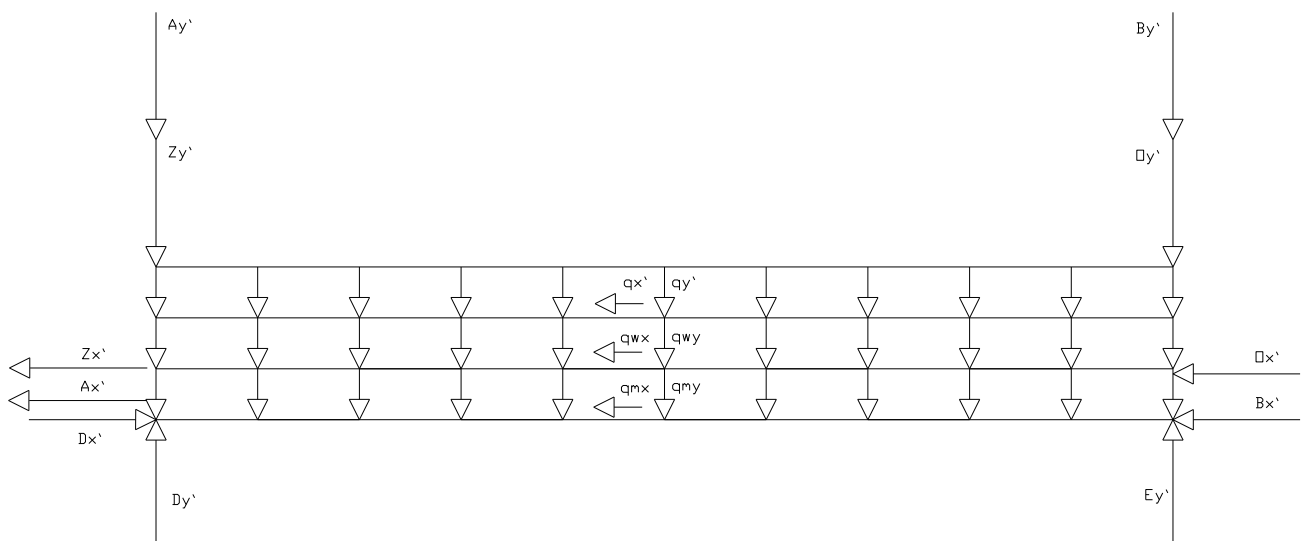


Figura 4.10.- Diagrama equivalente de cuerpo libre del primer nivel

$qy`$: Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre la viga
 $qx`$: Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre el eje axial de la viga
 qwy : Carga distribuida del peso de la viga
 qwx : Carga distribuida del peso de la viga en el eje axial
 qmy : Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre la viga
 qmx : Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre el eje axial de la viga.
 $Ay`$: Carga del primer nivel sobre el segundo nivel en ese punto
 $Ax`$: Carga del primer nivel sobre el eje axial de la viga en ese punto
 $By`$: Reacciones sobre el eje y en ese punto
 $Oy`$: Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga
 $Ox`$: Carga de la viga pequeña que actúa sobre el eje axial de la viga larga
 $Zy`$: Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga
 $Zx`$: Carga de la viga pequeña que actúa sobre el eje axial de la viga larga
 $Dy`$: Reacción sobre el eje y en ese punto
 $Dx`$: Reacción sobre el eje axial de la viga
 $Ey`$: Reacción sobre el eje y en ese punto
 $Ex`$: Reacción sobre el eje axial de la viga

Se tienen las fuerzas(N) de cada uno de los componentes que actúan sobre la viga:

$$P_{vl} := 119.8\text{N}$$

$$P_{vc} := 17.85\text{N}$$

$$P_r := \frac{1462}{2} \cdot \text{N}$$

$$P_m := \frac{208.9}{2} \cdot \text{N}$$

Donde:

P_{vl} : peso de la viga larga.

P_{vc} : Peso de la viga corta.

P_r : Peso de la roca.

Pm: Peso de la malla.

Una vez conocidas las cargas que van a actuar se tiene que llevarlas a un sistema equivalente, el cual se muestra en la figura (4.10).

Donde:

$$Ax' := 422.378\text{N}$$

$$Ay' := 580.237\text{N}$$

$$By' := 580.237\text{N}$$

$$px := Pr \cdot \sin(20\text{deg}) \quad px = 250.017\text{N}$$

$$py := Pr \cdot \cos(20\text{deg}) \quad py = 686.915\text{N}$$

$$zx' := Pvc \cdot \sin(20\text{deg}) \quad zx' = 6.105\text{N}$$

$$zy' := Pvc \cdot \cos(20\text{deg}) \quad zy' = 16.774\text{N}$$

$$ox' := Pvc \cdot \sin(20\text{deg}) \quad ox' = 6.105\text{N}$$

$$oy' := Pvc \cdot \cos(20\text{deg}) \quad oy' = 16.774\text{N}$$

$$qw := \frac{Pvl}{L} \quad qw = 59.9\text{N}$$

$$qwx := qw \cdot \sin(20\text{deg}) \quad qwx = 20.487\text{N}$$

$$qwy := qw \cdot \cos(20\text{deg}) \quad qwy = 56.288\text{N}$$

$$q'x := \frac{px}{L} \quad q'x = 125.008\text{N}$$

$$q'y := \frac{py}{L} \quad q'y = 343.458\text{N}$$

$$qm := \frac{Pm}{L} \quad qm = 52.225\text{N}$$

$$qmx := qm \cdot \sin(20\text{deg}) \quad qmx = 17.862\text{N}$$

$$qmy := qm \cdot \cos(20\text{deg}) \quad qmy = 49.075\text{N}$$

$$Wx' := Pvl \cdot \sin(20\text{deg}) \quad Wx' = 40.974\text{N}$$

$$W_{y'} := P \cdot l \cdot \cos(20\text{deg}) \quad W_{y'} = 112.575\text{N}$$

Una vez calculadas las fuerzas equivalentes se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos.

$$\sum f_x = 0$$

$$D_{x'} := z_{x'} + o_{x'} + q_{wx} \cdot L + A_{x'} + q'_{x'} \cdot L + q_{mx} \cdot L$$

$$D_{x'} = 761.303\text{N}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$D_{y'} + E_{y'} := q_{wy} \cdot L + A_{y'} + B_{y'} + q'_{y'} \cdot L + z_{y'} + o_{y'} + q_{my} \cdot L$$

$$D_{y'} + E_{y'} := 2.09210^3 \cdot \text{N}$$

$$\sum MA = 0$$

$$E_{y'} := \frac{L \cdot q'_{y'} + q_{wy} \cdot L + A_{y'} + B_{y'} + o_{y'} + q_{my} \cdot L + z_{y'}}{2}$$

$$E_{y'} = 1.046 \times 10^3 \text{ N}$$

Una vez calculado $E_{y'}$ se reemplaza en la Ec.(4.36) y se tiene:

$$D_{y'} := q_{wy} \cdot L + A_{y'} + B_{y'} + q'_{y'} \cdot L + z_{y'} + o_{y'} + q_{my} \cdot L - E_{y'}$$

$$D_{y'} = 1.046 \times 10^3 \text{ N}$$

Con estas reacciones equivalentes calculadas se realizan los diagramas de fuerza axial, fuerza cortante y momento flector.

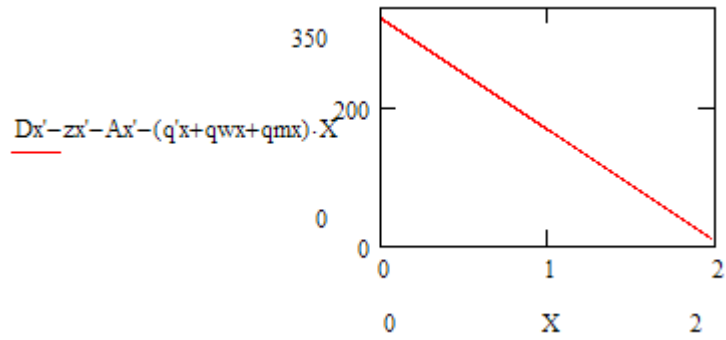


Figura 4-11: Diagrama de fuerza Axial

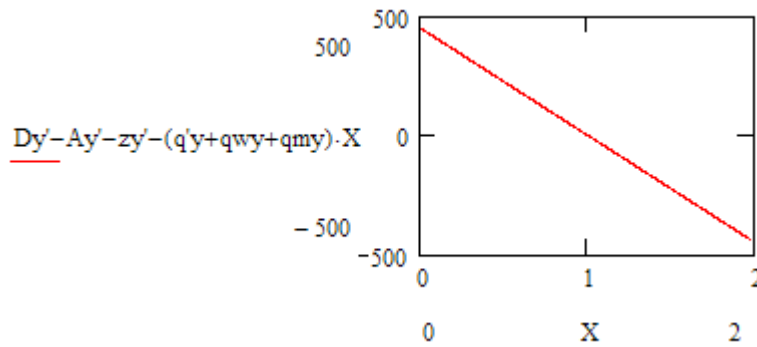


Figura 4-12: Diagrama de fuerza Cortante

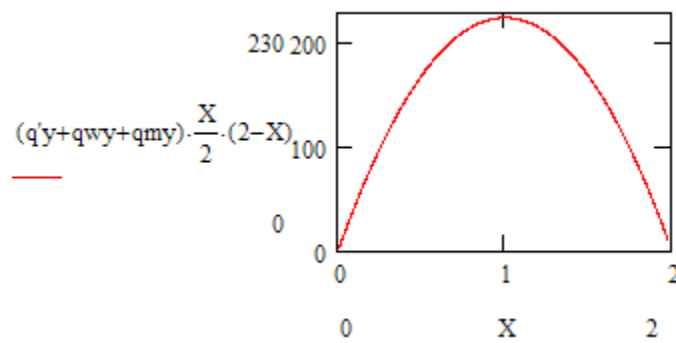


Figura 4-13: Diagrama de Momento flector

Una vez obtenidos los diagramas de fuerza axial, fuerza cortante y momento flector, se selecciona un perfil al cual van a estar sometidas las cargas máximas.

Perfil C125x50x6

$$I := 2.67 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^4$$

$$y := 0.05 \text{ m}$$

$$E := 200000 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

$$Q := 2.63 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^3$$

$$A := 12.3 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2$$

$$b := 0.006 \text{ m}$$

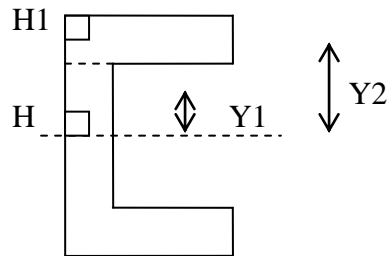


Figura 4-14: Perfil Cx125x50x6

Fuerzas Axiales

$$P_d := 332.82 \text{ N}$$

$$P_f := 168.16 \text{ N}$$

$$P_e := 0 \text{ N}$$

Fuerzas Cortantes

$$V_d = 448.821 \text{ N}$$

$$V_e = -448.821 \text{ N}$$

$$V_f = 0$$

Momentos Flectores

$$M_{\text{max}} = 224.41 \text{ N}$$

$$M_d := C$$

$$M_e := 0$$

Análisis de la sección F

Punto H

$$\sigma_{hp} := \frac{-P_f}{A}$$

$$\sigma_{hp} = -1.367 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{sh} := \frac{S_y}{-\sigma_{hp}}$$

$$F_{sh} = 1.829 \times 10^3$$

Punto H1

$$\sigma_{hp} := \frac{-P_f}{A}$$

$$\sigma_{hp} = -1.367 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{hm} := \frac{M_{maxy}}{I} \cdot r$$

$$\sigma_{hm} = 4.202 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{hv} := \frac{V_f \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{hv} = 0$$

$$\tau_{xy} := \tau_{hv}$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{tot} := \sigma_{hp} + \sigma_{hm}$$

$$\sigma_{tot} = 4.066 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_x := \sigma_{tot}$$

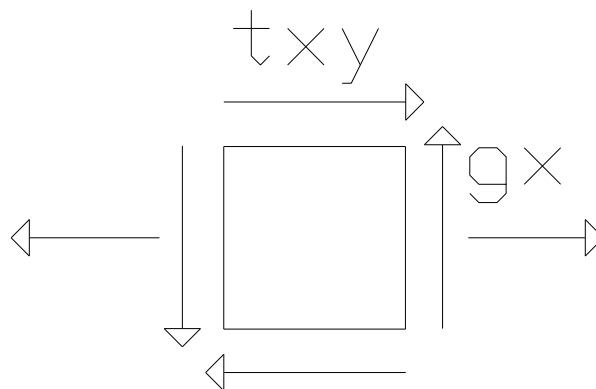


Figura 4-15: Estado biaxial de esfuerzos

Obtenidos los esfuerzos cortantes y flectores, se utiliza la teoría del esfuerzo cortante máximo (T.E.C.M).

$$\sigma_{eq} := \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \cdot \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{eq} = 4.066 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F_s := \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

$$F_s = 61.49$$

Análisis de la Sección D

Punto H1

$$\sigma_{h1pd} := \frac{-Pd}{A}$$

$$\sigma_{h1pd} = -2.706 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{sh1d} := \frac{S_y}{-\sigma_{h1pd}}$$

$$F_{sh1d} = 923.923$$

Punto H

$$\sigma_{hpd} := \frac{-Pd}{A}$$

$$\sigma_{hpd} = -2.706 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{hdm} := \frac{M_d \cdot y}{I} \cdot n$$

$$\sigma_{hdm} = 0$$

$$\tau_{hdv} := \frac{V_d \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{hdv} = 7.368 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xyd} := \tau_{hdv}$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{\text{totd}} := \sigma_{\text{hpd}}$$

$$\sigma_{\text{totd}} = -2.706 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{\text{xd}} := \sigma_{\text{totd}}$$

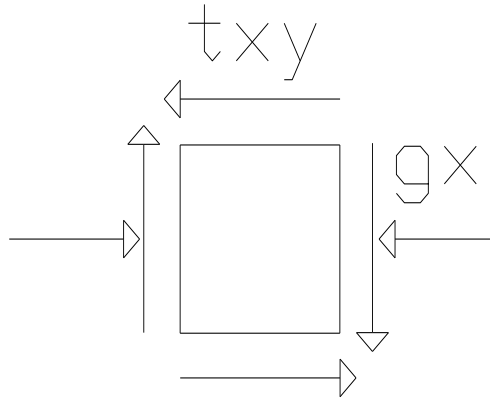


Figura 4-16: Estado biaxial de esfuerzos

T.E.C.M

$$\sigma_{\text{eqd}} := \sqrt{\sigma_{\text{xd}}^2 + 4 \cdot \tau_{\text{xyd}}^2}$$

$$\sigma_{\text{eqd}} = 1.498 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F_{s1} := \frac{S_y}{\sigma_{\text{eqd}}}$$

$$F_{s1} = 166.857$$

Análisis de la Sección E

Punto H1

$$\sigma_{\text{h1pe}} := \frac{-P_e}{A}$$

$$\sigma_{\text{h1pe}} = 0$$

Punto H

$$\sigma_{hpe} := \frac{-Pe}{A}$$

$$\sigma_{hpe} = 0$$

$$\sigma_{hem} := \frac{Me \cdot y}{I} \cdot m$$

$$\sigma_{hem} = 0$$

$$\tau_{hev} := \frac{Ve \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{hev} = -7.368 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xye} := \tau_{hev}$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{tote} := \sigma_{hpe}$$

$$\sigma_{tote} = 0$$

$$\sigma_{xe} := \sigma_{tote}$$

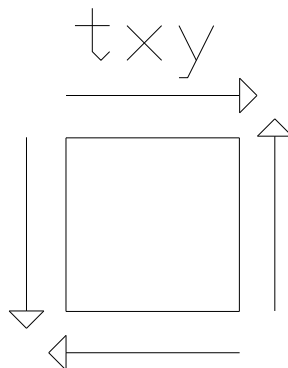


Figura 4-17: Estado biaxial de esfuerzos

T.E.C.M

$$\sigma_{eqe} := \sqrt{\sigma_{xe}^2 + 4 \cdot \tau_{xye}^2}$$

$$\sigma_{eqe} = 1.474 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$Fs2 := \frac{Sy}{\sigma_{eqe}}$$

$$Fs2 = 169.646$$

TERCER DECK

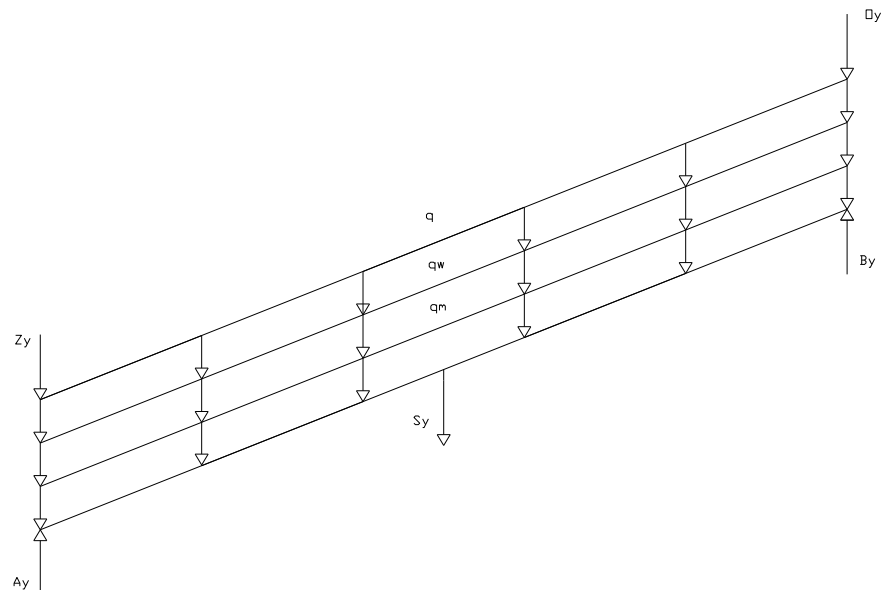


Figura 4-18: Diagrama de cuerpo libre del Tercer nivel

q: Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre la viga

qw: Carga distribuida del peso de la viga

qm: Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre la viga

Dy: Carga del primer nivel sobre el segundo nivel

Ey: Carga del primer nivel sobre el segundo nivel

Oy: Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

Zy: Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

Sy: Carga del soporte del motor que actúa sobre la viga larga

Gy: Reacción sobre la viga en el eje y

Hy: Reacción sobre la viga en el eje Y

El peso de piedra para este nivel va a estar dado por el volumen total del tercer nivel, el cual se va a tomar con las medidas de largo, ancho y altura del primer nivel. Con la herramienta "propiedades físicas" de Solid Works 2006, se obtiene el volumen y multiplicado por el porcentaje pasante al segundo nivel, en este caso es 22.5% pasante

El volumen calculado para este caso es de:

$$v=0.02925\text{m}^3$$

La densidad del material a cribar es:

$$d=1500 \text{ Kg/m}^3$$

Para calcular el peso total se utiliza la siguiente fórmula:

$$D=m/v$$

Reemplazando los datos en la Ec (4.33) se obtiene:

$$m= 43.87 \text{ Kg}$$

$$W= 438.75 \text{ N}$$

Sabiendo el peso total de material pétreo, el peso de la viga, el peso de la malla y el peso de las vigas pequeñas, se obtienen las cargas que van a estar aplicadas al tercer nivel.

Debido a que la carga distribuida se encuentra en un plano inclinado se tiene que obtener las cargas aplicadas sobre un plano equivalente para así poder llevar después al plano original x-y.

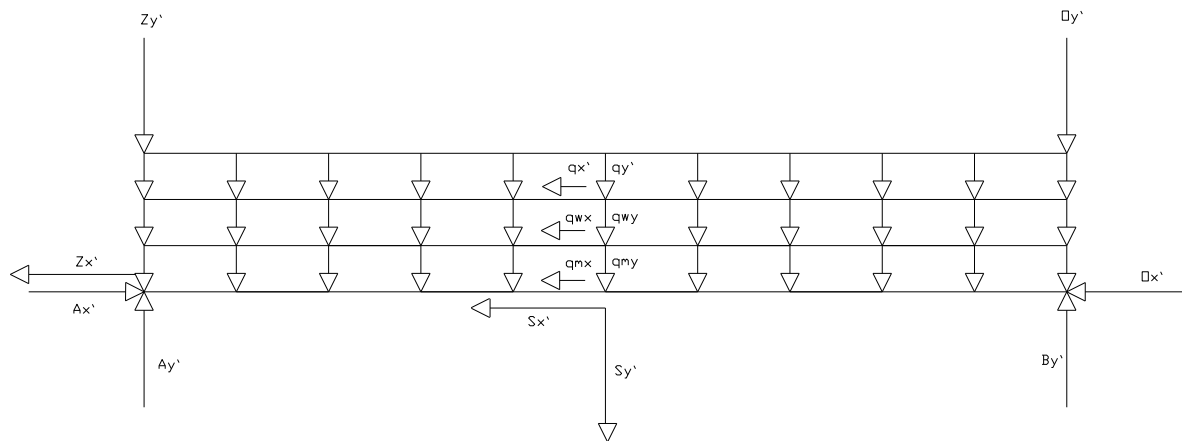


Figura 4-19: Diagrama equivalente de cuerpo libre del Tercer nivel

qy' : Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre la viga

qx' : Carga distribuida del peso de las piedras que actúa sobre el eje axial de la viga

qwy : Carga distribuida del peso de la viga

qwx : Carga distribuida del peso de la viga en el eje axial

qmy : Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre la viga

qmx : Carga distribuida del peso de la malla que actúa sobre el eje axial de la viga.

Dy' : Carga del primer nivel sobre el segundo nivel en ese punto

Dx' : Carga del primer nivel sobre el eje axial de la viga en ese punto

Ey' : Reacciones sobre el eje y en ese punto

Oy' : Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

Ox' : Carga de la viga pequeña que actúa sobre el eje axial de la viga larga

Zy' : Carga de la viga pequeña que actúa sobre la viga larga

Zx' : Carga de la viga pequeña que actúa sobre el eje axial de la viga larga

Gy' : Reacción sobre el eje y en ese punto

Gx' : Reacción sobre el eje axial de la viga

Hy' : Reacción sobre el eje y en ese punto

Hx' : Reacción sobre el eje axial de la viga

Se tienen las fuerzas(N) de cada uno de los componentes que actúan sobre la viga:

$$P_{vl} := 119.8 \text{ N}$$

$$P_{vc} := 17.85 \text{ N}$$

$$P_r := \frac{448.5}{2} \cdot \text{N}$$

$$P_m := \frac{208.9}{2} \cdot \text{N}$$

$$P_{sm} := \frac{305.8}{2} \cdot \text{N}$$

$$D_{x'} := 3836 \text{ N}$$

$$D_{y'} := 5269 \text{ N}$$

$$E_{y'} := 5269 \text{ N}$$

Donde:

P_{vl} : peso de la viga larga.

P_{vc} : Peso de la viga corta.

P_r : Peso de la roca.

P_m : Peso de la malla.

Una vez conocidas las cargas que van a actuar se tiene que llevarlas a un sistema equivalente, el cual se muestra en la figura (4.19).

Donde:

$$p_x := P_r \cdot \sin(20\text{deg}) \quad p_x = 76.698 \text{ N}$$

$$p_y := P_r \cdot \cos(20\text{deg}) \quad p_y = 210.726 \text{ N}$$

$$p_{sx} := P_{sm} \cdot \sin(20\text{deg}) \quad p_{sx} = 52.295 \text{ N}$$

$$p_{sy} := P_{sm} \cdot \cos(20\text{deg}) \quad p_{sy} = 143.679 \text{ N}$$

$$z_{x'} := P_{vc} \cdot \sin(20\text{deg}) \quad z_{x'} = 6.105 \text{ N}$$

$$z_{y'} := P_{vc} \cdot \cos(20\text{deg}) \quad z_{y'} = 16.774 \text{ N}$$

$$o_{x'} := P_{vc} \cdot \sin(20\text{deg}) \quad o_{x'} = 6.105 \text{ N}$$

$$o_{y'} := P_{vc} \cdot \cos(20\text{deg}) \quad o_{y'} = 16.774 \text{ N}$$

$$q_w := \frac{P_{vl}}{L} \quad q_w = 59.9 \text{ N}$$

$$q_{wx} := q_w \cdot \sin(20\text{deg}) \quad q_{wx} = 20.487\text{N}$$

$$q_{wy} := q_w \cdot \cos(20\text{deg}) \quad q_{wy} = 56.288\text{N}$$

$$q'_x := \frac{p_x}{L} \quad q'_x = 38.349\text{N}$$

$$q'_y := \frac{p_y}{L} \quad q'_y = 105.363\text{N}$$

$$q_m := \frac{P_m}{L} \quad q_m = 52.225\text{N}$$

$$q_{mx} := q_m \cdot \sin(20\text{deg}) \quad q_{mx} = 17.862\text{N}$$

$$q_{my} := q_m \cdot \cos(20\text{deg}) \quad q_{my} = 49.075\text{N}$$

$$W_{x'} := P_v \cdot \sin(20\text{deg}) \quad W_{x'} = 40.974\text{N}$$

$$W_{y'} := P_v \cdot \cos(20\text{deg}) \quad W_{y'} = 112.575\text{N}$$

$$S_{x'} := P_{sm} \cdot \sin(20\text{deg}) \quad S_{x'} = 52.295\text{N}$$

$$S_{y'} := P_{sm} \cdot \cos(20\text{deg}) \quad S_{y'} = 143.679\text{N}$$

Una vez calculadas las fuerzas equivalentes se realiza la sumatoria de fuerzas y momentos.

$$\sum f_x = 0$$

$$A_{x'} := z_{x'} + o_{x'} + q_{wx} \cdot L + S_{x'} + q'_x \cdot L + q_{mx} \cdot L + D_x$$

$$A_{x'} = 4.054 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\sum f_y = 0$$

$$A_{y'} + B_{y'} := q_{wy} \cdot L + S_{y'} + q'_y \cdot L + z_{y'} + o_{y'} + q_{my} \cdot L + D_y$$

$$A_{y'} + B_{y'} := 1.64 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$\sum MA = 0$$

$$B_{y'} := \frac{L \cdot q'_y + q_{wy} \cdot L + S_{y'} + o_{y'} \cdot L + q_{my} \cdot L + D_y + E_{y'}}{2}$$

$$B_{y'} = 5.568 \times 10^3 \text{ N}$$

Una vez calculado H_y se reemplaza en la Ec.(4.6) y se tiene:

$$A_y' := qwy \cdot L + S_y' + q'y \cdot L + z_y' + o_y' + qmy \cdot L - B_y' + D_y' + E_y'$$

$$A_y' = 5.568 \times 10^3 \text{ N}$$

Con estas reacciones equivalentes calculadas se realizan los diagramas de fuerza axial, fuerza cortante y momento flector.

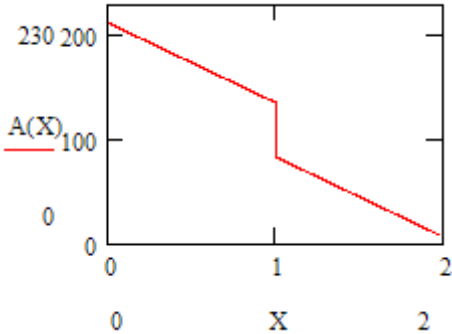


Figura 4-20: Diagrama de fuerza Axial

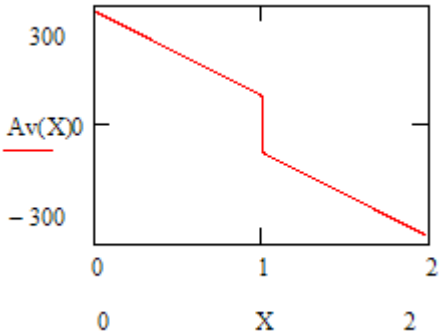


Figura 4-21: Diagrama de fuerza Cortante

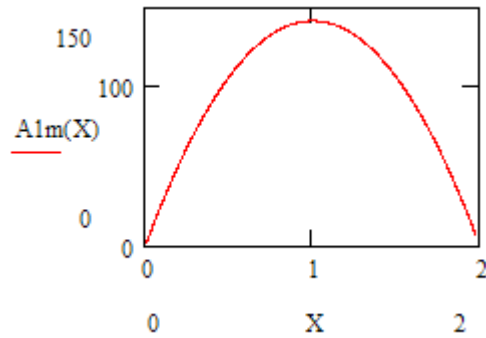


Figura 4-22: Diagrama de Momento flector

Una vez obtenidos los diagramas de fuerza axial, fuerza cortante y momento flector, se selecciona un perfil al cual van a estar sometidas las cargas máximas.

Perfil C125x50x6

$$I := 2.67 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^4$$

$$y := 0.05r$$

$$E := 200000 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

$$Q := 2.63 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^3$$

$$A := 12.3 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2$$

$$b := 0.006r$$

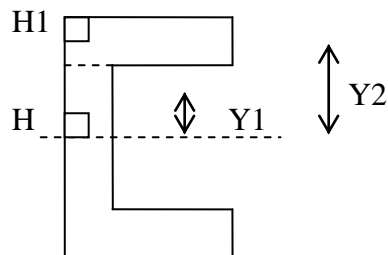


Figura 4-23: Perfil Cx125x50x6

Fuerzas Axiales

$$Pa1 = 211.796\text{N}$$

$$Pc = 135.098\text{N}$$

$$Pb := C$$

Fuerzas Cortantes

$$V_a = 282.566\text{N}$$

$$V_b = -282.566\text{N}$$

$$V_c = 143.679\text{N}$$

Momentos Flectores

$$M_{\max} = 141.283\text{N}$$

$$M_a := C$$

$$M_b := C$$

Análisis de la sección C

Punto H

$$\sigma_{hp} := \frac{-P_c}{A}$$

$$\sigma_{hp} = -1.098 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{hpc} := V_c \cdot \frac{Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{hpc} = 2.359 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{eqhpc} := \sqrt{\sigma_{hp}^2 + 4 \cdot \tau_{hpc}^2}$$

$$\sigma_{eqhpc} = 4.844 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{shpc} := \frac{S_y}{\sigma_{eqhpc}}$$

$$F_{shpc} = 516.132$$

Punto H1

$$\sigma_{hp} := \frac{-Pc}{A}$$

$$\sigma_{hp} = -1.098 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{hm} := \frac{M_{maxy}}{I} \cdot r$$

$$\sigma_{hm} = 2.646 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xy} := 0$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{tot} := \sigma_{hp} + \sigma_{hm}$$

$$\sigma_{tot} = 2.536 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_x := \sigma_{tot}$$



Figura 4-24: Estado biaxial de esfuerzos

Obtenidos los esfuerzos cortantes y flectores, se utiliza la teoría del esfuerzo cortante máximo (T.E.C.M).

$$\sigma_{eq} := \sqrt{\sigma_x^2 + 4 \cdot \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{eq} = 2.536 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F_s := \frac{S_y}{\sigma_{eq}}$$

$$F_s = 98.584$$

Análisis de la Sección A

Punto H1

$$\sigma_{H1pa} := \frac{-PaI}{A}$$

$$\sigma_{H1pa} = -1.722 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{sh1a} := \frac{Sy}{-\sigma_{H1pa}}$$

$$F_{sh1a} = 1.452 \times 10^3$$

Punto H

$$\sigma_{Hpa} := \frac{-PaI}{A}$$

$$\sigma_{Hpa} = -1.722 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{Ham} := \frac{Ma \cdot y}{I} \cdot m$$

$$\sigma_{Ham} = 0$$

$$\tau_{hav} := \frac{Va \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{hav} = 4.639 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xya} := \tau_{hav}$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{tota} := \sigma_{Hpa}$$

$$\sigma_{tota} = -1.722 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{xa} := \sigma_{tota}$$

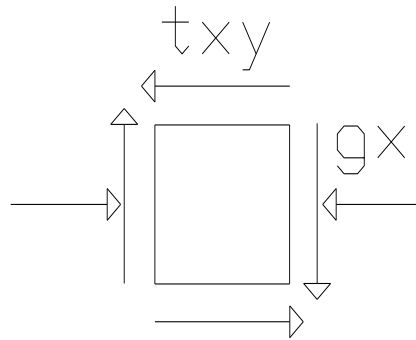


Figura 4-25: Estado biaxial de esfuerzos

T.E.C.M

$$\sigma_{eqa} := \sqrt{\sigma_{xa}^2 + 4 \cdot \tau_{xya}^2}$$

$$\sigma_{eqa} = 9.436 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{s1} := \frac{S_y}{\sigma_{eqa}}$$

$$F_{s1} = 264.938$$

Análisis de la Sección B

Punto H1

$$\sigma_{h1pb} := \frac{-Pb}{A}$$

$$\sigma_{h1pb} = 0$$

Punto H

$$\sigma_{hpb} := \frac{-Pb}{A}$$

$$\sigma_{hpb} = 0$$

$$\sigma_{hbm} := \frac{Mb \cdot y}{I} \cdot r$$

$$\sigma_{hbm} = 0$$

$$\tau_{hbv} := \frac{V_b \cdot Q}{I \cdot b}$$

$$\tau_{hbv} = -4.639 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau_{xyb} := \tau_{hbv}$$

$$\sum \sigma$$

$$\sigma_{totb} := \sigma_{hp b}$$

$$\sigma_{totb} = 0$$

$$\sigma_{xb} := \sigma_{totb}$$

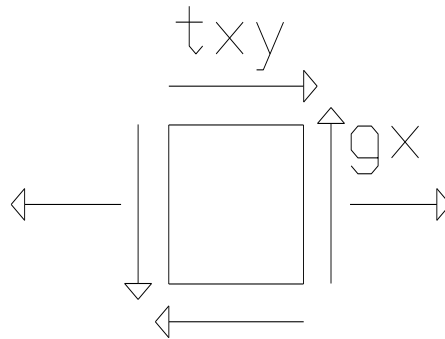


Figura 4-26: Estado biaxial de esfuerzos

T.E.C.M

$$\sigma_{eqb} := \sqrt{\sigma_{xb}^2 + 4 \cdot \tau_{xyb}^2}$$

$$\sigma_{eqb} = 9.278 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$F_{s2} := \frac{S_y}{\sigma_{eqb}}$$

$$F_{s2} = 269.462$$

Con el análisis de los tres niveles y cada uno de sus secciones, se puede ver claramente mediante los factores de seguridad que los perfiles van a resistir adecuadamente, pero de igual forma con los factores de seguridad se puede ver que los perfiles están sobredimensionados.

Para ver la medida final de los perfiles se tiene que realizar otro análisis más crítico, en el cual se pueda observar que de igual manera los perfiles van a resistir.

En este caso se va a realizar un análisis por impacto, el cual se muestra en la sección 4.1.5, pero antes se va a mostrar un cálculo del ala del perfil seleccionado, para así poder comparar los valores obtenidos con los que se obtienen en las simulaciones, las cuales se van a mostrar en la sección 4.3.

Primer deck

Se tienen que saber las propiedades de sección del perfil, junto a las cargas que van a estar aplicadas en el ala. A continuación se muestran los parámetros que van a estar incluidos en el cálculo del factor de seguridad del ala, el cual se va a poder comparar con los datos obtenidos en las simulaciones. Para este cálculo se utilizó una longitud L de 0.05 m.

$$M_{\max} := \frac{q \cdot L}{2}$$

Ecuación 4-16: Momento máximo aplicado en el ala.

$$M_{\max} = 12.188 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$\sigma := M_{\max} \cdot \frac{y}{I}$$

$$\sigma = 4.063 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$F_s := \frac{S_y}{\sigma}$$

$$F_s = 9.846$$

Ecuación 4-17: Factor de seguridad del ala.

En el segundo y tercer deck se realizaron los mismos cálculos y se utilizaron las mismas ecuaciones, los resultados obtenidos fueron:

Segundo deck

$$\sigma := M_{\max} \cdot \frac{y}{I}$$

$$\sigma = 3.046 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$F_s := \frac{S_y}{\sigma}$$

$$F_s = 13.133$$

Tercer deck

$$\sigma := M_{\max} \cdot \frac{y}{I}$$

$$\sigma = 2.319 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$F_s := \frac{S_y}{\sigma}$$

$$F_s = 17.251$$

Con estos valores de factores de seguridad obtenidos en los tres decks, se va a realizar un análisis comparativo con los factores de seguridad que se obtienen en las simulaciones, de esta manera se va a poder corroborar que los cálculos realizados están correctos.

4.1.5- ANALISIS POR IMPACTO

En este caso se va a realizar un análisis de impacto a la membrana situada en el primer deck, debido a que esta es la que recibe el mayor impacto al momento de la carga del material pétreo.

Se realizan diagramas de cuerpo libre del nivel al que se quiere realizar el análisis por impacto, en este caso el más crítico va a ser el primer deck. De igual manera se lo tiene que llevar a un sistema equivalente para ver las cargas más críticas.

$$\sum f_y = 0$$

$$P * \cos(20) - A_y * \cos(20) - B_y * \cos(20) = 0$$

Ecuación 4-18: Sumatoria de fuerzas en Y

Ya que es una carga simétrica que cae sobre la mitad de la viga se tiene que:

$$A_y = B_y$$

$$P * \cos(20) = 2 * A_y * \cos(20)$$

$$A_y = \frac{P}{2}$$

En el análisis por impacto se hace relación a la cantidad de energía acumulada que impacta en un tiempo determinado sobre cualquier objeto estático o en movimiento. Se ve la deflexión del cuerpo el cual fue impactado y se tiene la siguiente ecuación:

$$W * (h + \Delta) = \frac{1}{2} * P * \Delta$$

Ecuación 4-19: Ecuación de impacto

A continuación se muestra un esquema de cómo esta empotrada la malla metálica en la criba, y las cargas que actúan sobre esta.

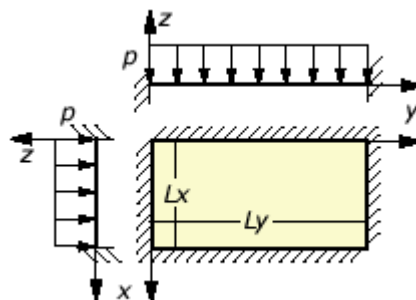


Figura 4-27: Malla metálica empotrada en todos sus lados.

Entonces, con la siguiente formula se calcula la deflexión en función de P.

$$w_{\max} = w(L_x / 2, L_y / 2) = c_1 \frac{p \text{Min}(L_x, L_y)^4}{Eh^3}$$

Ecuación 4-20: Deflexión³² de una membrana rectangular empotrada en sus lados.

$$dy = 4.16 \times 10^{-3} \quad xP$$

Conociendo la deflexión en función de P se reemplaza en la siguiente ecuación, para así poder obtener la carga que actúa en el impacto.

$$Cr \cdot \cos(20\text{deg}) \cdot (0.1 + dy \cdot P) - \frac{1}{2} \cdot dy \cdot P^2 = \bullet C$$

Ecuación 4-21: Sistema de ecuaciones para obtener carga por impacto

Resolviendo la ecuación de segundo grado, se obtuvo:

$$P = 1.897 \times 10^3 \quad N$$

Esta es la carga de impacto que va a actuar sobre el resto de decks, la cual se va a transmitir al resto de la criba.

Como la carga de impacto resultante es menor a la carga estática calculada, en la mayoría de cálculos se va a considerar la carga estática.

4.1.6.- DISEÑO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Este sistema es uno de los más importantes, ya que como se vio en los resultados del TRIZ, este tiene que ser liviano, resistente, que tenga facilidad de montaje y traslado y que sea modular.

Para ver las cargas que van a estar aplicadas en todos los elementos de la estructura, se tiene que sacar el peso total de material junto con el peso total de la criba. Este peso va a tener relación con la cantidad de material que va a pasar y con el material que se va a quedar.

³² www.efunda.com

Se van a calcular las columnas que soportan toda la estructura, ya que estas tienen que resistir todo el peso del material.

Tubo Estructural 127x4

$$A := 15.4610^{-4} \cdot \text{m}^2$$

$$F_y = 2.482 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$E := 20000010^6 \cdot \text{Pa}$$

$$L := 2 \cdot \pi$$

$$k := 0.70$$

$$F := (1987) \cdot \text{N}$$

$$C_c := \sqrt{2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{E}{F_y}}$$

Ecuación 4-22: Limite de esbeltez

$$C_c = 126.116$$

$$\sigma_{\text{aplicado}} := \frac{F}{A}$$

Ecuación 4-23: Esfuerzo aplicado

$$\sigma_{\text{aplicado}} = 1.285 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$e := k \cdot \frac{L}{r}$$

$$e = 32.506$$

Según la AISC $e < C_c$ para que la viga sea corta, y de esta manera calcular si resiste o no el tubo seleccionado.

$$FS := \frac{5}{3} + \frac{3}{8} \cdot \frac{e}{C_c} - \frac{1}{8} \cdot \frac{e^3}{C_c^3}$$

Ecuación 4-24: Factor de seguridad

$$FS = 1.761$$

La AISC dice que FS tiene que estar entre 1.67 y 1.92, en este caso si cumple, a continuación se calcula el esfuerzo crítico:

$$\sigma_{cr} := \left(1 - \frac{e^2}{2 \cdot Cc^2} \right) \cdot \frac{F_y}{FS}$$

Ecuación 4-25: Esfuerzo Crítico

$$\sigma_{cr} = 1.363 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$Fs := \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{aplicado}}$$

Ecuación 4-26: Factor de seguridad real

$$Fs = 106.013$$

Con este factor de seguridad se puede ver que el tubo seleccionado va a resistir, pero estaría sobredimensionado.

Para este efecto se selecciono otro tubo, cuyas dimensiones son:

Tubo Estructural 76x2

$$r := 0.0262r$$

$$A_{xxx} := 4.610^{-4} \cdot m^2$$

Con este perfil, y utilizando las mismas formulas de la AISC, se obtiene:

$$Fs := \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{aplicado}}$$

$$Fs = 28.724$$

Este factor de seguridad dice que el perfil sigue resistiendo, pero sigue estando sobredimensionado, pero por razones de que esta es una máquina que trabaja con vibraciones, se deja un factor de seguridad alto.

Vigas estructura principal.

Para el análisis de las vigas de la estructura principal, se va a tomar la mas critica, la cual esta ubicada en el centro de la estructura principal.

Como son dos vigas las que van a soportar las cargas provenientes de la criba modular, las cargas aplicadas a estas van a ser las resultantes dividido para dos.



Figura 4-28: Cargas en la estructura principal

A continuación se muestran las propiedades de la sección seleccionada para este análisis.

Perfil C 200x80x6

$$I := 2.67 \cdot 10^{-6} \cdot \text{m}^4$$

$$E := 200000 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

$$A := 12.3 \cdot 10^{-4} \cdot \text{m}^2$$

$$y := 0.05 \cdot \text{m}$$

$$Q := 2.63 \cdot 10^{-5} \cdot \text{m}^3$$

$$b := 0.006 \cdot \text{m}$$

$$q := 1333.3$$

$$S_y := 250 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

Realizando la sumatoria de fuerzas se obtuvieron las reacciones en los extremos de la viga.

$$A_y := 1586.6 \text{ N}$$

$$B_y := 1586.6 \text{ N}$$

Una vez obtenidas las cargas que van a actuar en el análisis de la viga, se realizan las graficas de fuerza cortante y momento flector.

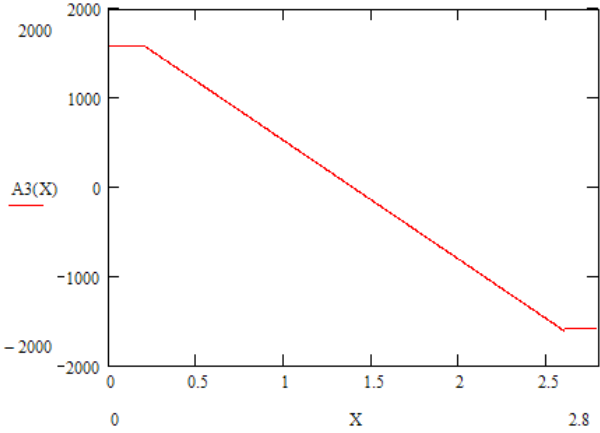


Figura 4-29: Fuerza cortante

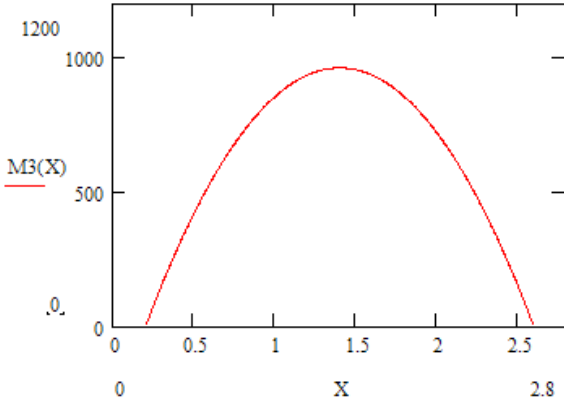


Figura 4-30: Momento flector

Con estas graficas sacamos los cortantes máximos, mínimos y los momentos flectores máximos y mínimos.

Fuerzas Cortantes

$$V_a = 1.587 \times 10^3 \text{ N}$$

$$V_c = 0$$

$$V_b = -1.587 \times 10^3 \text{ N}$$

Momentos

$$M_a := 0 \cdot \text{N}\cdot\text{m}$$

$$M_c := 960 \cdot \text{N}\cdot\text{m}$$

$$M_b := 0 \cdot \text{N}\cdot\text{m}$$

Realizando el mismo análisis de la sección 4.1.4, se obtuvo lo siguiente:

Sección A

Punto H

$$\tau_{ha} = 2.605 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F_{sA} = 47.99 \text{ N}$$

Punto H1

No existen momentos, cortante cero

Sección B

Punto H

$$\tau_{hb} = -2.605 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F_{sB} = 47.99 \text{ N}$$

Sección C

Punto H

No existen Momentos, cortante cero

Punto H1

$$\tau_{hc} = 1.798 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$F_{sC} = 13.906 \text{ N}$$

Viendo los factores de seguridad se puede ver que las vigas van a soportar, y la sección mas critica va a ser la C.

4.1.7.- ANÁLISIS POR FATIGA

Debido a que la máquina que se esta diseñando va a tener una vida de 5 años, va a cumplir con un ciclo³³ de trabajo de 10^6 , que va a estar entre vida finita y vida infinita, pero por razones mas criticas se va a tomar como vida infinita, es por esto que es sumamente importante realizar una análisis de fatiga, para ver como van a reaccionar los elementos en este tiempo determinado.

Primer deck

Lo primero que se debe hacer es ver cual va a ser la fibra mas critica en el análisis estático, para que de esta manera se pueda calcular si es que el material va a resistir a fatiga con las cargas alternantes que va a tener.

Para el primer deck, se identificó como la fibra más crítica a la H1 en la sección I, donde tenemos los siguientes datos:

$$\sigma_{eq} = 4.34 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_m := \frac{\sigma_{eq}}{2}$$

Ecuación 4-27: Esfuerzo medio

$$\sigma_m = 2.17 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a := \frac{\sigma_{eq}}{2}$$

Ecuación 4-28: Esfuerzo alternante

$$\sigma_a = 2.17 \times 10^7 \text{ Pa}$$

³³ Diseño en Ingeniería Mecánica, Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Fig. 7.6 Pág. 372

$$S_{ut} := 400 \cdot 10^6 \cdot Pa^{34}$$

$$S_{ut} < 1460 \text{ Mpa} \quad S_e = 0.506 S_{ut}$$

$$S_e' := 0.506 \cdot S_{ut}$$

$$S_e' = 2.024 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Ka -- Condición superficial

Kb -- Factor de tamaño

Kc -- Factor de carga

Kd -- Factor de temperatura

Ke -- Factor de efectos varios

kf -- Factor de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca

Se' -- Limite de resistencia a la fatiga

Se -- Limite de resistencia a la fatiga

$$S_e := K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot \frac{S_e'}{K_f}$$

Ecuación 4-29: Resistencia a la fatiga modificada

$$S_e = 8.416 \times 10^7 \text{ Pa} \blacksquare$$

Aplicando el criterio de Soderberg par la resistencia a la fatiga, el cual es conservador por considerar el límite de fluencia del material, y despejando el factor de seguridad, se tiene la siguiente relación

$$F_{sfatiga} := \frac{S_e \cdot S_y}{S_y \cdot \sigma_a + S_e \cdot \sigma_m}$$

Ecuación 4-30: Factor de seguridad aplicando Soderberg

$$F_{sfatiga} = 2.902 \blacksquare$$

Este factor de seguridad muestra claramente que el primer nivel va a resistir, y sin estar sobredimensionado.

³⁴ Diseño en Ingeniería Mecánica, Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, Tb.. 7.4 Pág. 375

Segundo deck

Para este nivel se va a hacer referencia a las formulas utilizadas en el primer nivel, ya que lo único que va a cambiar van a ser las carga.

Así mismo como en el primer deck, se tiene que ver cual va a ser la fibra más crítica y en que sección, en este caso, la fibra mas critica es H1 en la sección F.

$$\sigma_{tot} = 4.065 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_m := \frac{\sigma_{tot}}{2}$$

$$\sigma_m = 2.032 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a := \frac{\sigma_{tot}}{2}$$

$$\sigma_a = 2.032 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$S_{ut} := 400 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

$$S_e' := 0.506 S_{ut}$$

$$S_e' = 2.024 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Ka -- Condición superficial

Kb -- Factor de tamaño

Kc -- Factor de carga

Kd -- Factor de temperatura

Ke -- Factor de efectos varios

kf -- Factor de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca

Se' -- Limite de resistencia a la fatiga

Se -- Limite de resistencia a la fatiga

$$S_e := K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot \frac{S_e'}{K_f}$$

$$S_e = 8.416 \times 10^7 \text{ Pa}$$

De la misma forma que en el primer nivel, se aplica el criterio de Soderberg por la resistencia a la fatiga, el cual es conservador por considerar el límite de fluencia del material, y despejando el factor de seguridad, se tiene la siguiente relación.

$$F_{\text{fatiga}} := \frac{S_e \cdot S_y}{S_y \cdot \sigma_a + S_e \cdot \sigma_m}$$

$$F_{\text{fatiga}} = 30.98$$

Tercer deck

Para este nivel se va a hacer referencia a las formulas utilizadas en los primeros dos niveles, ya que lo único que va a cambiar van a ser las carga.

Así mismo como en el primer deck, se tiene que ver cual va a ser la fibra mas critica y en que sección, en este caso, la fibra mas critica es H1 en la sección C.

$$\sigma_{H1mf} := 2.646 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

$$\sigma_m := \frac{\sigma_{H1mf}}{2}$$

$$\sigma_m = 1.323 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a := \frac{\sigma_{H1mf}}{2}$$

$$\sigma_a = 1.323 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$S_{ut} := 400 \cdot 10^6 \cdot \text{Pa}$$

$$S_e' := 0.506 \cdot S_{ut}$$

$$S_e' = 2.024 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

Ka -- Condición superficial

Kb -- Factor de tamaño

Kc -- Factor de carga

Kd -- Factor de temperatura

Ke -- Factor de efectos varios

kf -- Factor de concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca

Se' -- Limite de resistencia a la fatiga

Se -- Limite de resistencia a la fatiga

$$Se := Ka \cdot Kb \cdot Kc \cdot Kd \cdot Ke \cdot \frac{Se'}{Kf}$$

$$Se = 8.416 \times 10^7 \text{ Pa}$$

De la misma forma que en los primeros dos niveles, se aplica el criterio de Soderberg par la resistencia a la fatiga, el cual es conservador por considerar el límite de fluencia del material, y despejando el factor de seguridad, se tiene la siguiente relación.

$$F_{sfatiga} := \frac{Se \cdot S_y}{S_y \cdot \sigma_a + Se \cdot \sigma_m}$$

$$F_{sfatiga} = 47.591$$

Terminado el análisis a fatiga para los tres decks, se pudo ver que los factores de seguridad difieren en mayor número el uno del otro, esto se debe a que el impacto de mayor magnitud va a estar aplicado principalmente en el primer nivel.

Se podría modificar los niveles 2 y 3, para poder bajar los costos, pero como es una criba modular que todos los elementos de una tienen que calzar en los otros dos, se deja el mismo diseño para los tres niveles.

4.1.8.- ANALISIS DE SOLDADURAS

Este análisis es uno de los más importantes dentro del todo el diseño de la criba, debido a que si uno de estos elementos de unión fallan, el resto de la criba va a fallar.

Para efectos de optimización de tiempo en el diseño, el análisis que se va a realizar, va a ser en las uniones más críticas de cada nivel.

Las soldaduras en los tres niveles, así como en el resto de la estructura fueron de filete y de ranura. En la unión de los tubos que soportan la estructura principal se hizo una soldadura de filete que señala que es alrededor.

Primer Nivel

Para este análisis se asumió que la sección a analizar es una viga en voladizo, con soldadura de ranura³⁵ como se muestra en la figura 4-28. Pero para poder saber el factor de este cordón de soldadura se supone que la soldadura de ranura es como un elemento más del sistema, y el factor de seguridad de todo el elemento se lo traslada al cordón de soldadura.

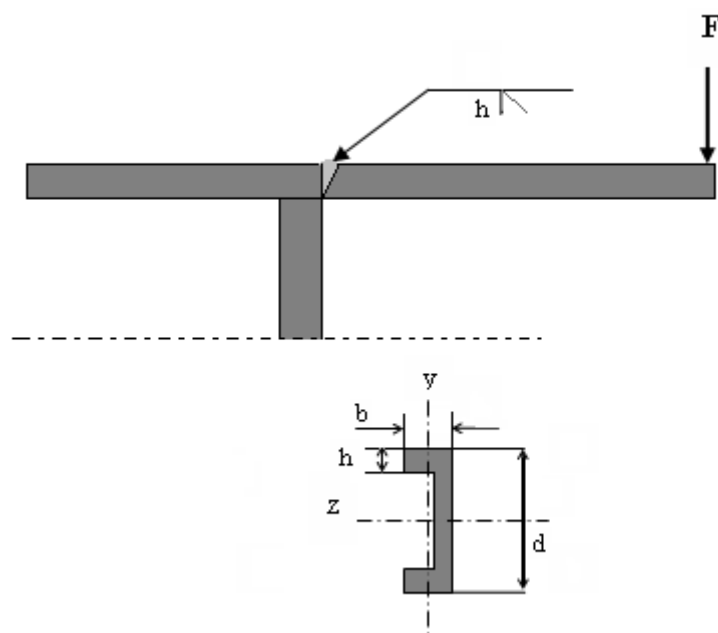


Figura 4-31: Diagrama de soldadura entre columnas

³⁵ Diseño en Ingeniería Mecánica, Shigley Joseph, Ed. Mcgraw-Hill, p.548

El factor de seguridad calculado para esta sección en el punto mas critico fue de 3. Se puede decir que el factor esta muy bajo, pero como se selecciono el factor de seguridad obtenido con el análisis a fatiga se puede decir que esta correcto.

El otro tipo de soldadura es de filete, de ésta manera, estarán presentes una fuerza cortante y un momento flector en el extremo soldado.

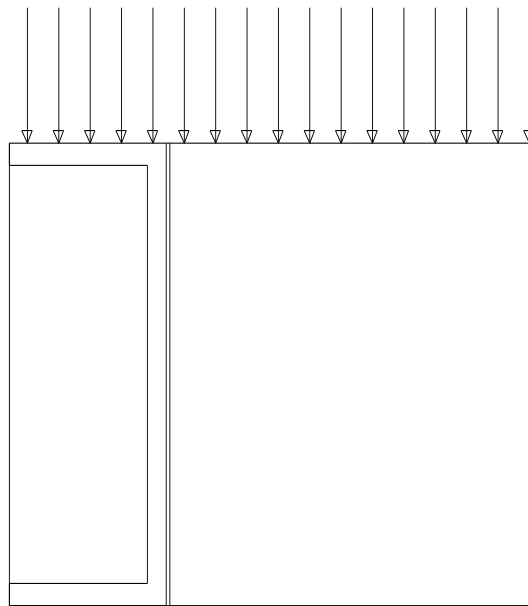


Figura 4-32: Esquema de soldadura de filete

La fuerza cortante produce un esfuerzo cortante primario en las soldaduras, el cual viene dado por:

$$\tau := \frac{V_a}{A_m}$$

Ecuación 4-31: Esfuerzo cortante primario en la soldadura.

Donde:

Va: fuerza cortante (N)

Am: Área total de la garganta (m²)

El área total de la garganta será:

$$A := 0.707 \cdot h \cdot (2 \cdot b + d)$$

Ecuación 4-32: Área de la garganta de soldadura

Donde:

h: altura de la garganta (0.005 m)

b: longitud de la soldadura en la base del perfil (0.05m)

d: altura de la soldadura (0.125m)

Reemplazando los valores ya conocidos, se tiene un valor de cortante primario de:

$$\tau' = 8.097 \times 10^5 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante nominal en la garganta está dado por:

$$\tau := M \cdot \frac{c}{I_m}$$

Ecuación 4-33: Esfuerzo cortante nominal en la garganta

Donde:

M: momento flector (N.m)

c: distancia de la línea neutra al filete de soldadura (m)

I_m: momento de inercia de la soldadura (m⁴)

Para el cálculo de la inercia se tiene lo siguiente:

$$I_v := \frac{d^2}{12} \cdot (6 \cdot b + d)$$

Ecuación 4-34: Segundo momento del área unitaria

$$I_v = 5.534 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

$$I := 0.707h \cdot I_v$$

Ecuación 4-35: Segundo momento de inercia con base en el área de la garganta

$$I = 1.956 \times 10^6 \text{ m}^4$$

$$I_m := \frac{I}{1000^4}$$

$$I_m = 1.956 \times 10^{-6}$$

Reemplazando la Ec. (4.33) en la Ec. (4.31), se obtiene el valor del esfuerzo cortante nominal en la garganta:

$$\tau = 6.092 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Una vez obtenidos los valores de las dos componentes de esfuerzo cortante, normales entre ellas, se obtiene, mediante una relación pitagórica, el esfuerzo cortante resultante:

$$\tau_r := \sqrt{\tau_x^2 + \tau_y^2}$$

Ecuación 4-36: Esfuerzo cortante resultante en la soldadura

$$\tau_r = 6.145 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Al tener el valor del esfuerzo resultante, éste tiene que ser comparado con el valor de la resistencia al cortante del material con el que se va a soldar. El electrodo es un 6011.

$$S_{us} := 427 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante permisible por el código AISC³⁶ (American Institute of Steel Construction) para el metal de aporte es:

³⁶Diseño en Ingeniería Mecánica, Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke, p.551, T. 9.5

$$\tau_{perm} := 0.3 \cdot S_{us}$$

Ecuación 4-37: Esfuerzo cortante permisible de la soldadura

Al comparar el esfuerzo cortante nominal aplicado a la soldadura, con el esfuerzo permisible por la AISC, se obtiene el factor de seguridad para la soldadura.

$$FS_s := \frac{\tau_{perm}}{\tau}$$

Ecuación 4-38: Factor de seguridad para la soldadura

$$FS_s = 20.845$$

Se puede observar claramente que la soldadura no va a fallar, de manera que el material a usar queda definido.

Debido a que los análisis en el segundo y tercer nivel son los mismos, se van a utilizar las mismas formulas, y a continuación se van a presentar los resultados de los esfuerzos cortantes resultantes y sus respectivos factores de seguridad.

Segundo Nivel

Soldadura de ranura

El factor de seguridad calculado para esta sección en el punto mas critico fue de 31.

Viendo el valor del factor de seguridad se puede decir que la soldadura va a soportar las cargas aplicadas.

Soldadura de filete

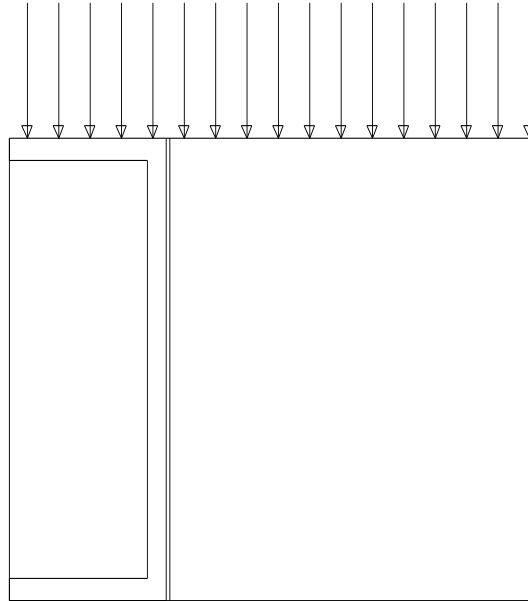


Figura 4-33: Esquema de soldadura de filete

$$\tau' = 5.643 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau = 1.2 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\tau = 1.201 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$F_s = 10.666$$

Tercer Nivel

Soldadura de ranura

El factor de seguridad calculado para esta sección en el punto mas critico fue de 48.

Viendo el valor del factor de seguridad se puede decir que la soldadura va a soportar las cargas aplicadas.

Soldadura de filete

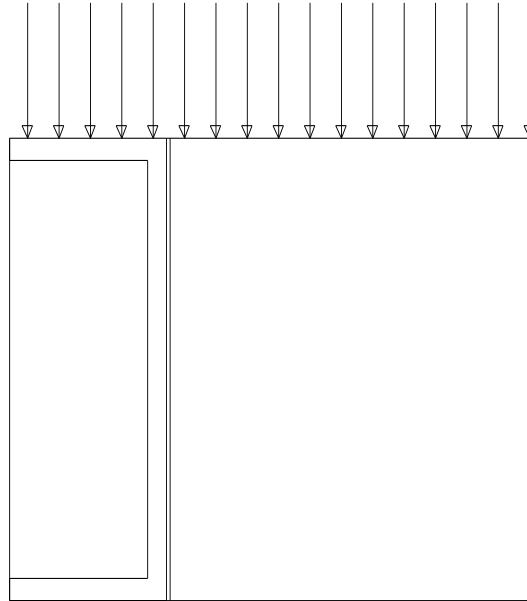


Figura 4-34: Esquema de soldadura de filete

$$\tau' = 2.649 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau = 1.441 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\tau = 1.442 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$F_s = 8.885$$

Vigas estructura.

De igual manera que para los decks, las vigas que conforman parte de la estructura van a tener soldaduras de ranura y de filete.

Para las soldaduras de ranura se tiene un valor de factor de seguridad igual al que se calculó en todo el elemento que conforma la estructura, este valor es de 13.9, el cual dice que esa soldadura si va a resistir las cargas aplicadas a la criba.

Para la soldadura de filete se obtuvo lo siguiente:

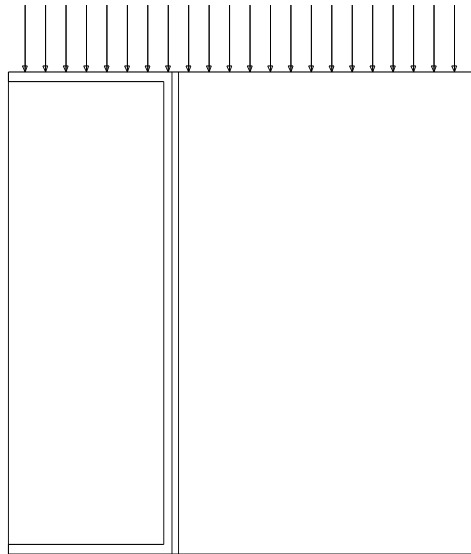


Figura 4-35: Esquema de soldadura de filete

$$\tau' = 1.246 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau = 3.723 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_r := \sqrt{\tau'^2 + \tau^2}$$

$$\tau_r = 3.926 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{perm} := 0.3 \cdot S_{us}$$

$$\tau_{perm} = 1.281 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$F_s := \frac{\tau_{perm}}{\tau_r}$$

$$F_s = 32.626$$

Estos valores dicen claramente que el tipo de soldaduras hecha en esta sección de la maquina va a resistir correctamente.

Soporte resortes

Se utilizan las mismas formulas que se utilizaron para el cálculo de soldaduras de los tres niveles y la estructura.

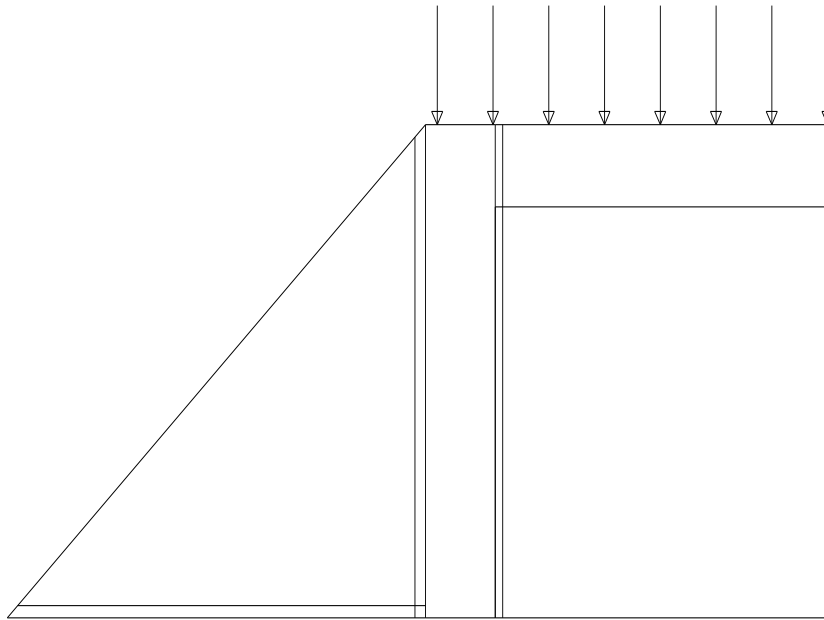


Figura 4-36: Esquema de soldadura de filete

A continuación se muestra el cálculo de las soldaduras y su respectivo factor de seguridad, para con este poder comparar con los valores obtenidos en la simulación.

$$\tau' := \frac{V_a}{A1}$$

$$\tau' = 4.8 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\tau := M \cdot \frac{c}{I_{m1}}$$

$$\tau = 5.902 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_r := \sqrt{\tau'^2 + \tau^2}$$

$$\tau_r = 5.921 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\tau_{perm} := 0.3 \cdot S_{us}$$

$$\tau_{perm} = 1.281 \times 10^8 \text{ Pa}$$

$$F_s := \frac{\tau_{perm}}{\tau_r}$$

$$F_s = 21.634$$

Viendo este resultado se puede decir que las soldaduras realizadas van a resistir las cargas aplicadas.

4.1.9.- DISEÑO SISTEMA DE CONTROL

El diseño del sistema de control para esta máquina va a consistir principalmente de una fuente de poder trifásica, la cual va a alimentar dos motovibradores trifásicos, los cuales se van a activar mediante un interruptor igualmente trifásico. Todo sistema eléctrico tiene que tener sus subsistemas de seguridad, es por esto que se colocan en cada una de las fases fusibles.

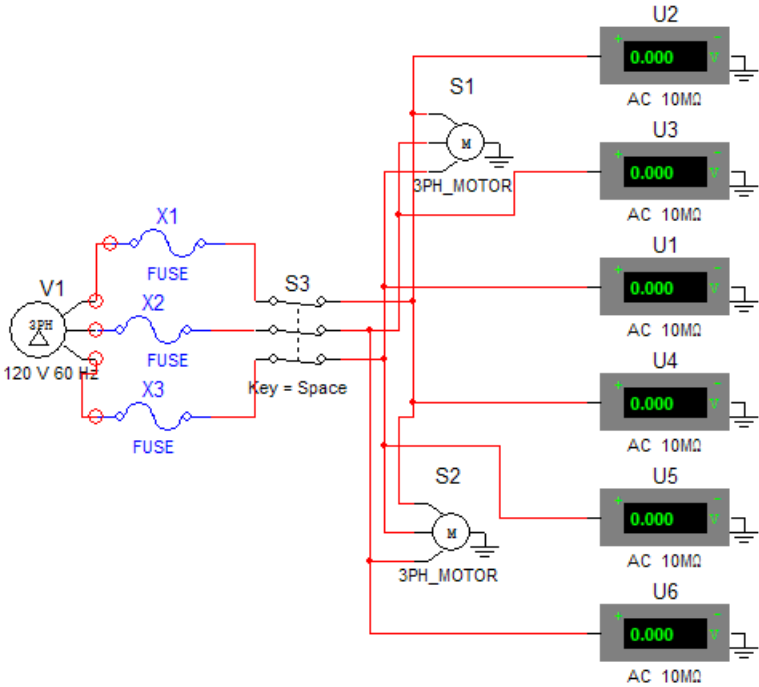


Figura 4-37: Esquema del sistema de control

4.2.- ANALISIS DE VIBRACIONES

En este análisis se van a encontrar las cargas que actúan cuando las masas desbalanceadas empiezan a funcionar, las cuales van a ser transmitidas hasta la estructura principal que soporta la criba vibratoria.

Para empezar se tiene que saber cual va a ser la velocidad de giro de los motores, cuanto van a pesar las masas desbalanceadas y que tipo de resortes se van a utilizar.

Cabe recalcar que este diseño tiene dos motovibradores que van a girar en direcciones opuestas, para que de esta manera este sentido contrario de giro elimine las cargas laterales que van a existir y se haga mas sencillo el análisis.

$$V_m := 900 \text{ rpm}$$

$$M_c := 432.76 \text{ Kg}$$

$$M_r := 372.66 \text{ Kg}$$

$$H := 0.26 \text{ m}$$

$$D_e := 0.18 \text{ m}$$

$$D_a := 0.015 \text{ m}$$

$$N_e := 7 \text{ No. de espirales}$$

$$m_o := 10 \text{ Kg}$$

Donde:

V_m : Velocidad de giro del motor.

M_c : Masa total de la criba vibratoria.

M_r : Masa total del material pétreo a ser cribado.

H : Altura de los resortes deformados con la carga inicial.

D_e : Diámetro externo del resorte.

D_a : Diámetro del alambre del resorte.

N_e : Numero de espirales del resorte.

m_o . Peso de las masas desbalanceadas.

Una vez identificados los parámetros a utilizar dentro del cálculo de las fuerzas que actúan debido a las vibraciones, se calcula lo siguiente:

$$K := \frac{G \cdot D_a^4}{8 \cdot D_e^3 \cdot N_e}$$

Donde:

K: Constante³⁷ del resorte.

G: Modulo de elasticidad³⁸ para el cortante en los resortes y es (G=79.3x10⁹ Pa).

$$K = 1.229 \times 10^4 \frac{N}{m}$$

Una vez calculada la constante del resorte, se calcula el desplazamiento que va a tener un resorte mediante la siguiente formula:

$$X = F / K \cdot 4$$

Ecuación 4-39: Desplazamiento del resorte debido a la carga estática.

Donde:

X: Desplazamiento del resorte debido a la carga estática.

F: Fuerzas estáticas que actúan sobre el resorte.

$$X = 0.164 \text{ m}$$

El cálculo de las frecuencias naturales es importante en esta etapa, ya que se tiene que comprobar que ninguna de las frecuencias, así sea con carga o sin carga, entren en resonancia.

Frecuencia natural con carga

$$W_{n1} := \sqrt{\frac{K \cdot 4}{M_c + M_r + 60 + 50}}$$

Ecuación 4-40: Frecuencia natural con carga

$$W_{n1} = 7.329 \frac{1}{s}$$

Frecuencia natural sin carga

³⁷ Mechanical Engineering formulas, Pocket guide, Tyler G. Hicks, pag. 79

³⁸ Mechanical Engineering formulas, Pocket guide, Tyler G. Hicks, pag. 79

$$W_{n1} := \sqrt{\frac{K \cdot 4}{M_c + M_r + 60 + 50}}$$

Ecuación 4-41: Frecuencia natural sin carga

$$W_{n2} = 10.659 \frac{1}{s}$$

La frecuencia de operación que genera el motor es de 15 *1/s, y comparando con las frecuencias calculadas con carga y sin carga se puede ver que el porcentaje que las separa es mayor del 20%, esto quiere decir que no van a entrar en resonancia.

Para el cálculo de la amplitud se tiene la siguiente fórmula:

$$X := \frac{m_0 \cdot w_{motor}^2 \cdot e_1 \cdot \cos(20 \text{ deg})}{a \cdot (W_{n1}^2 - w_{motor}^2)}$$

Ecuación 4-42: Amplitud que genera el desbalance

$$X = -1.211 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Donde x va a ser la amplitud en metros que generan las masas desbalanceadas.

Las cargas que están aplicadas sobre el resto de la criba van a ser:

$$F_y := X \cdot K$$

Ecuación 4-43: Fuerza generada en el eje y

$$F_y = -14.882 \text{ N}$$

$$F_x := F_y \cdot \tan(20 \text{ deg})$$

Ecuación 4-44: Fuerza generada en el eje x

$$F_x = -5.417 \text{ N}$$

Como se observa en los resultados, las cargas de vibración no van a ser de mucha consideración.

Lo que quieren decir los resultados es, que para mover una amplitud de 1,2 mm, con la criba cargada y lista para trabajar, se necesitan 14.8 N aparte de la carga ya puesta, y la carga lateral que va a existir va a ser de 5,5 N.

Esta carga lateral va a generar un desplazamiento en el eje horizontal de coordenadas, y esta es:

$$Y = -3.044 \times 10^{-4} \text{ m}$$

4.3.- SIMULACION Y VERIFICACION DE LOS SISTEMAS DISEÑADOS

4.3.1.-ANALISIS DE ESFUERZOS

Las simulaciones fueron realizadas con una herramienta de diseño llamada CosmosWorks, la cual se encuentra dentro de un programa principal llamado SolidWorks.

Mediante la utilización de este programa se pueden ver de una manera mas gráfica como se van a deformar y como van a actuar los cuerpos sometidos a diferentes cargas. En este caso va a ser como van a estar los elementos de la criba sometidos a las diferentes cargas que se les van a aplicar.

Primer deck

Nombre de modelo: Caja Modular modificada 1deck
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 8.9

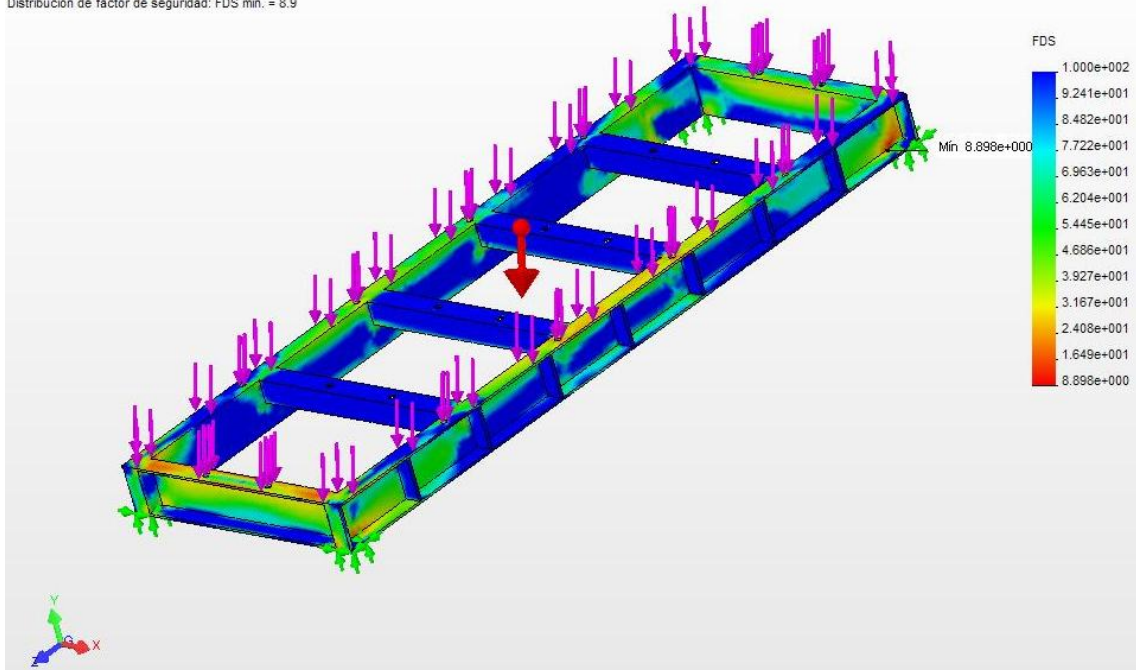


Figura 4-38: Simulación tensiones primer deck-Factor de seguridad

Nombre de modelo: Caja Modular modificada 1deck
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static esfuerzo nodal Plot1
Escala de deformación: 1243.09

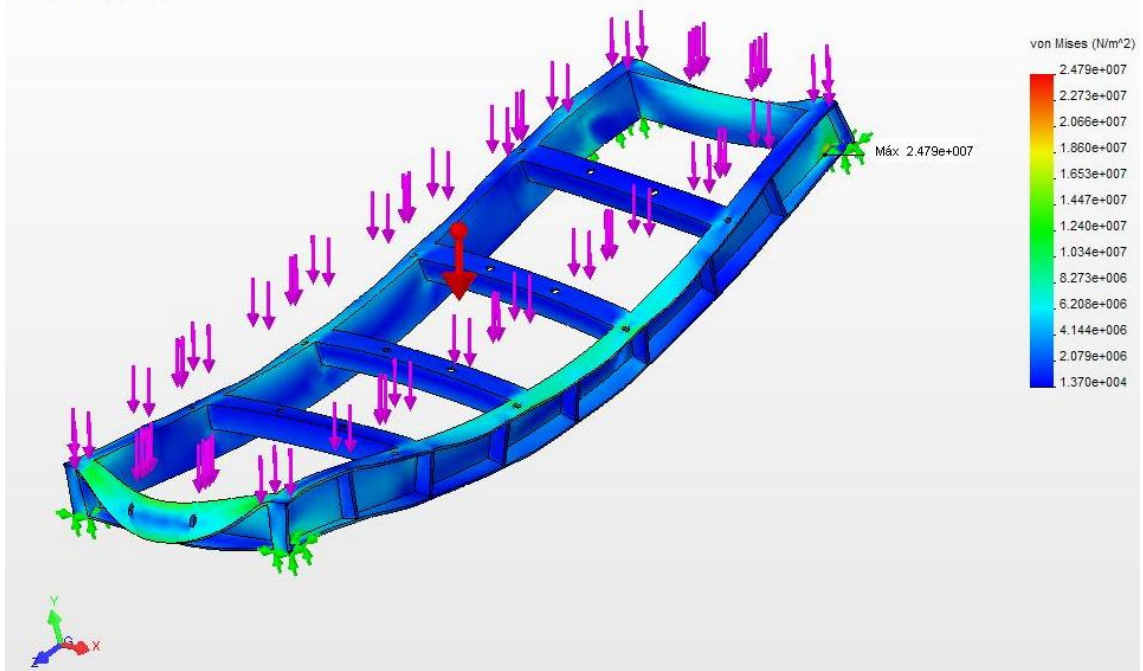


Figura 4-39: Distribución de tensiones primer deck

Las flechas de color morado representan la carga distribuida debida al peso de la roca. La flecha de color rojo representa la gravedad, es decir que representa el propio peso del primer deck.

Segundo deck

Para este deck se escogió el mismo razonamiento que en el primero, en este caso la carga que va a actuar va a ser menor, pero va a tener una carga extra donde se apoya el primer nivel.

En la figura 4-35, se puede ver claramente que existe una carga más (color amarillo) en las aristas, las que representan la carga de reacción del primer nivel sobre el segundo nivel.

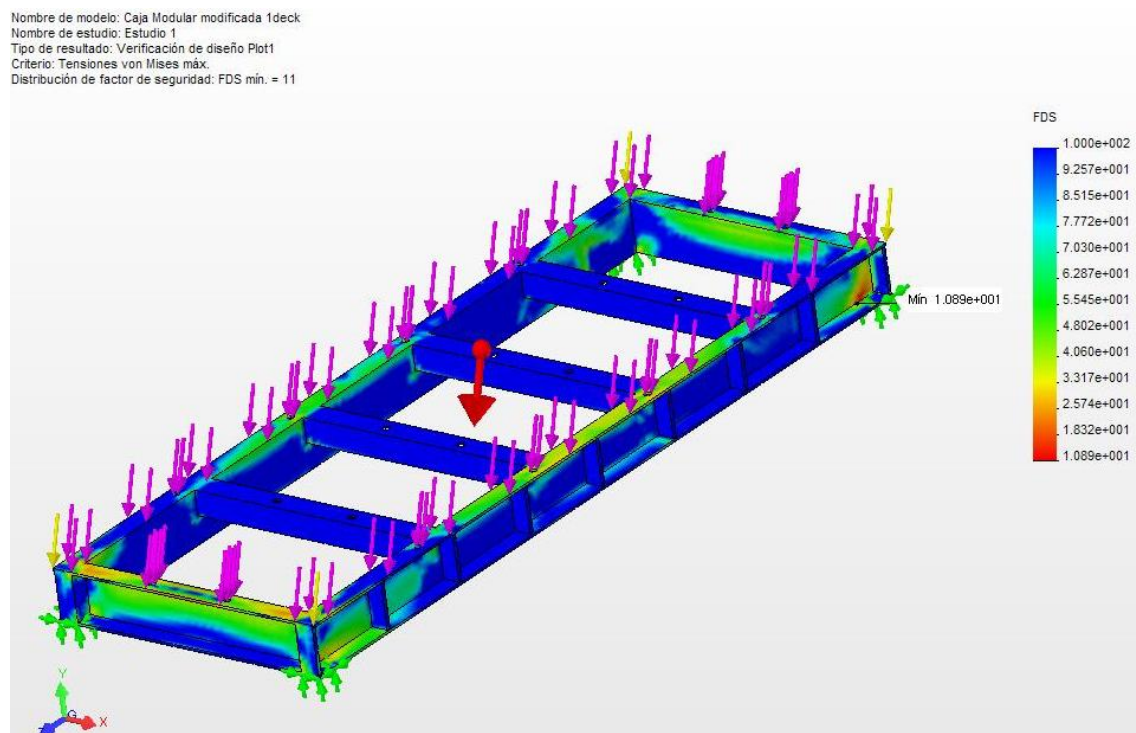


Figura 4-40: Simulación tensiones segundo deck-Factor de seguridad

Nombre de modelo: Caja Modular modificada 1deck
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static esfuerzo nodal Plot1
Escala de deformación: 1580.15

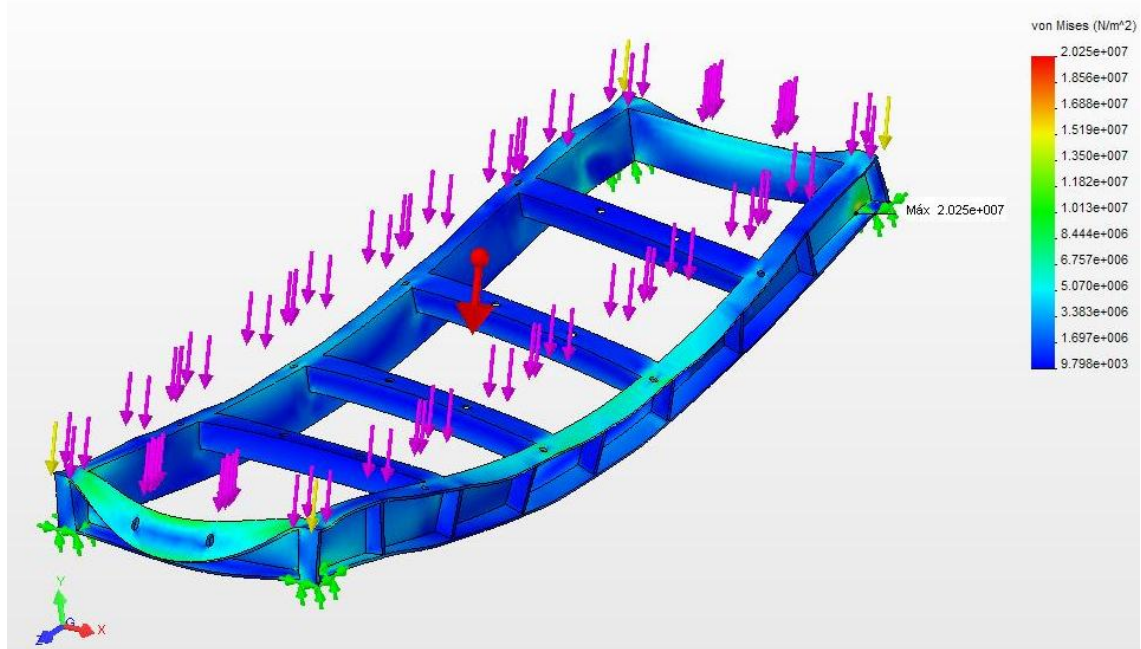


Figura 4-41: Distribución de tensiones segundo deck

Tercer deck

Para este deck se escogió el mismo razonamiento que en el primer y segundo decks, en este caso la carga que va a actuar va a ser menor, pero va a tener una carga extra donde se apoya el segundo nivel.

En la figura 4-37, se puede ver claramente que existe una carga más en las aristas, las que representan la carga de reacción del primer nivel sobre el segundo nivel.

Nombre de modelo: Caja Modular modificada 1deck
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 20

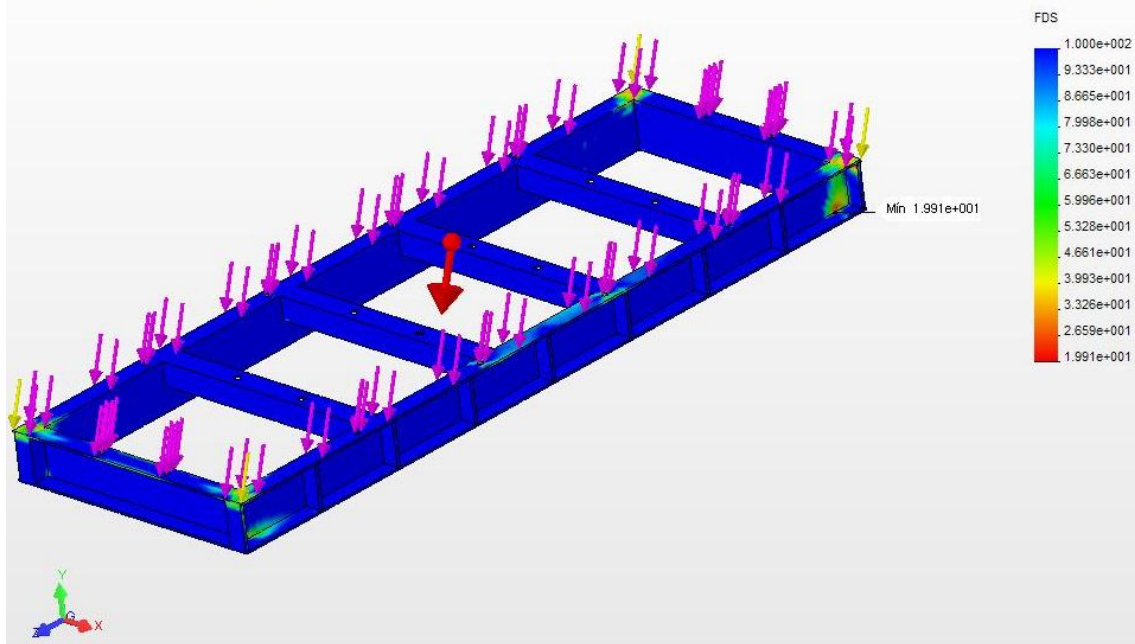


Figura 4-42: Simulación tensiones Tercer deck-Factor de seguridad

Nombre de modelo: Caja Modular modificada 1deck
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static esfuerzo nodal Plot1
Escala de deformación: 3701.89

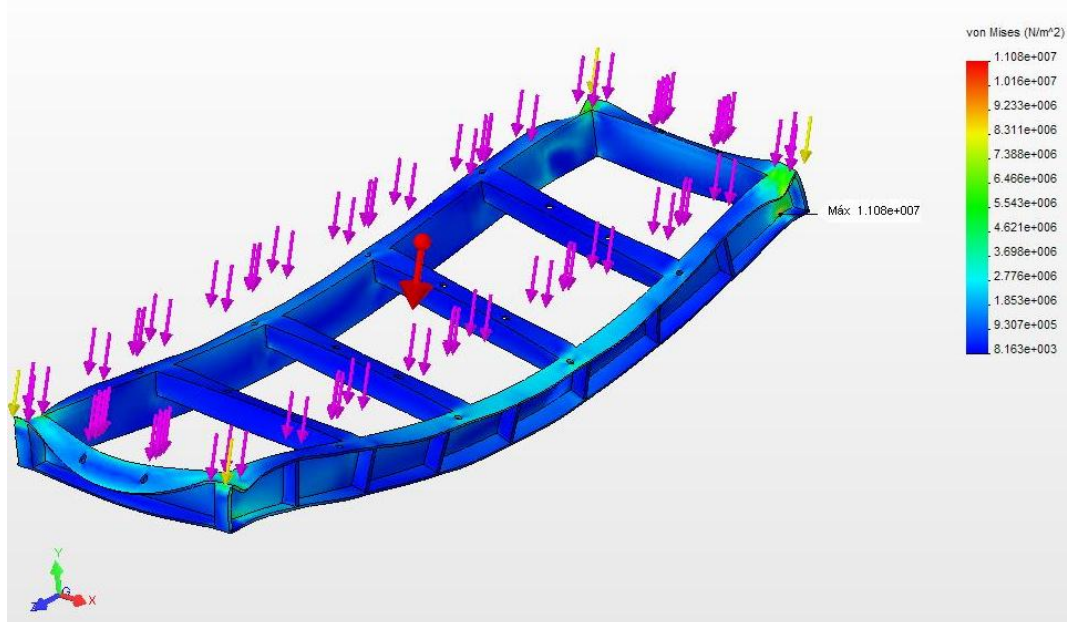


Figura 4-43: Distribución de tensiones Tercer deck

Unión entre niveles (1er y 2do nivel)

Para este análisis se tomaron las reacciones generadas en el primer nivel hacia el segundo nivel, y se procedió a colocarlas sobre el sólido dibujado como se muestra en la figura 4-39. Las flechas verdes representan las restricciones, y las flechas rosadas representan la reacción generada.

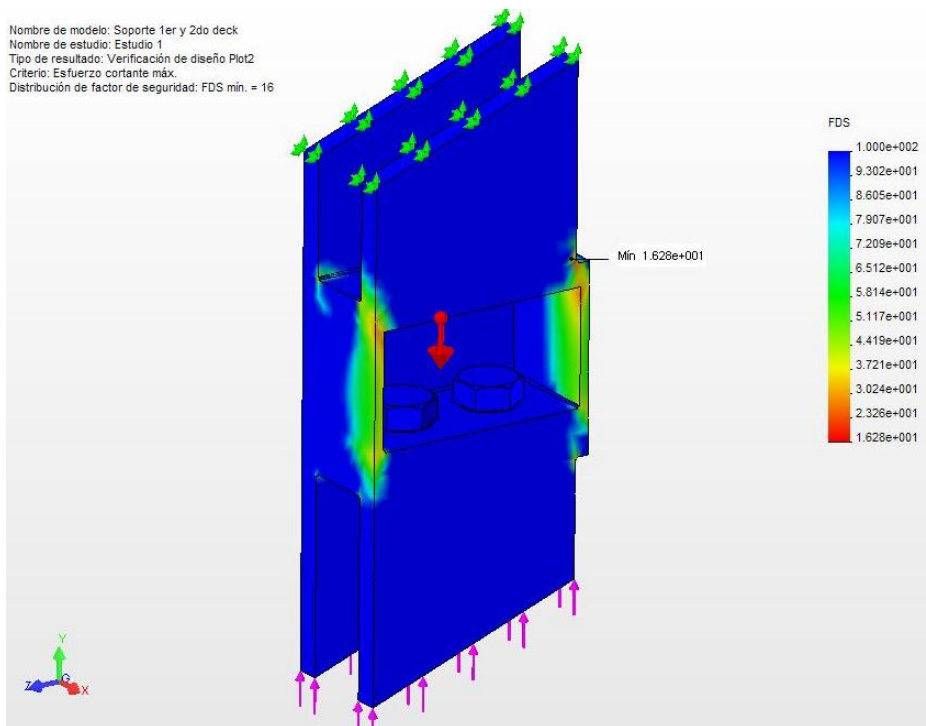


Figura 4-44: Simulación tensiones unión primero y segundo deck- factor de seguridad

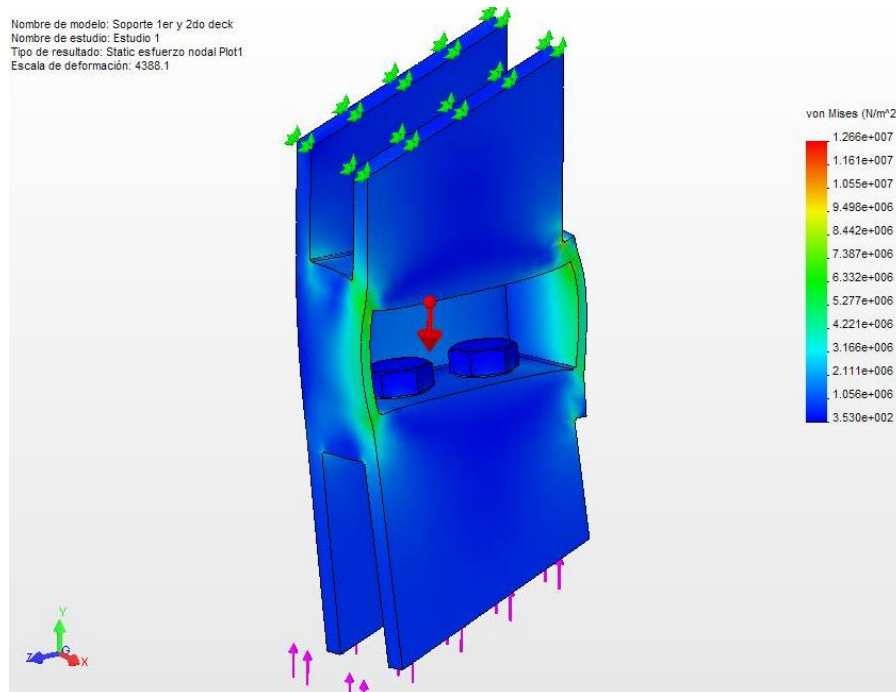


Figura 4-45: Distribución de tensiones unión primero y segundo deck.

Unión entre niveles (2do y 3er nivel)

Se utilizo el mismo razonamiento para esta unión. Pero ahora las cargas que van a actuar sobre la unión van a ser las provenientes de las reacciones del segundo deck.

Nombre de modelo: Soporte 2er y 3do deck
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot2
 Criterio: Esfuerzo cortante máx.
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín. = 14

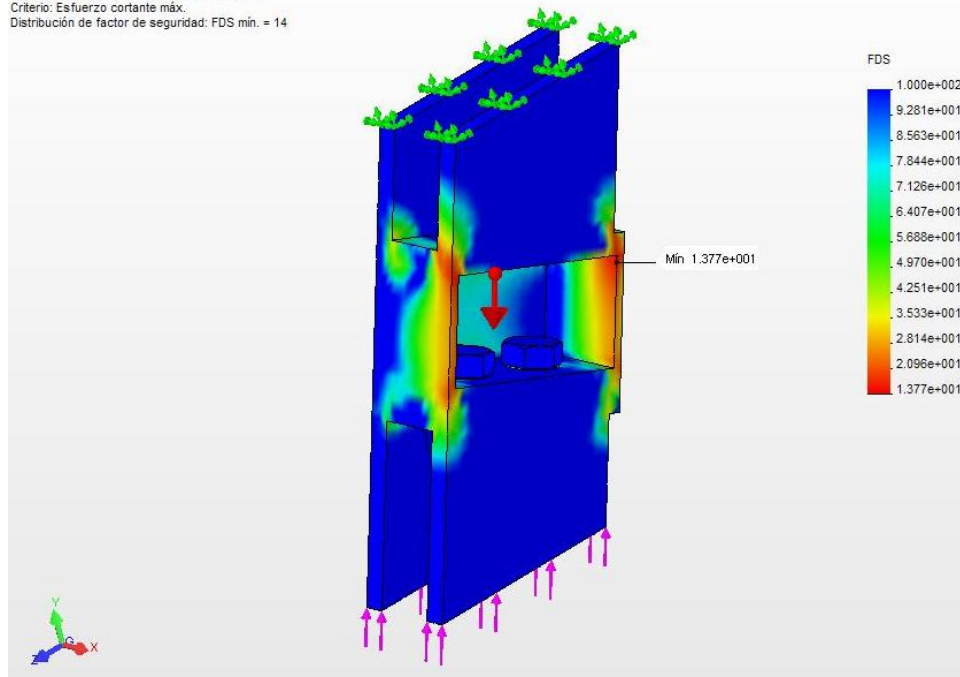


Figura 4-46: Simulación tensiones unión segundo y tercer deck- factor de seguridad

Nombre de modelo: Soporte 2er y 3do deck
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Static esfuerzo nodal Plot1
 Escala de deformación: 1939,2

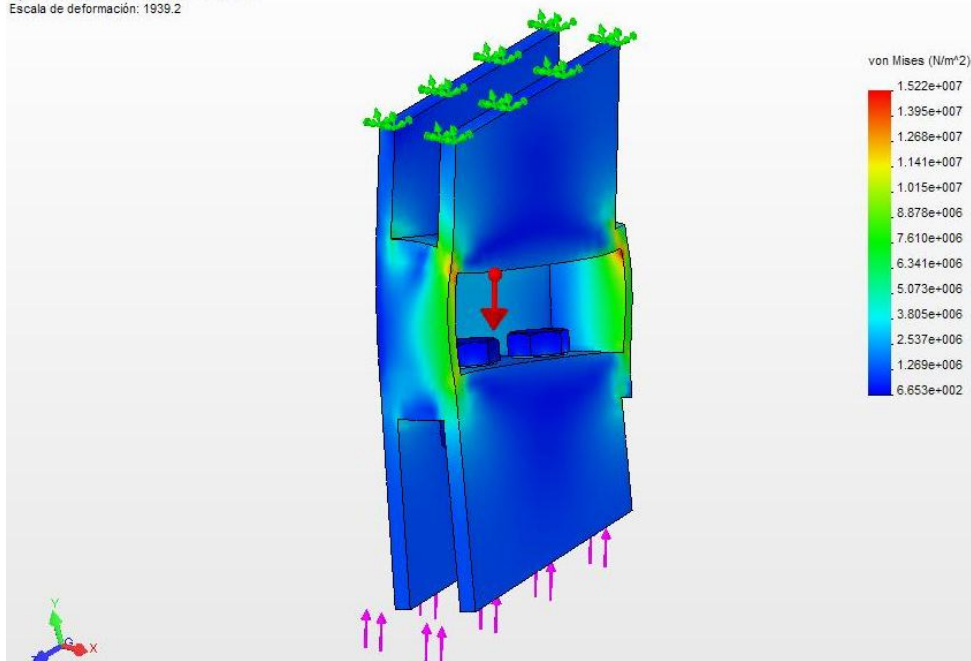


Figura 4-47: Distribución de tensiones unión segundo y tercer deck.

Soporte resortes

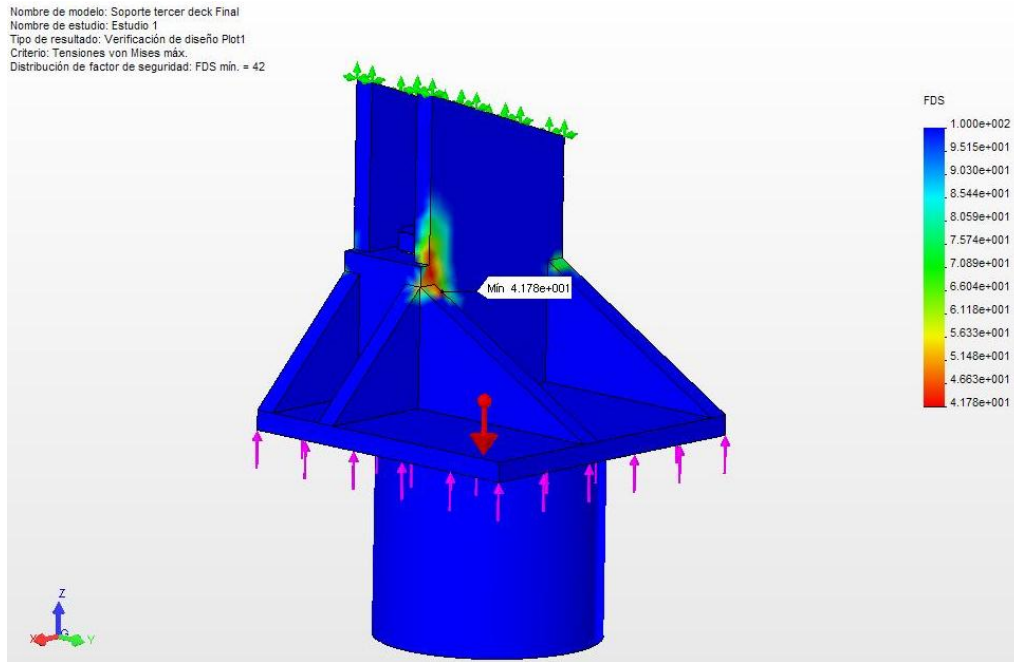


Figura 4-48: Soporte resortes- Factor de seguridad

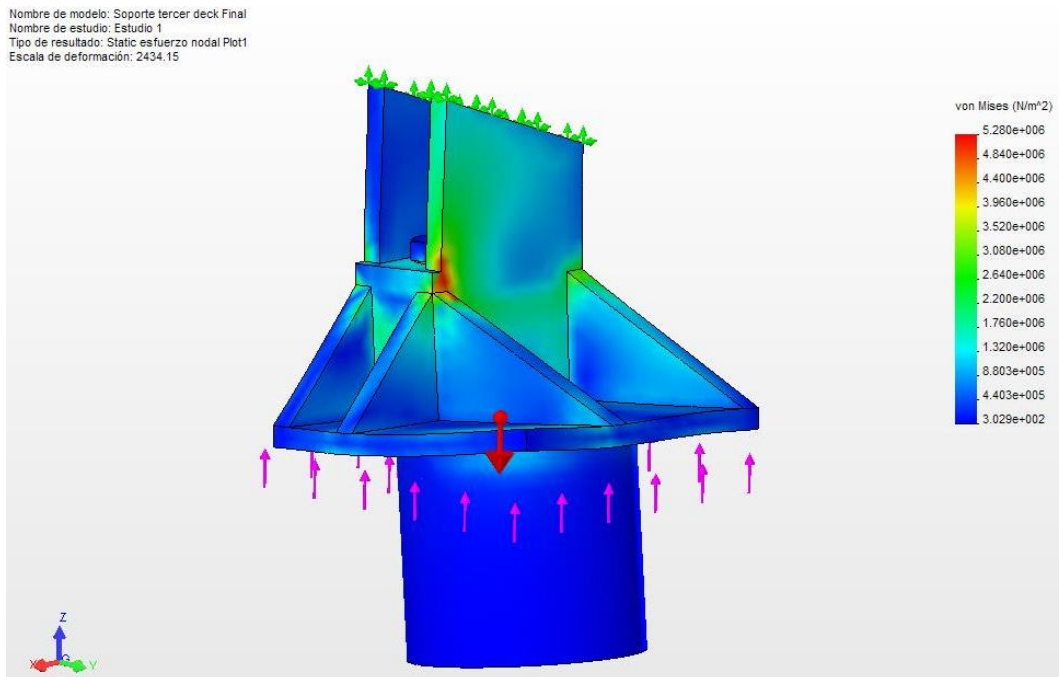


Figura 4-49: Distribución de tensiones soporte resortes

Estructura Principal

Nombre de modelo: Analisis Estructura principal
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Verificación de diseño Plot1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS min. = 7.9

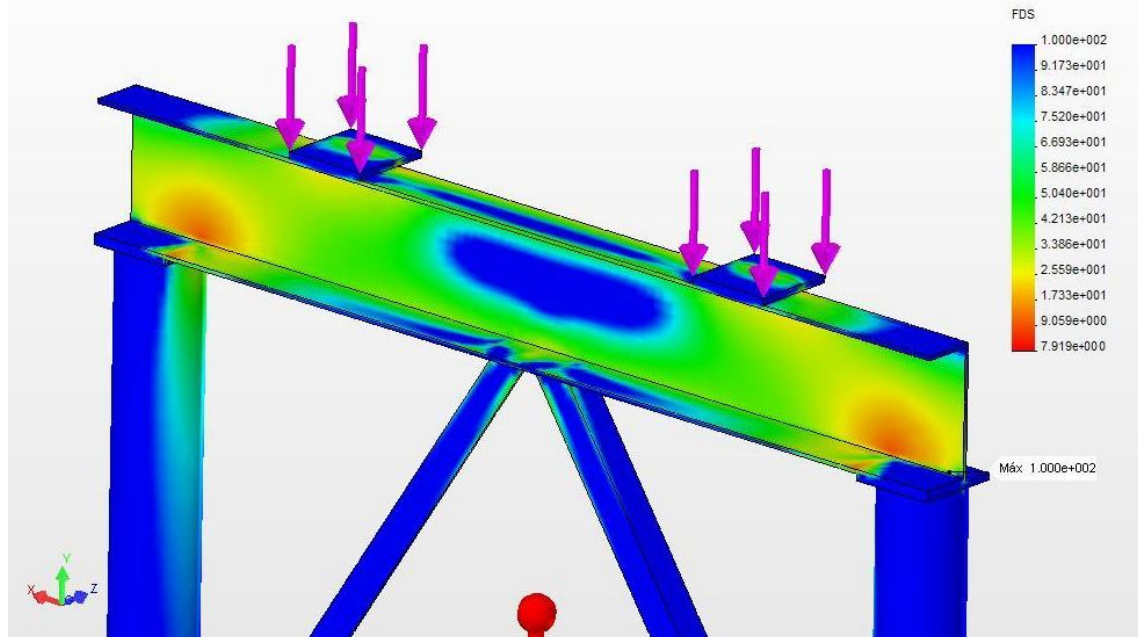


Figura 4-50: Distribución de tensiones estructura principal

Las cargas en rosado simulan la como están distribuidas en su totalidad las cargas en esa sección de la estructura.

4.3.1.1.- CONCLUSIONES OBTENIDAS EN BASE A LOS MODELOS DE SIMULACION, VERIFICACIÓN Y ESFUERZOS

Primer deck

Se puede observar claramente que el mínimo factor de seguridad se encuentra indicado en la figura 4-33, donde se tiene un valor de 8.9. Si comparamos con el factor de seguridad del ala calculado en la sección 4.1.4 Pág. 102, cuyo valor fue de 9.84, se puede decir que entre los dos no existe una diferencia razonable. Con esto se corroboran los cálculos realizados para el primer deck. En la figura 4-34, se puede observar que el mayor valor de esfuerzo es de 24 Mpa, el cual es un valor razonable, y comparándolo con el valor de 40 Mpa (pag. 102) que dio como resultado del cálculo, se ve con claridad que no está muy alto, y esto confirma el diseño del primer deck.

Segundo deck

Se puede observar claramente que el mínimo factor de seguridad se encuentra indicado en la figura 4-35, donde se tiene un valor de 11. Si comparamos con el factor de seguridad del ala calculado en la sección 4.1.4 Pág. 103, cuyo valor fue de 13.1, se podría decir que entre los dos no existe una diferencia razonable, pero siguiendo el razonamiento del primer deck este valor esta correcto, y por efecto va a resistir.

En la figura 4-36, se puede observar que el mayor valor de esfuerzo es de 20 Mpa, el cual disminuye con respecto al primer nivel, y comparándolo con el valor de 30 Mpa obtenido en los cálculos (Pág.103) que dio como resultado del cálculo, se ve con claridad que no esta muy alto, y esto confirma el diseño del segundo deck.

Tercer Deck

Se puede observar claramente que el mínimo factor de seguridad se encuentra indicado en la figura 4-37, donde se tiene un valor de 20, Si comparamos con el factor de seguridad del ala calculado en la sección 4.1.4 Pág. 103, cuyo valor fue de 17.2, se podría decir que entre los dos no existe una diferencia razonable, pero siguiendo el razonamiento del primer y segundo deck este valor esta correcto, y por efecto va a resistir.

En la figura 4-38, se puede observar que el mayor valor de esfuerzo es de 11 Mpa, el cual disminuye con respecto al primer y segundo deck, y comparándolo con el valor de 23 Mpa obtenido en los cálculos (Pág.103) que dio como resultado del cálculo, se ve con claridad que no esta muy alto, y esto confirma el diseño del tercer deck.

Unión 1er y 2do deck

Se puede observar como la pieza que une a los dos primeros decks no va a sufrir debido a las cargas que fueron aplicadas sobre esta. Con el factor de seguridad obtenido en la simulación cuyo valor es de 16, se ve con claridad que la unión va a soportar.

Con la distribución de tensiones se puede observar que el valor obtenido fue de 12 Mpa, siendo este un valor no muy alto.

Unión 2do y 3er deck

Así mismo, como en la unión de los dos primeros niveles, esta unión no va a sufrir mayores cargas, es por esto que se obtiene un valor de factor de seguridad de 14, esto quiere decir que la pieza no va a fallar debido a las cargas que están aplicadas a este.

La distribución de tensiones nos muestra valores de hasta 15 Mpa, los cuales no son valores muy altos. Si comparamos entre las uniones del primero y segundo nivel, está claro que la distribución de tensiones es mayor, esto se debe a que las reacciones que van a pasar al tercer nivel, y que son transmitidas por esta unión son mayores que las reacciones que son transmitidas desde el primer al segundo nivel.

Soporte resortes

Se observa claramente en la figura 4-43, que el mínimo factor de seguridad para este elemento va a ser de 42, el cual indica que el elemento no va a fallar, y si lo comparamos con el valor de factor de seguridad de 22 obtenido en la sección 4.1.4 Pág. 122 se corrobora lo antes dicho. La diferencia de 42 a 22 en los valores de factor de seguridad nos es muy grande, es por esto que se pueden comparar estos dos valores.

Para la distribución de tensiones, el valor obtenido en la simulación, figura 4-44, es de 5.2 Mpa, el cual nos dice que las cargas aplicadas sobre este elemento no son de gran consideración.

Estructura Principal

Se observa claramente en la figura 4-50 que el mínimo factor de seguridad para el elemento va a ser de 7.9, esto quiere decir que la estructura principal no va a fallar. De igual manera se puede afirmar que las soldaduras realizadas entre los tubos y la viga principal van a resistir.

CAPITULO 5

5 ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO

5.1.- ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo se va a detallar los costos del proyecto, para que mas adelante se pueda analizar que tan viable y rentable va a ser este.

En todo proyecto van a existir costos directos e indirectos, los costos directos comprenden todo lo que lleva a la construcción de la máquina, es decir, equipos, mano de obra directa, materiales para la construcción de esta, y los costos indirectos van a ser los que van a estar presentes únicamente dentro del valor final de la máquina construida, por ejemplo valor de transporte de la máquina una vez construida.

En este análisis se va a realizar una comparación entre la máquina del proyecto y una máquina importada, para así poder ver la factibilidad del mismo.

Las características de la máquina importada, así como su factibilidad en el mercado internacional, se muestran en el siguiente cuadro:

Marca	PSP Skoda
Capacidad	57600 m3/año
Costo de importación	30000 Usd
T.I.R	10%

Tabla 5-1: Características de la máquina importada

Debido a que el detalle de costos de producción de la máquina importada no fueron proporcionados, para poder realizar un correcto análisis se va a utilizar el costo final de importación de la máquina para poder realizar una correcta comparación.

La siguiente tabla muestra los costos indirectos que van a ayudar a realizar el análisis comparativo entre las dos máquinas:

Costo de Operación	6720 Usd/año
Depreciación a 5 años	4800 Usd
Costo de mantenimiento	3850 Usd/año
TOTAL	15370 Usd

Tabla 5-2: Costos indirectos máquina importada.

Se va a comparar cuanto le cuesta producir a la máquina del proyecto 1 m³ de roca versus cuanto le cuesta producir la misma cantidad a la máquina importada, para así poder ver el ahorro final que va a existir.

A continuación se van a detallar cuales van a ser los costos directos e indirectos que van a estar presentes dentro de este proyecto.

Los equipos que se van a utilizar dentro de la maquina de este proyecto van a ser dos motovibradores, cuyos costos y características están detallados dentro de la tabla 5.2.

- **Costos Directos**

Cantidad	Equipo	Potencia (KW)	Horas/Dia	Energía KW*h/dia	Costo KW*h (U\$)	Costo diario(U\$)	Costo anual (U\$)
2	Motovibrador	7,5	8	60	0,35	21	5040,00
Costo anual de Operación de la Máquina							5040,00

Tabla 5-3: Costo anual de operación de la máquina.

La tabla 5.4 muestra los costos de los materiales y el costo total de construcción.

ELEMENTOS DE LA CRIBA				
Cantidad	Parte	Descripción	Costo Unitario	Costo Total+iva
6	Plancha	1/4"	115,17	773,94
3	Angulo L	60x60x5	14,5	43,50
7	Perfiles C	125x50x6	61,5	430,50
1	Perfiles C	100x50x6	58	58,00
4	Perfiles C	200x80x6	84	336,00
4	Espirales	Ford 350	250	1120,00
2	Tubo	127x4	150	336,00
1	Controles		180	201,60
2	Motovibradores	900 rpm	960	2150,40
30	Electrodos	(AGA 6011)	6,5	218,4
Mallas metálicas				
3	12mm	1m de ancho	35	117,60
3	7mm	1m de ancho	21	70,56
3	5mm	1m de ancho	21	70,56
100	Pernos M16	10x35	1	112,00
100	Tuercas M16	10x35	1	112,00
TOTAL				6151,06

COSTOS			
Mano de obra	us/hora	horas	Total(usd)
Trazado y maquinado	55	10	550
Ensamblaje	100	6	600
Ajustaje	60	10	600
DISEÑO			
Diseño/3meses	12	375	4500

		(usd)	
Valor =		10651,06	
Valor+Imprevistos =		11929,19	x12%

Tabla 5-4: Costos de construcción

- **Costos indirectos**

Principalmente los costos indirectos van a estar relacionados con los costos de operación y mantenimiento de la máquina.

La máquina separa 300 m³/día de material pétreo, trabajando un total de 8 horas al día, con dos motores de 5Hp cada uno.

Conociendo el valor del kw-hora para el sector industrial, se calculó el costo anual de operación de la máquina, el cual se muestra en la tabla 5-5.

Cantidad	Equipo	Potencia (KW)	Horas/Dia	Energía KW*h/dia	Costo KW*h (U\$)	Costo diario(U\$)	Costo anual (U\$)
2	Motovibrador	7,5	8	60	0,35	21	5040,00
Costo anual de Operación							5040,00

Tabla 5-5: Costo anual de operación de la máquina.

El mantenimiento de esta máquina va a consistir de cambio de mallas cuando sea necesario, los motovibradores son de libre mantenimiento, y su vida útil es de 5 años.

Cada operador va a ser el encargado de cambiar las mallas que tengan que ser cambiadas, el costo anual por mantenimiento va a ser de 2400 dólares.

5.2.- ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero comprende el cálculo de la tasa interna de retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN) y la relación de Beneficio / Costo (B/C). Para este caso se realizó un análisis comparativo con una máquina importada que actualmente opera en una cantera.

Las características de la maquina con la cual se comparo la máquina diseñada se muestran en la tabla 5.6.

Características Criba	Niveles	Potencia	capacidad (m3/dia)
	3	10	240

Tabla 5-6: Características de la maquina a comparar.

Cantidad	Equipo	Potencia (KW)	Horas/Dia	Energía KW*h/dia	Costo KW*h (U\$)	Costo diario(U\$)	Costo anual (U\$)
1	Motor	10	8	80	0,35	28	6720,00
Costo anual de Operación de la Máquina							6720,00

Tabla 5-7: Costo anual de operación de la máquina a comparar.

Para que se pueda realizar una comparación entre las dos maquinarias lo que se hizo fue calcular cuanto cuesta producir 1 m³ de material pétreo, los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Depreciación	1986
Operación	5040
Mantenimiento	2400
Total	9426

	m3/Año
Producción Anual	72000
	Dolar/m3
Costo de producción	0,13

Tabla 5-8: Costo por m³ del proyecto

Ahora lo que le va a costar producir a la máquina importada se muestra a continuación en la siguiente tabla.

Depreciación	4800
Operación	6720
Mantenimiento	3850
Total	15370

	m3/Año
Producción Anual	57600
	Dolar/m3
Costo de producción	0,27

Tabla 5-9: Costo por m³ de máquina importada

Una vez mostrados los costos, se va a poder ver el ahorro que se va a generar, para que de esta manera se pueda realizar un diagrama de flujo, donde se pueda observar claramente si el proyecto va a ser viable o no.

En la siguiente tabla se muestra el ahorro obtenido:

Ahorro/m3	0,14
Usd/Anual	9787

Tabla 5-10: Ahorro anual /m³ de material

Una vez mostrado el ahorro, costos de operación, depreciación, mantenimiento e inversión, a continuación se muestra el flujo de capital para 5 años.

FLUJO DE CAPITAL						
Año	0	1	2	3	4	5
Inversión	\$ -11.929	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 2.000
Operación	\$ -	-5040	-5181	-5326	-5475	-5629
Mantenimiento	\$ -	\$ -2.400	\$ -2.467	\$ -2.536	\$ -2.607	\$ -2.680
Ahorro	\$ -	\$ 9.787	\$ 10.061	\$ 10.343	\$ 10.632	\$ 10.930
Totales	\$ -11.929	\$ 2.347	\$ 2.413	\$ 2.480	\$ 2.550	\$ 4.621

Tabla 5-11: Flujo de capital para 5 años.

Tasa inflación	2,80%
Tiempo de vida	5

VAN	\$ 1.194,78
TIR	5,97%

B/C	1,05
-----	------

Tabla 5-12: Valores TIR, VAN, B/C

- El VAN presentado de 1.194,78 Usd\$ muestra que la máquina va a generar ganancias por medio del ahorro comparado con otras máquinas.
- De igual manera se calcula un TIR del 5.97 %, definido como la tasa de descuento para la cual el VAN es igual a cero, pero el valor real del T.I.R para este tipo de proyectos va a ser 10% o mayor, y como se esta realizando una comparación entre una máquina importada y este proyecto, el valor del T.I.R para este proyecto va a ser del 15.97%, el cual indica claramente que el proyecto es rentable.
- La relación beneficio costo que se tiene nos dice claramente que los ingresos obtenidos son mayores a los gastos, y por tercera vez se comprueba que el proyecto si va.

CAPITULO 6

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- CONCLUSIONES

- El TRIZ es una herramienta que mediante las contradicciones llega a una solución ideal. Esta solución va a abaratar costos de diseño y fabricación, dependiendo del uso que se le de a esta herramienta.
- Luego de hacer un análisis mediante el TRIZ, se llegó que una criba modular con un sistema vibratorio de masas desbalanceadas es el más óptimo.
- El diseño de la máquina fue realizado parte por parte. Así se tiene que el mínimo factor de seguridad obtenido fue de 9.8, el cual se encuentra ubicado en el ala de la viga larga del primer deck.
- El diseño modular de la máquina permite que se pueda variar la capacidad de cribado dependiendo de las necesidades de las canteras.
- Comparando el diseño de la máquina, con otros diseños existentes en el mercado internacional, se puede ver que este proyecto implica simplicidad y bajo costo de fabricación con un método de cribado sencillo.
- La simulación computarizada de los elementos de la criba fue realizada en CosmosWorks 2006. Esto nos permitió verificar los resultados obtenidos en los cálculos matemáticos.
- El sistema de control diseñado es muy sencillo, y fue realizado en el programa Electronic Workbench. Este programa permite escoger los

elementos eléctricos necesarios para realizar un sistema de control óptimo.

- El diseño de la máquina fue realizado en su totalidad de acero A36, el cual es un acero que se puede conseguir con facilidad en el Ecuador, esto influye en el costo final de la maquinaria.
- En el análisis económico financiero realizado se obtuvieron valores de VAN (US\$ 1194), TIR (15.97%) y B/C (1.05), esto nos dice que la máquina diseñada va a tener éxito en el campo para el cual fue diseñada.

6.2.- RECOMENDACIONES

- Se recomienda un estudio previo de todo el tema del TRIZ para así poder llegar a un diseño óptimo que pueda abaratar costos.
- Al utilizar la matriz de decisiones del TRIZ se tienen que tener bien claros los conceptos de los 40 principios para así poder ver con facilidad que es lo que se va a utilizar y que es lo que se tiene que desechar.
- El uso de motovibradores puede significar un ligero incremento en el costo final de la máquina, pero a su vez interviene en la distribución y sencillez del diseño, colocándolo donde uno más lo necesite sin que este influya en el funcionamiento de la máquina.
- SolidWorks 2006 es una herramienta muy completa que ayuda en la simulación de componentes por separado, pero se recomienda tener un conocimiento de antemano para poder saber interpretar los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Shigley J., Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc. Graw Hill, 2002.
2. Omer W. Blodgett, Design of Weldments, The James F. Lincoln ARC welding Foundation, 1972.
3. M. L. James, Vibration of Mechanical and Structural Systems.
4. A. Major, Vibration Analysis and Design of foundations for machines and turbines, Collet's, 1962.
5. Oberg Eric, Machinery's Handbook seventeenth Edition, 1964.
6. Mc Cormac, Diseño de estructuras de Acero, Alfaomega, 1991
7. Riley, Sturges, Morris, Mecánica de materiales, Limusa Wiley, 2001
8. Semyon D. Savransky, Engineering of Creativity, CRC Press, 2000
9. Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, Mc. Graw Hill, 2001.
10. AGA, Catálogo de soldadura, AGA, 2004.