

**APLICACIÓN DEL MODELO PRESCRIPTIVO EN EL DISEÑO DE UN
DISPOSITIVO MECÁNICO PARA EL MANEJO DE BOMBAS SUMERGIBLES
PARA AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA AGUAS DE CARTAGENA
S.A E.S.P**

MONOGRAFÍA DEL MINOR EN DISEÑO MECÁNICO

**FÉLIX ARTURO ARCHBOLD PUELLO
JOSÉ RAFAEL FIGUEROA GENES**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T y C
2008**

**APLICACIÓN DEL MODELO PRESCRIPTIVO EN EL DISEÑO DE UN
DISPOSITIVO MECÁNICO PARA EL MANEJO DE BOMBAS SUMERGIBLES
PARA AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA AGUAS DE CARTAGENA
S.A E.S.P**

**FÉLIX ARTURO ARCHBOLD PUELLO
JOSÉ RAFAEL FIGUEROA GENES**

Monografía, presentada para optar al título de Ingeniero Mecánico

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T y C
2008**

Nota de aceptación

Firma de presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias, D.T. C., Abril de 2008

Señores:
UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERA MECÁNICA
COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS
Ciudad.

Ref: Solicitud de Evaluación de la Monografía del minor en diseño mecánico.

Cordial Saludo:

Adjunto a la presente me permito hacer entrega de la monografía titulada:
“APLICACIÓN DEL MODELO PRESCRIPTIVO EN EL DISEÑO DE UN DISPOSITIVO MECÁNICO PARA EL MANEJO DE BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA AGUAS DE CARTAGENA S.A E.S.P” Presentado como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Mecánico, para su revisión y posterior aprobación:

Atentamente,

FÉLIX ARTURO ARCHBOLD PUELLO
COD: 98 03 007

JOSÉ RAFAEL FIGUEROA GENES
COD: 98 03 521

Cartagena de Indias, D.T. C., Abril de 2008

Señores:
UNIVERSIDAD
TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERA MECÁNICA
COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS
Ciudad.

Apreciados señores

Por medio de la presente me dirijo a ustedes con el fin de manifestarles que he asesorado el proyecto de grado titulado **“APLICACIÓN DEL MODELO PRESCRIPTIVO EN EL DISEÑO DE UN DISPOSITIVO MECÁNICO PARA EL MANEJO DE BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA AGUAS DE CARTAGENA S.A E.S.P”** Realizado por los Señores FÉLIX ARCHBOLD y JOSÉ FIGUEROA, Con el objeto de cumplir con los requisitos para optar por el título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente

Alfredo Abuchar Curi
Ingeniero Mecánico

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN	15
1.3. OBJETIVOS	16
1.3.1. Objetivo general	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
2. PROCESO DE DISEÑO	17
2.1 Métodos de diseño	20
2.1.1 Métodos creativos.....	20
2.1.2 Métodos con marco de referencia lógico	20
3. APLICACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO	21
3.1 Modelo de proceso a seguir	21
3.2 Diseño conceptual.....	21
3.2.1 Clarificación de objetivos	21
3.2.2 Establecimiento de funciones	24
3.2.3 Fijación de requerimientos:.....	26
3.2.4 Determinación de características.....	28
3.2.5 Generación de alternativa.....	30
3.2.6 Evaluación de alternativas	32
3.3 Diseño de detalles.....	34
3.3.1 Cálculo de elementos	36
3.3.2 Comparación de cálculos con diseño asistido por computador.....	47
3.3.3 Selección de elementos	55
3.4 Presupuesto de construcción	60
3.5 Representación de ingeniería.....	60
4. CONCLUSIONES	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estaciones de aguas residuales en el distrito de Cartagena de Indias.	13
Tabla 2. Periodicidad mínima y máxima de mantenimiento aplicado a bombas sumergibles en estaciones de aguas residuales	15
Tabla 3. Análisis de funciones secundaria para el manejo de bombas de aguas residuales en las estaciones de Aguas de Cartagena	25
Tabla 4. Asignación de valores ponderado a los objetivos de evaluación de alternativas	32
Tabla 5. Escala de cinco puntos para la asignación de valores según utilidad...	33
Tabla 6. Presupuesto construcción equipo diseñado.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Arreglo general alternativa a diseñar	34
Figura 2. Dimensiones libres del camión donde se instala el dispositivo a diseñar	35
Figura 3. Medidas máximas de operación según dimensiones del camión	35
Figura 4. Cargas en extensión horizontal elemento 1	37
Figura 5. Análisis de cuerpo libre extensión horizontal elemento 1	37
Figura 6. Cargas en brazo horizontal elemento 2	39
Figura 7. Análisis de cuerpo libre brazo horizontal elemento 2	39
Figura 7b. Análisis de cuerpo libre brazo horizontal elemento 2	41
Figura 8. Cargas en brazo vertical elemento 3	42
Figura 9. Análisis de cuerpo libre brazo vertical elemento 3	42
Figura 10. Análisis de cuerpo libre pasadores	44
Figura 11. Aplastamiento en láminas	45
Figura 12. Cargas equivalentes en el soporte giratorio elemento 4	46
Figura 12b. Cargas equivalentes en el soporte giratorio elemento 4	46
Figura 13. Diámetro de rodamiento elemento 5	47
Figura 14. Modelado de piezas en ANSYS	47
Figura 15. Selección de disciplina individual en GUI ANSYS	48
Figura 16. Selección de elemento para enmallado Solid92	48
Figura 17. Inclusión de propiedades del material a modelar	49
Figura 18. Generación automática de la malla usando Meshtool	49
Figura 19. Selección del tipo de análisis	50
Figura 20. Aplicación de cargas	50
Figura 21. Cálculo de solución	51
Figura 22. Deformaciones de elementos bajo cargas	51
Figura 9 (bis). Análisis de cuerpo libre brazo vertical elemento 3	52
Figura 23. Deformaciones tercer elemento	52

Figura 24. Distribución del desplazamiento total	53
Figura 25. Concentración y magnitud de los esfuerzos equivalentes de Von Mises	53
Figura 25 b. Concentración y magnitud de los esfuerzos equivalentes de Von Mises	54
Figura 26. Solución nodal de esfuerzos	54
Figura 27 Tabla selección de rodamientos SKF™	55
Figura 28. Rodamiento de dos hileras de bolas con contacto angular SKF™	55
Figura 29. Valores recomendados para el factor de seguridad estático S_o SKF™	56
Figura 30. Selección tamaño de rodamientos según carga estática SKF™	57
Figura 31. Característica del rodamiento seleccionado SKF™	58
Figura 32. Característica gato tipo botella	59

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Modelo descriptivo del proceso de diseño.....	17
Gráfico 2. Modelo prescriptivo VDI 2221 del proceso de diseño	19
Gráfico 3. Árbol de objetivos para el diseño de un equipo de manejo de bombas de aguas residuales.....	23
Gráfico 4. Análisis de la función global del mantenimiento de bombas de aguas residuales	24
Gráfico 5. Análisis de las funciones principales para el manejo de bombas de aguas residuales en las estaciones	25
Gráfico 6. Atributos y requerimientos para el diseño de un dispositivo mecánico aplicado al manejo de bombas de aguas residuales en las estaciones de Aguas de Cartagena	27
Gráfico 7. Matriz de interacciones de requerimientos para el dispositivo mecánico para el manejo de bombas para aguas residuales en las estaciones de Aguas de Cartagena.....	29
Gráfico 8. Diagrama morfológico para el dispositivo mecánico para el manejo de bombas para aguas residuales en las estaciones de Aguas de Cartagena.....	31
Gráfico 9. Diagrama de evaluación de objetivos ponderados para las cuatro alternativas propuestas.....	33
Gráfico 10. Esquema de posiciones básicas del equipo en uso	36

LISTA DE ANEXOS

Dimensionamiento de perfil rectangular norma ASTM A500	64
Calculo del momento de inercia I perfil abierto	65
Calculo del momento de inercia Q perfil abierto por encima y por debajo del eje neutro.....	66
Calculo del momento de inercia I perfil cerrado	67
Calculo momento de inercia Q perfil cerrado por encima y por debajo del eje neutro.....	67
Descripción del elemento usado en el enmallado del modelo computacional	68

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se presenta como una respuesta a una necesidad real, una respuesta que recorre el proceso de diseño en ingeniería en todos sus aspectos; desde la exploración de una problemática “El manejo de bombas sumergibles para aguas residuales en la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P”; hasta las representaciones de ingeniería necesarias para reproducir (construir) y dar a conocer los detalles de la propuesta o solución planteada.

Para conseguir una propuesta de diseño que satisfaga las necesidades del cliente en base a características de ingeniería, se aplicará un modelo prescriptivo de seis pasos con métodos con marco de referencia lógico:

- Clarificación de objetivos
- Establecimiento de funciones
- Fijación de requerimientos
- Determinación de características
- Generación de alternativas
- Evaluación de alternativas

Después se procede con el desarrollo de los detalles de ingeniería donde se selecciona y dimensiona materiales y formas que harán parte de la propuesta planteada.

En un último paso se generan las representaciones de ingeniería que se convierten en la herramienta para la comunicación y/o reproducción del diseño en si.

Se ofrece además de una solución a la necesidad de la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P; pautas para el diseño de equipos, centrados en la aplicación sistemática de ayudas para el diseño.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO MECÁNICO APLICADO AL MANEJO DE BOMBAS SUMERGIBLES PARA AGUAS RESIDUALES EN LA EMPRESA AGUAS DE CARTAGENA S.A E.S.P.

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN

Desde 1996 el sistema de captación, tratamiento y manejo de las aguas residuales, al igual que el manejo del agua potable en el distrito de Cartagena de Indias, ha estado a cargo de la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P; y ésta con el objeto de cumplir a cabalidad con sus funciones, ha diseñado y construido 17 estaciones elevadoras para el manejo de los residuos acuosos que diariamente se generan. Dichas estaciones se encuentran distribuidas alrededor de la ciudad tal como se muestra en la siguiente tabla:

#	Nombre de la estación
1	CARACUCHA
2	BOQUILLA
3	CIELO MAR
4	BARRIO MILITAR
5	7 DE AGOSTO
6	SAN LÁZARO
7	SANTANDER
8	MARTÍNEZ MARTELO
9	ZAPATERO
10	ESPERANZA
11	BARCELONA
12	LÍBANO
13	TANLON
14	VILLA ROSITA
15	TERNERA
16	ALBORNOZ
17	PASACABALLOS

Fuente: Departamento de Ingeniería Aguas de Cartagena S. A E.S.P

Dentro de las actividades implementadas por Aguas de Cartagena S.A E.S.P para mantener totalmente operativo el sistema de manejo de aguas residuales, está el programa de mantenimiento a las estaciones que incluye entre otras

tareas; pintura de las instalaciones, inspección de tuberías y mantenimiento de bombas sumergibles.

Aguas de Cartagena S.A E.S.P establece una comparación entre sus actividades, identificando que el nivel de eficiencia que se maneja en el proceso de mantenimiento no es óptimo y requiere de soluciones que le permita mejorar esta situación.

Actualmente, los trabajos sobre las bombas sumergibles representan un punto crítico en el procedimiento general de mantenimiento, debido a que se realiza con más frecuencia y requiere de mayores recursos. En este proceso, la extracción y re-posicionamiento de las bombas se convierte en el cuello de botella, exigiendo un cambio en la forma de realizar el trabajo con el fin de incrementar la eficiencia en las actividades.

Bajo estos lineamientos, este trabajo se plantea como una herramienta que busca darle una posible solución a esta problemática, a través del diseño de un dispositivo mecánico aplicado al manejo de bombas para aguas residuales en la empresa Aguas de Cartagena.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se sustenta y justifica en la posibilidad de aumentar la eficiencia en el mantenimiento de bombas sumergibles, específicamente, en el procedimiento de extracción y re-posicionamiento dentro de las estaciones de aguas residuales.

Tabla 2. Periodicidad mínima y máxima de mantenimiento aplicado a bombas sumergibles en estaciones de aguas residuales				
#	Nombre de la estación	# Bombas sumergibles	Periodicidad Mínima	Periodicidad Máxima
1	CARACUCHA	2	Bimensual	Semanal
2	BOQUILLA	2	Bimensual	Semanal
3	CIELO MAR	2	Bimensual	Mensual
4	BARRIO MILITAR	2	Bimensual	Mensual
5	7 DE AGOSTO	1	Bimensual	20/Mensual
6	SAN LÁZARO	2	Bimensual	Mensual
7	SANTANDER	2	Bimensual	Mensual
8	MARTÍNEZ MARTELO	2	Bimensual	Mensual
9	ZAPATERO	2	Bimensual	Semanal
10	ESPERANZA	2	Bimensual	Mensual
11	BARCELONA	1	Bimensual	Mensual
12	LÍBANO	1	Bimensual	Mensual
13	TANLON	1	Bimensual	Mensual
14	VILLA ROSITA	2	Bimensual	2/Mensual
15	TERNERA	2	Bimensual	Mensual
16	ALBORNOZ	1	Bimensual	Mensual
17	PASACABALLOS	3	Bimensual	Semanal

Fuente: Departamento de Ingeniería Aguas de Cartagena S. A E.S.P

Los mantenimientos sobre las bombas tienen una periodicidad bimensual en temporada seca y alcanza un máximo de hasta 2 veces por semana en temporadas de lluvias, lo que para la empresa Aguas de Cartagena representa un uso excesivo de recursos y por ende el aumento de los costos económicos de dichos trabajos.

Con la implementación de un nuevo diseño utilizado para cargar los equipos, se espera reducir la cantidad de horas hombre, horas máquina; además, mejorar la capacidad de respuesta de la empresa sobre emergencias causada por el eventual mal funcionamiento de las estaciones de aguas residuales.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un dispositivo mecánico que mejore la eficiencia en el procedimiento de extracción y re-posicionamiento de bombas sumergibles para aguas residuales en la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P.

1.3.2. Objetivos específicos

- Aplicar la metodología de diseño prescriptiva, para desarrollar de manera ordenada el proceso conceptual de diseño.
- Desarrollar cálculos basados en la resistencia de materiales, que permitan determinar las dimensiones óptimas de los componentes del dispositivo.
- Comprobar el diseño de elementos críticos por medio del uso de software de elementos finitos (ANSYS)
- Documentar la información necesaria (planos y otros) para la fabricación y montaje del dispositivo diseñado.

2. PROCESO DE DISEÑO

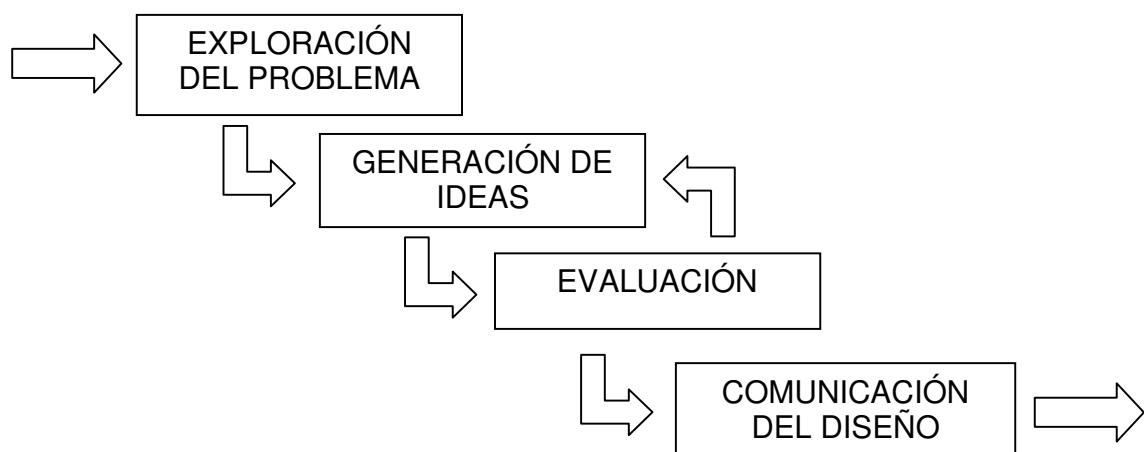
La tarea de diseñar, está estrechamente ligada con la necesidad del hombre por satisfacer una demanda; bien sea que esta se encuentre definida o no, y una vez que se requiere un diseño para satisfacer tal necesidad surge la búsqueda de un modelo que permita direccionarnos en esta tarea.

Es así como encontramos dos grandes clasificaciones para modelos del proceso de diseño:

1. Modelos Descriptivos¹: Generalmente hacen énfasis en la importancia de generar un concepto de solución en una etapa temprana del proceso, reflejando de esta manera la naturaleza “enfocada a la solución” del pensamiento de diseño. Una vez se tiene una posible solución al problema se procede a evaluarla para comprobar si es realmente viable como solución, a lo que en ocasiones se responde de manera negativa obligando al diseñador realizar modificaciones a la propuesta inicial o plantear una idea totalmente nueva en un proceso de múltiples iteraciones hasta encontrar la opción que se ajuste a las metas, restricciones y los criterio del planteamiento de diseño.

Los modelos descriptivos se pueden representar de manera sencilla como se muestra a continuación:

Gráfico 1. Modelo descriptivo del proceso de diseño



¹ CROSS, Nigel. Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos. Ed. Limusa. 1999. p.29Uninorte. Barranquilla. 1995. p. 29.

2. Modelos Prescriptivos: Estos modelos sugieren la secuencia sistemática de pasos centrados en el análisis de la necesidad planteada, con el objeto de asegurar el entendimiento del problema real y en base a este conocimiento generar una solución adecuada.

Consecuentemente se genera una estructura básica de análisis-síntesis-evaluación que según expertos se puede definir de la siguiente manera²

Análisis: Elaborar una lista de todos los requisitos de diseño y la reducción de estos en un conjunto completos de especificaciones de rendimiento lógicamente relacionadas.

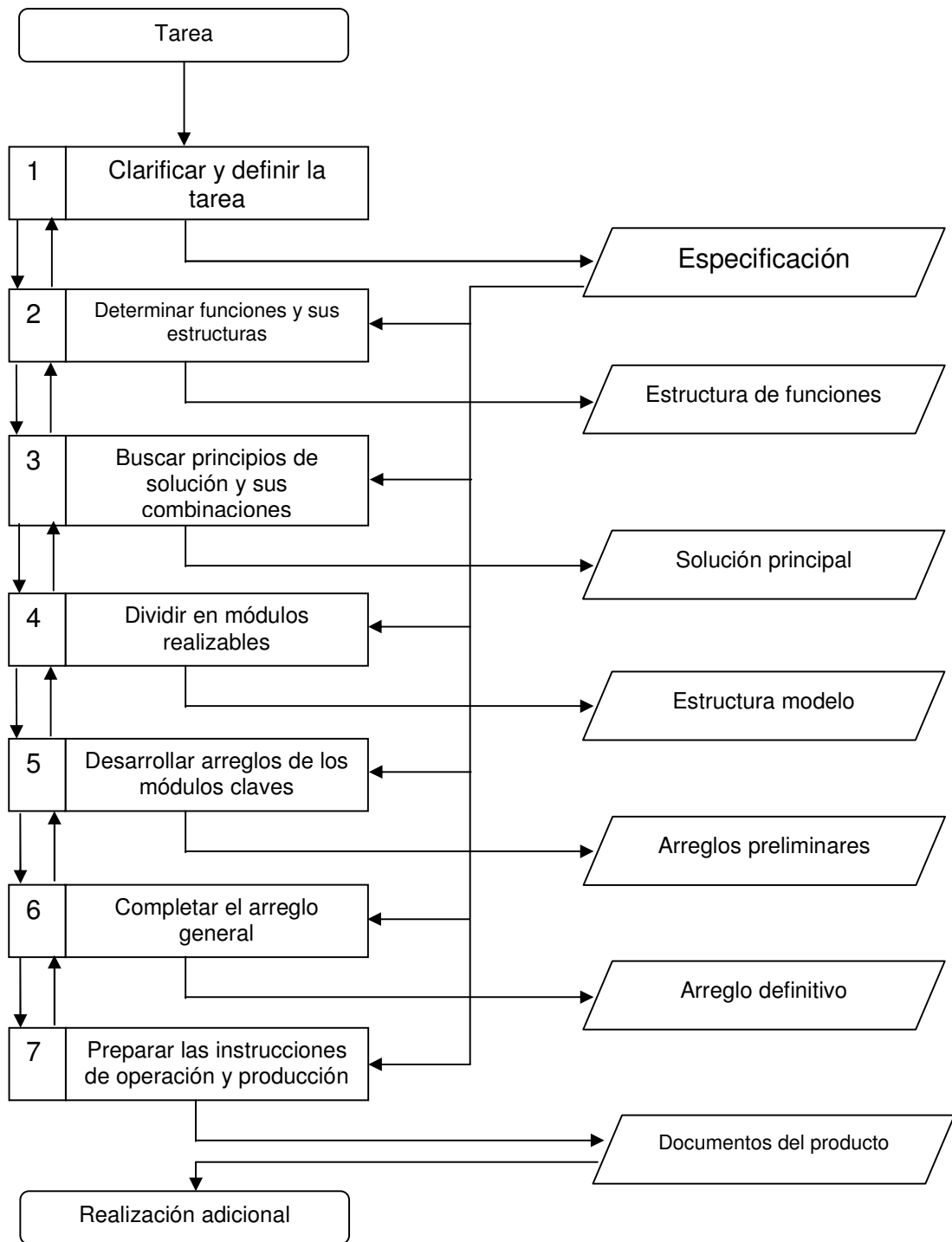
Síntesis: Encontrar soluciones posibles para cada especificación de rendimiento individual y desarrollar diseños completos a partir de estos con el mínimo de compromiso posible.

Evaluación: Evaluar la exactitud con la cual los diseños alternativos satisfacen los requisitos de rendimiento para la operación, manufactura y ventas antes de seleccionar el diseño final.

Existen varias representaciones de modelos prescriptivos entre las que encontramos la VDI 2221 "Enfoque sistemático para el diseño de sistemas técnicos y productos" del Verein Deutschr Ingenieure (VDI)

² CROSS, Nigel. Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos. Ed. Limusa. 1999. p.29Uninorte. Barranquilla. 1995. p. 34.

Gráfico 2. Modelo prescriptivo VDI 2221 del proceso de diseño



2.1 Métodos de diseño

Los métodos de diseño comprenden cualquier estructura o esquema identificable usado para el desarrollo del proceso de diseño, es así como se nos proponen un amplio número de herramientas y/o ayudas (métodos de diseño) que propenden al tratamiento controlado de la actividad del diseñador.

Los métodos de diseño van desde el dibujo hasta las modernas y complejas estructuras de diseño multidisciplinario pasando por métodos que nos permiten explorar situaciones de diseño, buscar nuevas ideas o soluciones, explorar la estructura del problema, evaluar proyectos desarrollados, presentar resultados obtenidos, etc.

Todos los métodos de diseño contienen dos características comunes; la primera es la de formalizar un procedimiento, lo que evita la omisión de pasos o la no trazabilidad de las actividades de diseño y la segunda es la exteriorización del pensamiento, lo que nos ayuda a plasmar en gráficos o dibujos los avances del proceso, con la facilidad para comunicarlos y sin la complicación de tener en la mente toda la información generada.

Los métodos de diseño son entonces herramientas que nos ayudan a introducir procedimientos con un marco lógico en el proceso de diseño, sin importar en que etapa del mismo estemos.

2.1.1 Métodos creativos

Los métodos de diseño creativos son herramientas que estimulan la generación de nuevas ideas o la exploración de diferentes puntos de vista, evitando bloqueos mentales del diseñador e incentivando el pensamiento creativo. Son muy conocidos en el ámbito del diseño métodos creativos como la lluvia de ideas y la sinéctica.

2.1.2 Métodos con marco de referencia lógico

Los métodos de diseño con marco de referencia lógico al igual que los métodos creativos, son herramientas que marcan pautas sobre el proceso de diseño, estando las primeras más encaminadas a la clarificación, consecución y evaluación de las características de diseño; siguiendo procedimientos más rigurosos cercanos a la objetividad que permiten la interacción de un grupo de diseño. El tipo más sencillo y conocido de métodos de referencia lógico son las listas de chequeo.

Estos dos métodos, creativos y de marco de referencia lógico son complementarios de un enfoque sistemático hacia el diseño.

3. APLICACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO

3.1 Modelo de proceso a seguir

El proceso de diseño a seguir en este proyecto se divide en tres fases, la primera contempla el diseño conceptual donde se elegirá las características básicas del diseño, seguido por un diseño detallado, donde se aplican los recursos clásicos de la resistencia de materiales para determinar aspectos técnicos de la propuesta de diseño seleccionada y una tercera fase donde se generarán los documentos de representación de ingeniería.

3.2 Diseño conceptual

En esta fase se toma el planteamiento del problema y se genera soluciones amplias, que se desarrollan de forma tal que se consigue una propuesta de diseño con capacidad de cubrir en forma satisfactoria las necesidades del cliente, sin dejar de lado las características de ingeniería implícitas en la producción y comercialización. Es la fase con mayores retos para el diseñador y el espacio para proponer nuevos conceptos o mejoras a los ya existentes.

El diseño conceptual de este proyecto se usará parte del modelo propuesto por Nigel Cross en su libro Métodos de Diseño, estrategias para el diseño de productos, consistente en el desarrollo de estos seis pasos.

- Clarificación de objetivos
- Establecimiento de funciones
- Fijación de requerimientos
- Determinación de características
- Generación de alternativas
- Evaluación de alternativas

Al inicio de cada paso se presentará el método escogido, la finalidad y el procedimiento para aplicar el mismo.

3.2.1 Clarificación de objetivos

Método:
Árbol de objetivos

Finalidad:

Clarificar los objetivos y objetivos secundarios del diseño, así como las relaciones entre ellos.

Procedimiento:

1. Preparar una lista de objetivos de diseño
2. Ordenar la lista en conjuntos de objetivos de mayor y menor nivel
3. Dibujar un diagrama del árbol de objetivos que muestre las relaciones jerárquicas e interconexiones.

Al inicio del proyecto se planteó el diseño de un equipo para manejar eficientemente las bombas de aguas residuales en las estaciones de aguas servidas en la ciudad. La palabra “eficientemente” encierra la esencia del trabajo que desarrollaremos por lo que hay que descomponerla hasta encontrar las características a cumplir en el diseño.

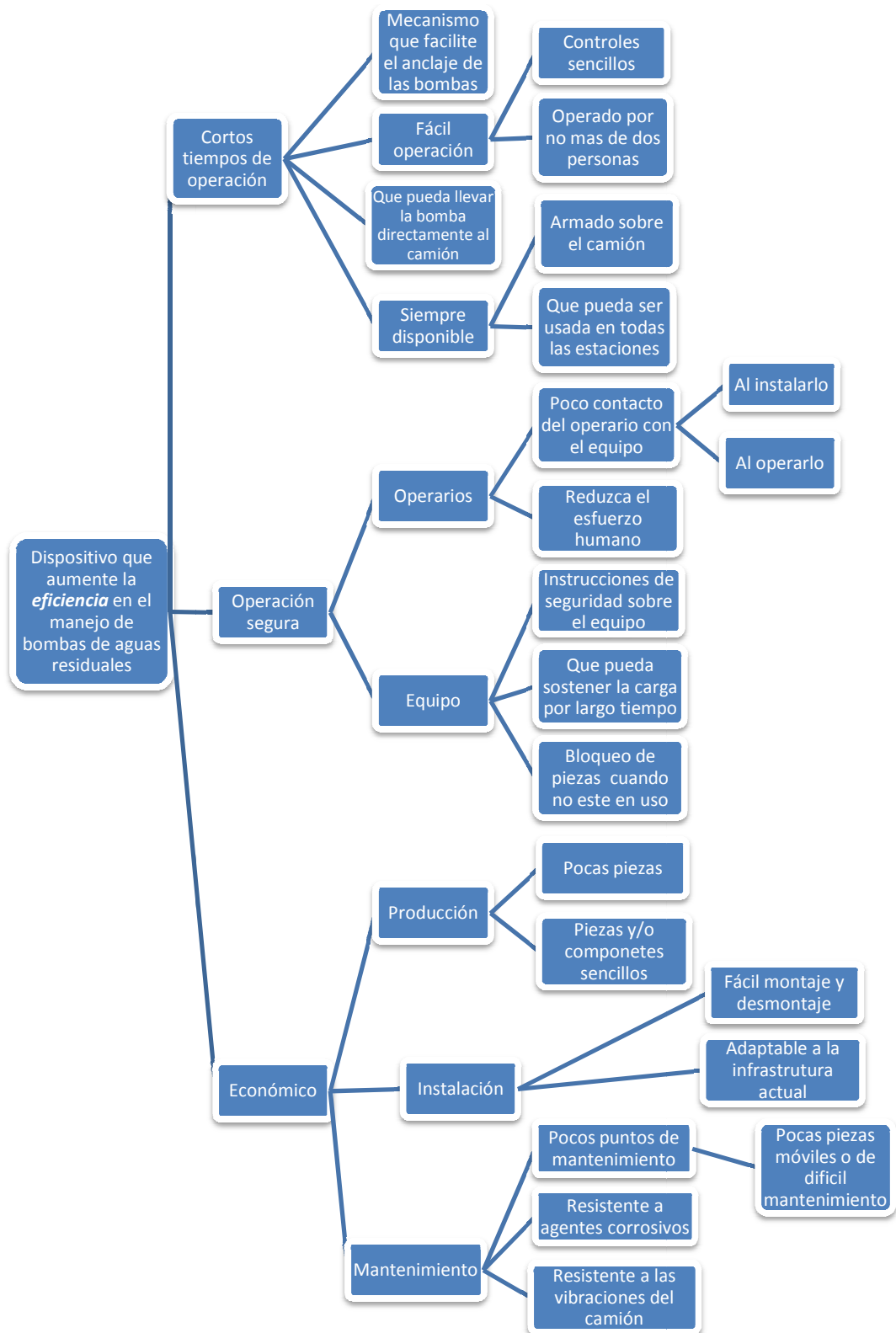
La eficiencia se manejará desde tres puntos; el primero: “cortos tiempos en la operación”, esto nos garantiza menor costo de horas hombre y mayor cubrimiento; el segundo “seguridad en la operación” y el tercero “economía en la fabricación, instalación y mantenimiento del equipo”.

Teniendo este nuevo planteamiento de diseño se prepara la siguiente lista de objetivos:

Mecanismo que facilite el anclaje de las bombas
Fácil operación
Capacidad para llevar las bombas directamente al camión
Alto grado de disponibilidad (que esté pre-armado)
Poca manipulación por parte del operario (como medida de seguridad)
Autonomía sobre la carga, que elimine el esfuerzo humano
Seguro, mínimo riesgo para el operario
Compacto y ligero
Fácil transporte
No debe requerir modificaciones considerables en la infraestructura actual
Fácil mantenimiento, preferible libre de mantenimiento
Robusto, que soporte vibraciones (en el transporte)
Controles sencillos
Poco número de operarios para el uso
Que se pueda usar en todas las estaciones
Económico
Durable (largos tiempos de vida útil)

Ahora se organizan en forma jerárquica y se presenta el árbol de objetivos resultante:

Gráfico 3. Árbol de objetivos para el diseño de un equipo de manejo de bombas de aguas residuales



3.2.2 Establecimiento de funciones

Método:
Análisis de funciones

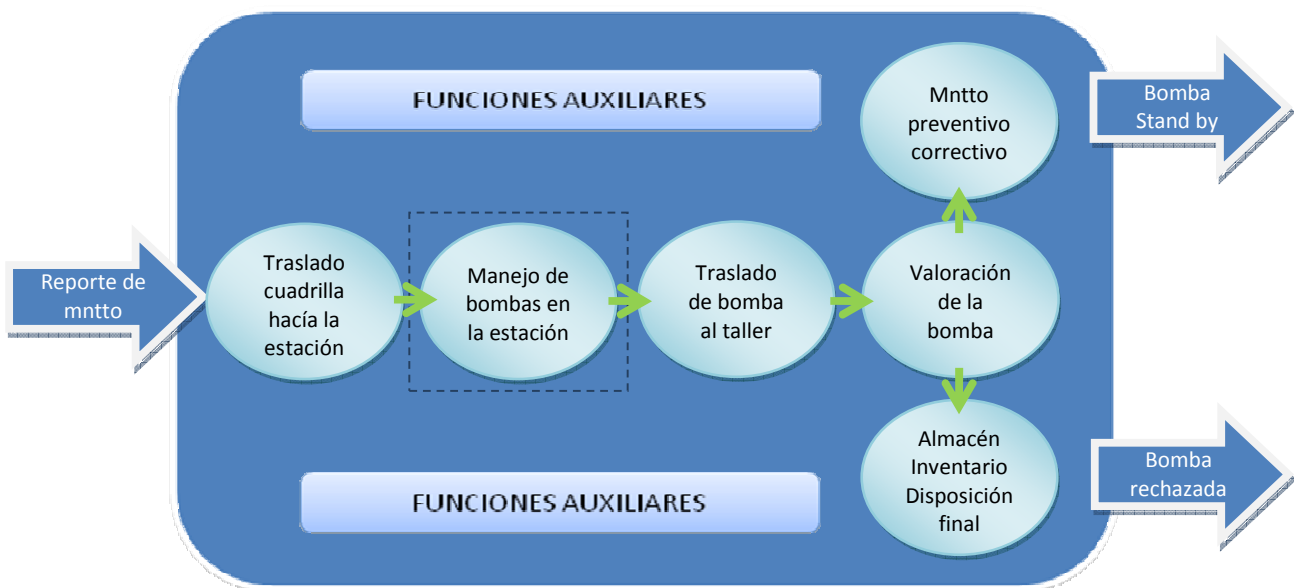
Finalidad:
Establecer las funciones requeridas y los límites del sistema de un nuevo diseño.

Procedimiento:

1. Expresar la función general del diseño en términos de la conversión de entradas en salidas.
2. Descomponer la función general en un conjunto de funciones secundarias esenciales.
3. Dibujar un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las funciones secundarias.
4. Dibujar los límites del sistema.
5. Buscar componentes apropiados para realizar las funciones secundarias y sus interacciones.

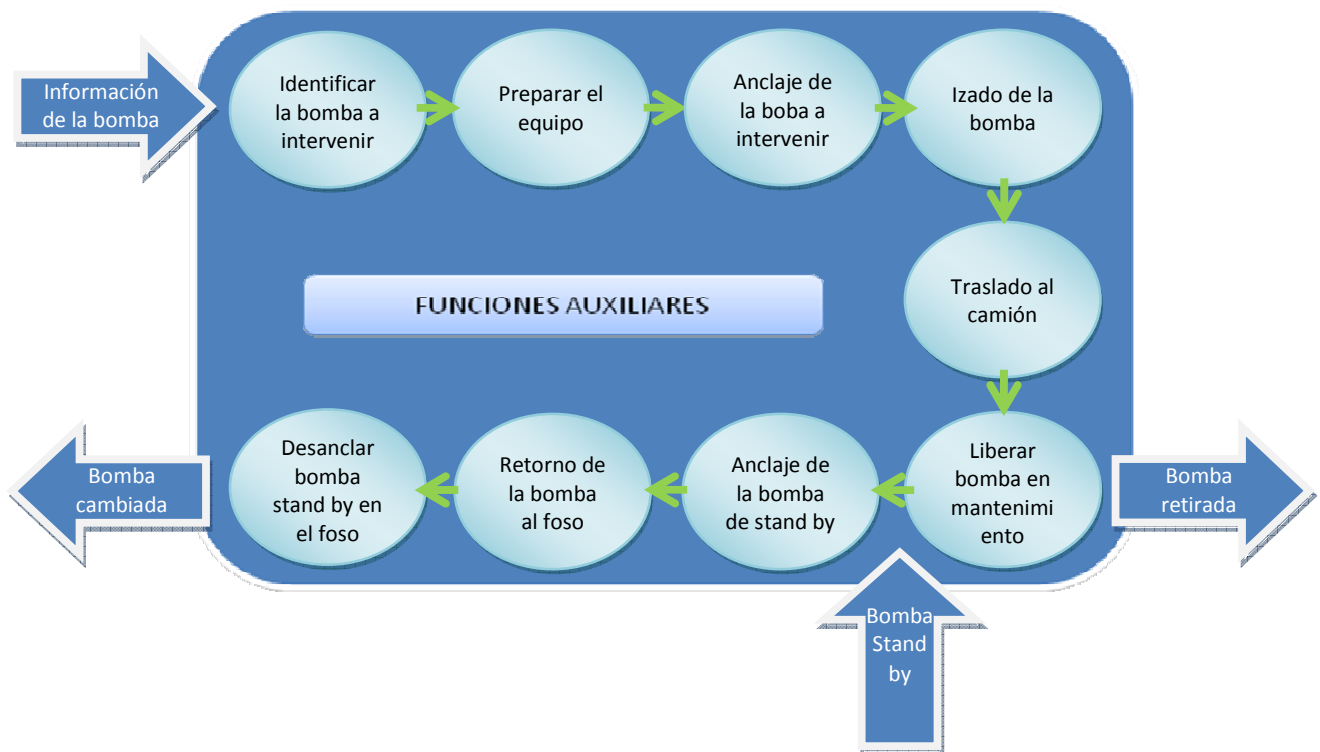
La eficiencia en el manejo de bombas de aguas residuales en mantenimiento, al igual que cualquier diseño se puede estudiar en muchos niveles, he aquí el nivel más amplio en donde se representa la función global de mantenimiento de las bombas.

Gráfico 4. Análisis de la función global del mantenimiento de bombas de aguas residuales



Dentro de ese nivel global establecemos los límites del sistema en la función general “Manejo de bombas en la estación”

Gráfico 5. Análisis de las funciones principales para el manejo de bombas de aguas residuales en las estaciones



Los medios propuestos para conseguir las funciones secundarias son presentados en la siguiente tabla.

Tabla 3. Análisis de funciones secundaria para el manejo de bombas de aguas residuales en las estaciones de Aguas de Cartagena	
Funciones secundarias esenciales	Medios para lograr funciones secundaria
Identificar la bomba a intervenir	Tomar del reporte de mantenimiento información de la bomba y hacer identificación visual
Preparar el equipo	Armar, encender y/o habilitar el equipo de manejo de bombas para su uso
Anclar la bomba a intervenir	Asegurar la bomba al dispositivo usando cuerdas o algún mecanismo mecánico diseñado para tal fin

Izado de la bomba	Accionar el dispositivo para sacar la bomba del foso, esto se puede hacer usando un motor eléctrico, fuerza hidráulica, neumática o por medio de aparejos
Traslado al camión	De la posición de izado llevar hasta dentro del camión, bien sea manualmente o por una función extendida del equipo a diseñar
Liberar bomba en mantenimiento	Soltar manualmente la bomba
Anclar la bomba de stand by	Asegurar la bomba al dispositivo usando cuerdas o algún mecanismo mecánico diseñado para tal fin
Retorno de la bomba al foso	Invertir el proceso de izado para dejar la bomba de stand by en el foso
Desanclar bomba stand by en el foso	Soltar manualmente la bomba

3.2.3 Fijación de requerimientos:

Método:

Especificación del rendimiento

Finalidad:

Hacer una especificación exacta del rendimiento requerido en una solución de diseño.

Procedimiento:

1. Considerar los diferentes niveles de generalidad de solución que puedan aplicarse.
2. Determinar el nivel de generalidad en el cual se va a trabajar.
3. Identificar los atributos de rendimientos requeridos.
4. Establecer requerimientos de rendimiento breves y precisos

La solución al diseño de un dispositivo aplicado al manejo de bombas de aguas residuales para la empresa de aguas de Cartagena, se planteo desde el principio en un nivel intermedio; puesto que para alcanzar la eficiencia económica se consideró el uso de la infraestructura existente. Lo que limita el campo de búsqueda a generar “tipos de dispositivos mecánicos” que puedan cumplir con el objetivo planteado.

A continuación se presenta la lista de atributos y requerimientos de rendimiento para una solución general.

Gráfico 6. Atributos y requerimientos para el diseño de un dispositivo mecánico aplicado al manejo de bombas de aguas residuales en las estaciones de Aguas de Cartagena

ATRIBUTOS	REQUERIMIENTOS	DEM*	DES*
Evitar el contacto de los operadores con las aguas residuales	Mecanismo que facilite el anclaje de las bombas		X
Fácil operación, Poca manipulación por parte del operario (como medida de seguridad)	No debe requerir personal especializado(máx. 2 operador)	X	
	Dos movimientos (izado de la bomba, movimiento de la bomba al camión) e inverso	X	
	Controles intuitivos		X
Capacidad para llevar las bombas directamente al camión	EL movimiento de la bomba hacia el camión debe ser posible mecánicamente si el costo es bajo	X	
Alto grado de disponibilidad	Conjunto pre-armado (máximo instalar 3 piezas adicionales antes de usarlo)	X	X
Autonomía sobre la carga	Reducir en mas de un 50% el esfuerzo humano en comparación con levantar la directamente	X	
Compacto y ligero	Peso final menor de 120 Kg	X	
	Área usada en el camión menos del 15%	X	
Fácil transporte	Preferiblemente anclado al camión	X	
Modificaciones a la infraestructura actual	Costo menor un millón por estación (preferiblemente ninguno)		X
Fácil mantenimiento	Que pueda ser realizado dentro de la empresa (preferible libre de mantenimiento)		X
Robusto, durable	Que soporte vibraciones producto de su transporte dentro del camión	X	
Económico	Costo de fabricación inferior a 3 millones de pesos	X	
Versátil	Que se pueda usar en todas las estaciones		X

* DEM: Demanda, requerimiento que debe cumplirse

* DES: Deseo, requerimiento opcional

3.2.4 Determinación de características

Método:

Despliegue de función de calidad QFD

Finalidad:

Establecer las metas que deben alcanzarse en las características de ingeniería de un producto, de manera que satisfagan los requerimientos del cliente.

Procedimiento:

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

En base a los pasos anteriores se hace un listado de los requerimientos del cliente o atributos del producto y los requerimientos de ingeniería del diseño, lo que permite averiguar la relación entre estos y la forma en que unos afectan a los otros.

Debido a que el diseño solicitado no tiene un punto de referencia en el mercado se evaluará junto con el mecanismo usado actualmente y la posibilidad de hacer el trabajo manualmente.

Gráfico 7. Matriz de interacciones de requerimientos para el dispositivo mecánico para el manejo de bombas para aguas residuales en las estaciones de Aguas de Cartagena

Dispositivo mecánico aplicado al manejo de bombas para aguas residuales		Ponderación (total 100)	Tiempo anclaje bombas	Pasos operación x ciclo (Controles)	Número de operadores para uso	Mov mecánico bomba al camión	Tiempo armado del dispositivo	Modificaciones infraestructura actual	Reducir esfuerzo HH manejo carga	Área de instrucciones en equipo	Bloqueo de piezas	Número de elementos para armar	# htas tradicionales arme-desarme	# htas no tradicionales arme-desarme	Ajustes precisos	Alto factores de servicio	Mecanismo actual	Manejo manual	
																			POCO TIEMPO O/CION
POCO TIEMPO O/CION	Evitar contacto operador- aguas	4	6	3		1											3	0	
	Fácil de usar	10	3	6	6	6	6	3	6	1		1	6	6			5	1	
	Que lleve la bomba al camión	8	1			6			6								0	7	
	Alto grado de disponibilidad	7		3			6	3	3								2	7	
	Que sirva en todas las estaciones	7					6	6	3									7	7
OPERACIÓN SEGURA	Poco contacto op al instalar equipo	5					6		3			6					0	-	
	Poco contacto op al usar equipo	4	6	3	3	6	6		6			3					2	-	
	Reducción del esfuerzo humano	6	3	6		6	6		3		3	3	3	3			3	0	
	Instrucción seguridad en el equipo	5								6								0	-
	Que sostenga carga largo tiempo	4	6			3			6			1					6	5	0
	Seguro con camión en movimiento	8					6				6	3						3	-
ECONÓMICO	Ligero y que ocupe poca área	6					6	6			3	6							
	Fácil montaje	7					6		3			6	3	6			4	-	
	Fácil desmontaje	5							3			6	3	6			3	-	
	Fácil mantenimiento	6	1	3					3			6	3	6			5	-	
	Resistente a agentes corrosivos	4										1					4	-	
	Resistente a vibraciones del camión	4							3		6				6	3	5	-	
Importancia requerimientos de ingeniería %		6	8	3	9	17	6	14	2	5	12	6	9	1	2	-	-		
Unidades		Min	U	U	S/N	Min	MP	%	M2	S/N	#	#	#	mm	U	-	-		
Metas		5	6	2	S	10	0.5	50	0.03	S	3	3	0	0.1	2.5	-	-		
Mecanismo actual		20	6	3	N	45	0	20	0	N	4	2	0	1	1.5	-	-		
Manejo manual		20	6	3	N	0	0	0	0	N	0	-	-	-	X	-	-		

3.2.5 Generación de alternativa

Método:

Diagrama morfológico

Finalidad:

Generar la gama completa de soluciones alternativas de diseño para un producto y ampliar de esta forma la búsqueda de nuevas soluciones potenciales. Apoyado en métodos creativos como la lluvia de ideas y la sinéctica.

Procedimiento:

1. Hacer una lista de características o funciones esenciales para el producto.
2. para cada característica o función, mencionar los medios con los cuales podría realizarse
3. Elaborar un diagrama que contengan las soluciones secundarias posibles.
4. Identificar las combinaciones factibles soluciones secundarias.

En base a los resultados obtenidos en la “Determinación de características” solo se evaluarán opciones donde la estructura de izado se encuentre totalmente armada sobre el camión. De esta forma se garantiza cubrir las características de ingeniería preponderante, y se redefine la búsqueda de soluciones a algo más específico.

En métodos anteriores se ha identificado que para el manejo de las bombas existen seis pasos principales, a saber: Anclaje, izado y traslado al camión de la bomba en mantenimiento; mas tres pasos similares para devolver la bomba de reemplazo al foso. En el gráfico 7 se presentan dichas funciones secundarias.

De las combinaciones posibles se destacan las siguientes:

Alternativa 1: (1,1 – 2,4 – 3,5) Dispositivo cara-vaca de anclaje con izado por medio de un tornillo y manejo de carga manual.

Alternativa 2: (1,2 – 2,3 – 3,3) Bomba siempre anclada con cuerda izada por carrete de accionamiento manual apoyado en el brazo telescópico de una articulación que permite llevar la bomba dentro del camión.

Alternativa 3: (1,1 – 2,1 – 3,2) Dispositivo cara-vaca de anclaje izado por señorita o diferencial apoyado en el brazo extensible de dos articulaciones y rotación en la base que permite llevar la bomba dentro del camión.

Alternativa 4: (1,3 – 2,1 – 3,1) Bomba siempre anclada con cuerda de ojete izado por señorita o diferencial apoyado en marco articulado para trasladar las bombas.


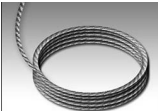


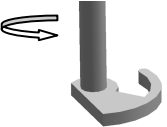









Soluciones Funciones secundarias		1	2	3	4	5
1	Anclaje de bombas	 <p>Dispositivo cara-vaca de anclaje, similar al soporte de la bomba</p>	 <p>Siempre anclada con cuerda asegurada en la parte superior del foso</p>	 <p>Siempre anclada con cuerda de ojete asegurada en la parte superior del foso</p>	 <p>Anclaje Con Dispositivo magnético</p>	 <p>Anclaje con dispositivo de giro</p>
2	lizado de bombas	 <p>Señorita o diferencial</p>	 <p>Mecanismo piñón -cremallera</p>	 <p>Carrete accionado manualmente</p>	 <p>lizado con tornillo sujeto a la base de la bomba</p>	
3	Traslado de bombas al camión	 <p>Marco articulado para permitir traslado de la bomba al camión</p>	 <p>Brazo extensible de doble articulación y rotación en la base</p>	 <p>Brazo telescópico de una articulación y rotación en la base</p>	 <p>Pluma grúa de brazo fijo con rotación en la base</p>	 <p>Manejo manual de carga</p>

Gráfico 8. Diagrama morfológico para el dispositivo mecánico para el manejo de bombas para aguas residuales en las estaciones de Aguas de Cartagena

3.2.6 Evaluación de alternativas

Método:

Objetivos ponderados

Finalidad:

Comparar los valores de utilidad de las propuestas de diseño alternativas, con base en su rendimiento frente a los objetivos diferencialmente ponderados.

Procedimiento:

1. Hacer una lista de los objetivos de diseño.
2. Ordenar la lista de objetivos.
3. Asignar ponderaciones relativas a los objetivos.
4. Establecer parámetros de rendimiento o calificaciones de utilidad para cada uno de los objetivos.
5. Calcular y comparar los valores de utilidad relativa de los diseños alternativos.

La evaluación de las alternativas se hará en base de los siguientes objetivos:

Velocidad de anclaje

Costo del sistema de anclaje por año

Velocidad del izado de bombas

Costo de la fabricación del elemento del izado

Radio de cobertura del elemento de izado

Área que ocupa el equipo dentro del camión

Para dar pesos ponderados al grupo de objetivos se ubican dentro de una escala de 1-10 teniendo en cuenta que cada uno de ellos se evalúa con relación al más importante, luego se suman los valores dados a cada uno y se ponderan relativamente al valor 1, tal como se muestra en la siguiente tabla.

10	Cobertura del elemento izado	10/37	0,27
9			
8	Costo del anclaje	8/37	0,22
7	Costo elemento izado	7/37	0,19
6	Velocidad anclaje	6/37	0,16
5			
4	Ocupación camión	4/37	0,11
3			
2	Velocidad del izado	2/37	0,05
1			

Luego a cada alternativa en base a su utilidad se le da una calificación comprendida entre 0-4 bajo la siguiente escala

Escala de puntos	Significado
0	Inadecuada
1	Débil
2	Satisfactoria
3	Buena
4	Excelente

Se aplica el procedimiento y se obtiene como resultado que la alternativa 3 es la que mejor cumple con los objetivos de diseño y por ende se desarrollará en la siguiente fase "Diseño de detalles".

Gráfico 9. Diagrama de evaluación de objetivos ponderados para las cuatro alternativas propuestas

Objetivo	Peso	Parámetro	Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3			Alternativa 4		
			Mag	Cal	Val	Mag	Cal	Val	Mag	Cal	Val	Mag	Cal	Val
Velocidad del anclaje	0,16	Minutos	4	4	0,64	2	4	0,64	4	4	0,64	4	4	0,64
Costo del anclaje a un año	0,22	Miles de pesos	150	3	0,66	1350	1	0,22	150	3	0,66	1350	1	0,22
Velocidad del izado	0,05	Minutos	30	2	0,10	15	4	0,20	20	3	0,15	35	2	0,1
Costo del elemento de izado	0,19	Miles de pesos	13350	0	0,00	400	3	0,57	0	4	0,76	0	4	0,76
Cobertura elemento de izado	0,27	Alcance máx. brazo (m)	ND	2	0,54	1,2	3	0,81	1,8	4	1,08	1,4	3	0,81
Ocupación del camión	0,11	M2	0	4	0,44	0,09	4	0,44	0,33	2	0,22	0,75	1	0,11
Valor general de utilidad			2,38			2,88			3,51			2,64		

Mag: Magnitud del parámetro en un objetivo dado

Cal: Calificación de 0-4

Valor: Valor de la alternativa en un objetivo dado ("Cal" X "Peso")

3.3 Diseño de detalles

Esta es la fase, en la que se definen rasgos específicos del diseño, materiales, formas finales, etc. La calidad de este trabajo debe ser buena, pues de lo contrario se incurrirá en demoras y gastos, o incluso en un fracaso.

Se inicia con un bosquejo de la alternativa planteada, con el objeto de estudiar detalles sobre los requerimientos y restricciones impuestas por el entorno, el cliente y hasta el mismo diseñador.

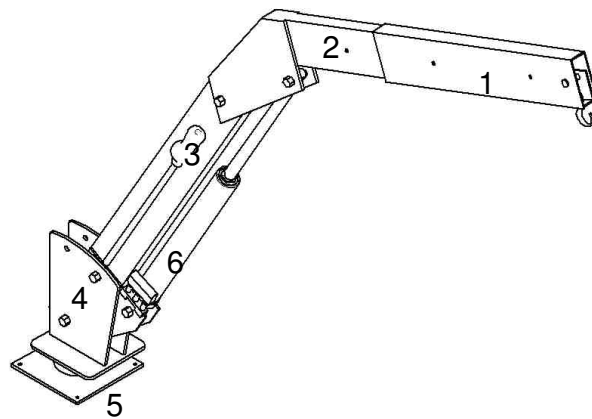


Figura 1. Arreglo general alternativa a diseñar

Se evalúa este bosquejo dentro de las condiciones normales de operación, detallando el funcionamiento de la alternativa seleccionada y la interacción con el entorno (sitio de trabajo, infraestructura, operador):

- El camión se acerca tanto como sea posible a la estación.
- Se usan las extensiones horizontales, verticales y/o radiales del dispositivo para conseguir el brazo necesario para extraer la bomba.
- Se ancla la bomba a retirar y se extrae del foso con el diferencial, hasta conseguir la mayor altura posible.
- Ya con la bomba asegurada se eleva el gato hasta su máxima longitud, para que requiera un mínimo brazo de giro.
- Se gira el dispositivo hacia dentro del camión.
- Se posiciona la bomba dentro del camión en el sitio deseado.

De esta evaluación encontramos las siguientes restricciones:

- El espacio disponible para el manejo de las bombas dentro del camión es de 2.4m X 3.0m, que son las dimensiones del estacado donde se ha de colocar el dispositivo a diseñar.

- El alcance del equipo durante la operación debe ser máximo de 2,2 m, para evitar interferencia de la bomba con la estructura del camión.
- La extensión máxima de operación puede lograrse con la interacción de todos los elementos siempre que permita el traslado de bombas al camión.

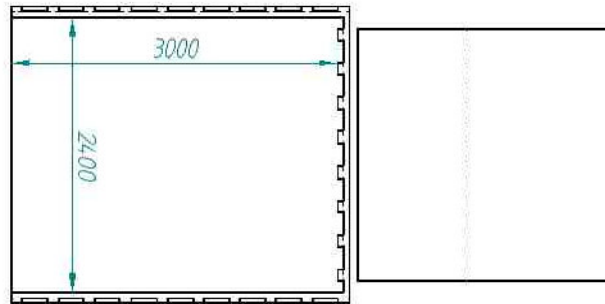


Figura 2. Dimensiones libres del camión donde se instala el dispositivo a diseñar

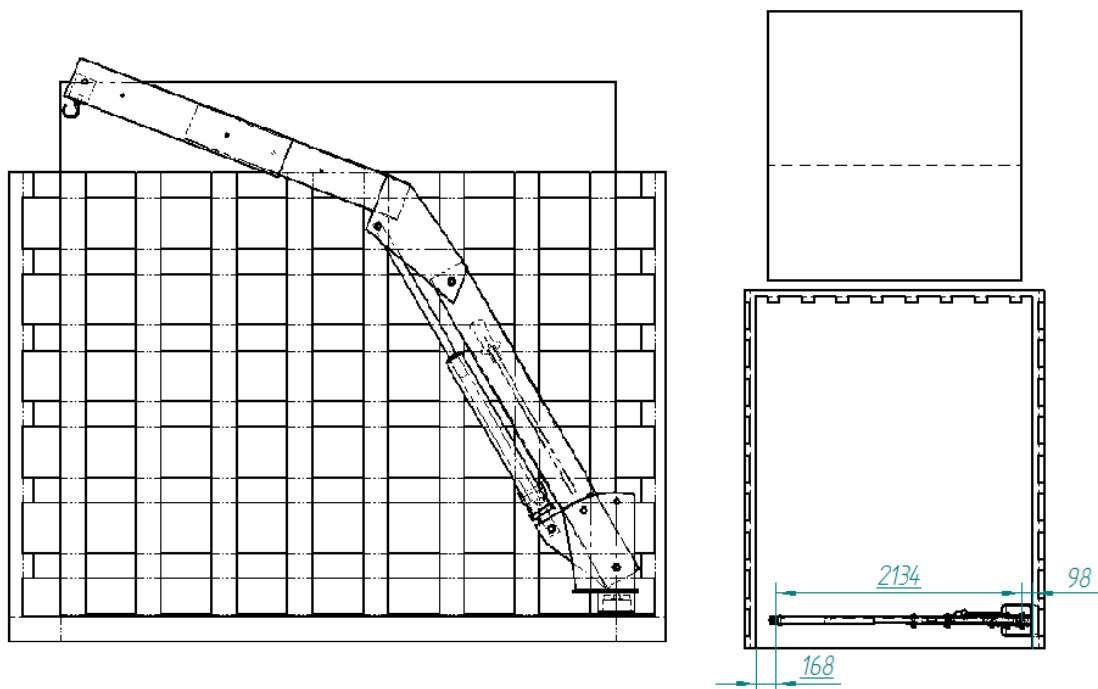

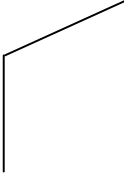
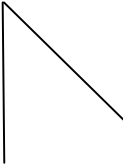

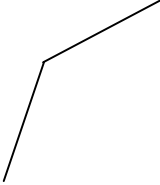
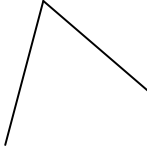


Figura 3. Medidas máximas de operación según dimensiones del camión

Como regla en el diseño mecánico, se debe considerar el estado de carga crítico como base para el cálculo de elementos. El dispositivo aquí diseñado permite ubicarlo en 6 posiciones básicas diferentes según la extensión necesaria en cada estación de bombeo.

Gráfico 10. Esquema de posiciones básicas del equipo en uso

Posiciones básicas del equipo	1 Posiciones con extensión horizontal paralela al piso	2 Posiciones con extensión a más de 90° respecto al elemento principal	3 Posiciones con extensión a menos de 90° respecto al elemento principal
1 Posiciones con elemento principal a 90° respecto al piso	1,1 	1,2 	1,3 
2 Posiciones con elemento principal a menos de 90° respecto al piso	2,1 	2,2 	2,3 

Se debe tener en cuenta cual de las posiciones implica la mayor extensión (mayor brazo momento) en el equipo, esta posición hará que los momentos flexionantes y por ende los esfuerzos en el dispositivo sean máximos.

En base a lo anteriormente descrito se seleccionarán los elementos de maquina a partir de las posición 2,1 mostrada en el gráfico 10.

3.3.1 Cálculo de elementos

Por referencia a diseños similares se usará un perfil rectangular (ver página 64) en acero norma ASTM A500 ($\sigma_{max} = 400MPa$; $\tau_{max} = 230Mpa$) de dimensiones 150X50X4 como base para los cálculos. En el caso de obtener $3,0 > FS < 1,5$ en la sección más exigida se evaluará un perfil diferente.

Respecto al primer elemento, que tiene forma de U invertida se fabricará con lámina 4mm dobleses a radio igual al espesor y dimensiones externa 164X62, con el objeto de que pueda recibir en su interior el perfil base del resto del diseño.

La carga principal es el peso de las bombas y este oscila entre 50 y 350 kilogramos, usando la condición crítica se evalúa una carga de

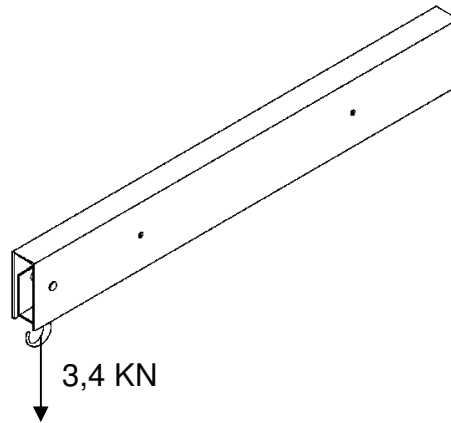


Figura 4. Cargas en extensión horizontal elemento 1

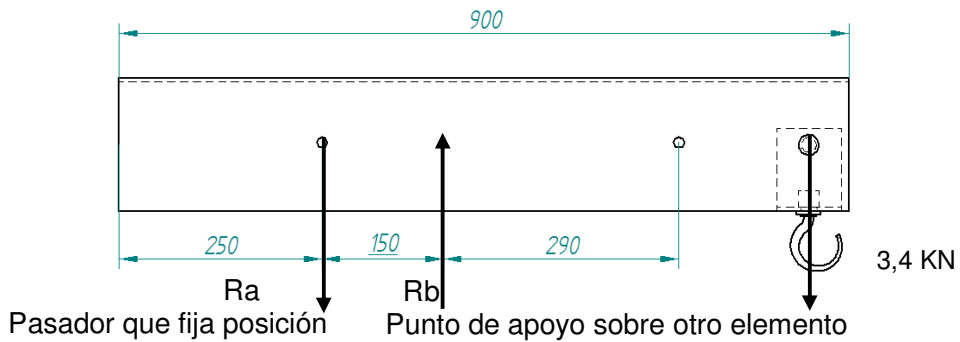
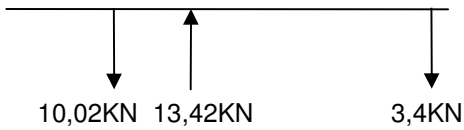


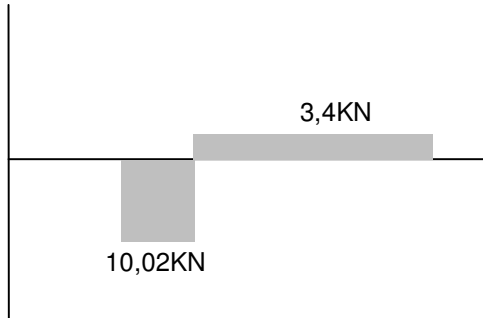
Figura 5. Análisis de cuerpo libre extensión horizontal elemento 1

La carga se limita al plano vertical de simetría del perfil, ya que las desviaciones hacia el tercer eje son pequeñas y pueden obviarse.



$$\uparrow + \sum Mb = 0$$

$$3,4KN \times 0,45m - Ra \times 0,15m = 0 \Rightarrow Ra = 10,02KN$$

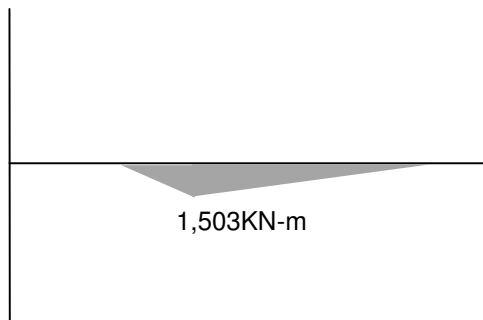


$$\uparrow + \sum Fy = 0$$

$$Rb - 10,02KN - 3,4KN = 0 \Rightarrow Rb = 13,42KN$$

Se dibujan los diagramas de cortante y momento flector, para obtener sus máximos valores.

Después se calcula el máximo esfuerzo normal aplicando la ecuación



$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Donde (ver pagina 65);

$$I = 4,1279 \times 10^{-6}m^4 \text{ y } c = 0,0933m$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{1503Nm \times 0,0933m}{4,1279 \times 10^{-6}m^4} = 33,97MPa$$

Se procede a verificar el perfil por esfuerzo cortante en el eje neutro donde Q es máximo y t es mínimo, usando la ecuación

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

Donde (ver pagina 66) $Q = 0,0000348m^3$ tenemos:

$$\tau = \frac{10020N \times 0,0000348m^3}{4,1279 \times 10^{-6}m^4 \times 0,008m} = 10,56MPa$$

Estos cálculos muestran que los esfuerzos máximos en la sección transversal de mayor exigencia están por debajo de los valores de esfuerzos admisibles para el elemento.

Ahora se procede a verificar los esfuerzos en el segundo elemento del equipo

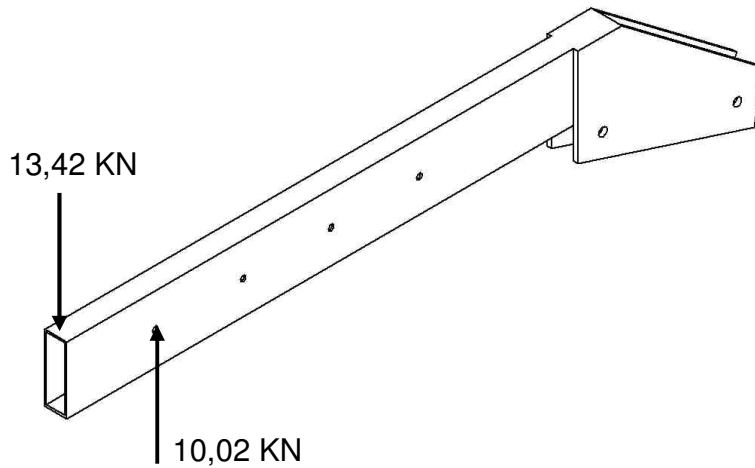


Figura 6. Cargas en brazo horizontal elemento 2

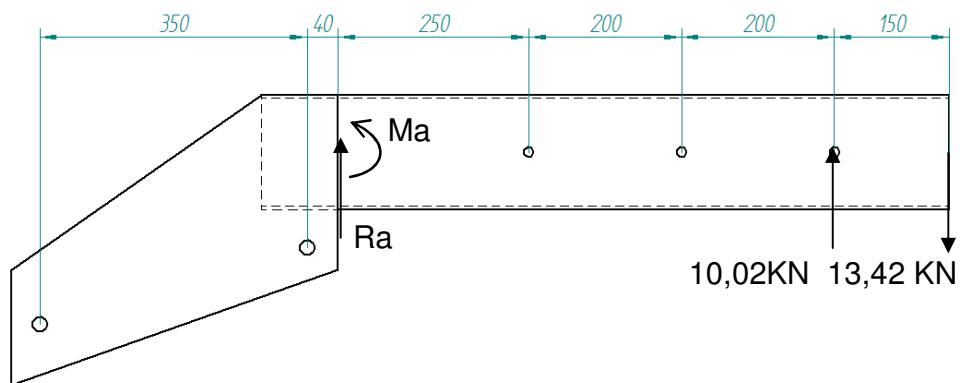
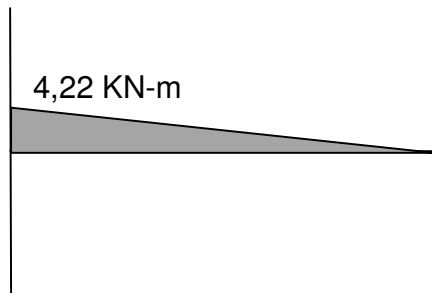
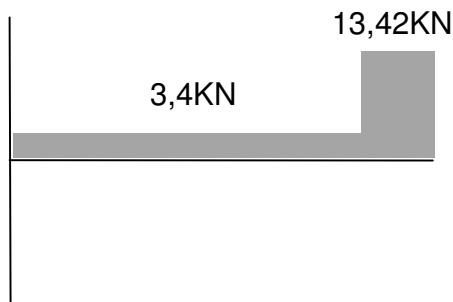
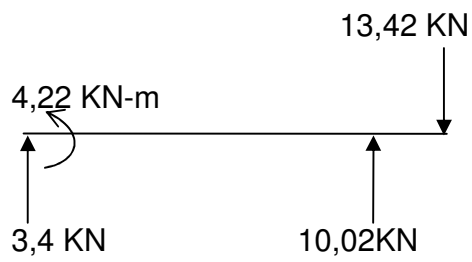


Figura 7. Análisis de cuerpo libre brazo horizontal elemento 2

Para el análisis de este elemento se representa como una viga empotrada en un extremo.



$$\uparrow + \sum M_a = 0$$

$$10,02 \times 0,65 + M_a - 13,42 \times 0,80 = 0$$

$$\Rightarrow M_a = 4,22 \text{ KN} - m$$

$$\uparrow + \sum F_y = 0$$

$$R_a + 10,02 \text{ KN} - 13,42 \text{ KN} = 0$$

$$\Rightarrow R_a = 3,4 \text{ KN}$$

Se dibujan los diagramas de cortante y momento flector, para obtener sus máximos valores.

Después se calcula el máximo esfuerzo normal aplicando la ecuación

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Donde (ver pagina 67);

$$I = 4,041 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \text{ y } c = 0,075 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{4220 \text{ Nm} \times 0,075 \text{ m}}{4,041 \times 10^{-6} \text{ m}^4}$$

$$= 78,32 \text{ MPa}$$

Se procede a verificar el perfil por esfuerzo cortante en el eje neutro donde Q es máximo y t es mínimo usando la ecuación

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

Donde (ver pagina 67)

$$Q = 0,000034764 \text{ m}^3 \text{ tenemos:}$$

Estos cálculos muestran que los esfuerzos máximos en la sección transversal de mayor exigencia están por debajo de los valores de esfuerzos admisibles para el elemento.

Para evaluar el tercer elemento del equipo, es necesario determinar las reacciones en las placas del elemento dos

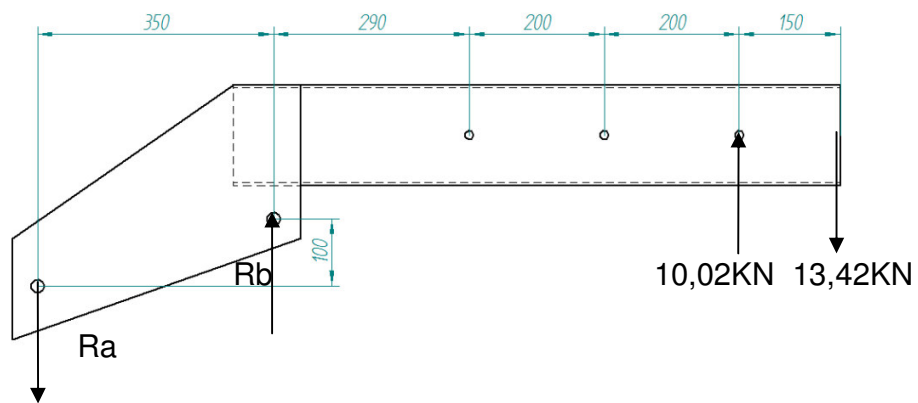


Figura 7b. Análisis de cuerpo libre brazo horizontal elemento 2

Por la construcción del equipo sabemos que en la posición crítica, el tercer elemento se desvía 30° y el gato $34,7^\circ$ ambos respecto a su posición vertical. De lo que se determina

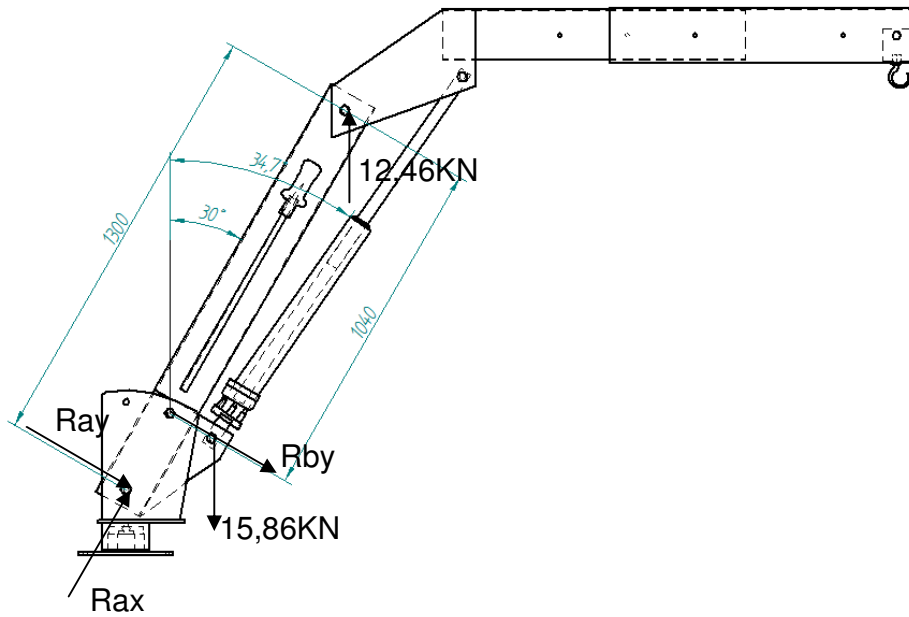


Figura 8. Cargas en brazo vertical elemento 3

Si se descomponen estas fuerzas en sus componentes perpendicular y axial al elemento tres

En el punto C...

En el punto D...

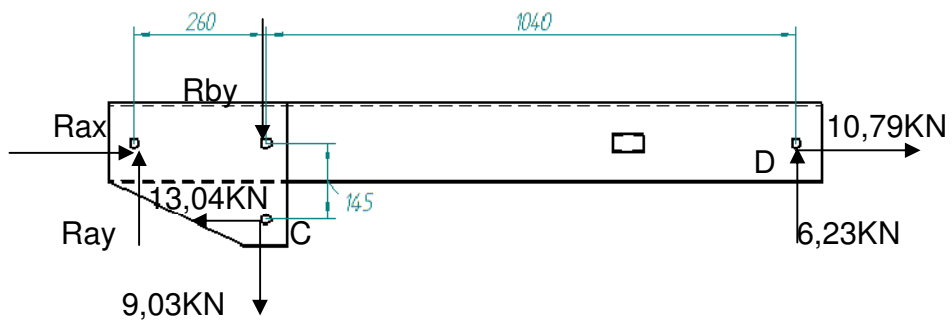
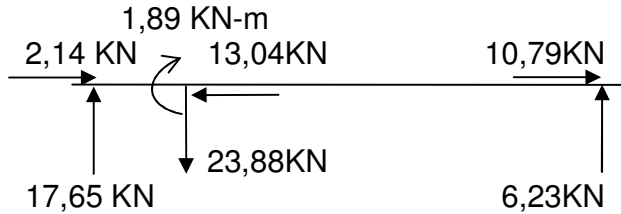


Figura 9. Análisis de cuerpo libre brazo vertical elemento 3

A continuación se evalúa el tercer elemento del equipo



$$\uparrow + \sum Mb = 0$$

$$R_{ay} \times 0,260 + 1,89 \text{ kNm} - 6,23 \text{ kN} \times 1,04 \text{ m} = 0$$

$$R_{ay} = 17,65 \text{ kN}$$

$$\uparrow + \sum Fy = 0$$

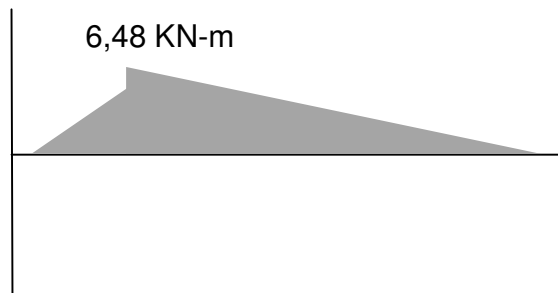
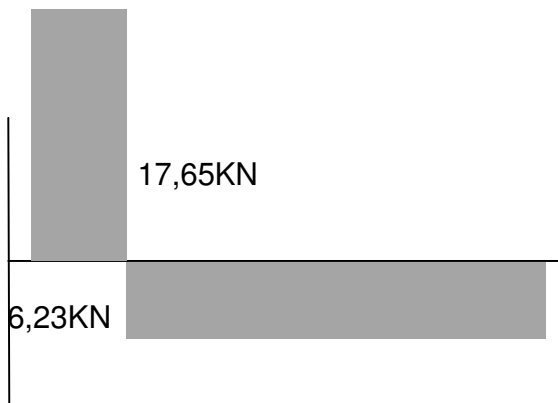
$$17,65 \text{ kN} + 6,23 \text{ kN} - 9,03 \text{ kN} - R_{by} = 0$$

$$R_{by} = 14,85 \text{ kN}$$

$$\rightarrow + \sum Fx = 0$$

$$R_{ax} + 10,79 \text{ kN} - 13,4 \text{ kN} = 0$$

$$R_{ax} = 2,61 \text{ kN}$$



Se dibujan los diagramas de cortante y momento flector, para obtener sus máximos valores.

Después se calcula el máximo esfuerzo normal aplicando la ecuación

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Donde (ver pagina 67);

$$I = 4,041 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \text{ y } c = 0,075 \text{ m}$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{6480 \text{ Nm} \times 0,075 \text{ m}}{4,041 \times 10^{-6} \text{ m}^4} = 120 \text{ MPa}$$

Los esfuerzos axiales en este elemento se ven afectados por las cargas tensionantes en los extremos del mismo, dado que:

$$\sigma_t = 120MPa + \frac{13000N}{0,001536m^2} \Rightarrow \sigma_t = 128,5 MPa$$

Se procede a verificar el perfil por esfuerzo cortante en el eje neutro donde Q es máximo y t es mínimo, usando la ecuación

$$\tau = \frac{VQ}{It}$$

Donde (ver pagina 67) $Q = 0,000034764m^3$ tenemos:

$$\tau = \frac{17650N \times 0,000034764m^3}{4,041 \times 10^{-6}m^4 \times 0,008m} = 19MPa$$

Estos cálculos muestran que los esfuerzos máximos en la sección transversal de mayor exigencia están por debajo de los valores de esfuerzos admisibles para el elemento.

Si la resistencia última del acero es 400 Mpa, el FS en esta sección es de 3,11, lo que resulta aceptable según nuestras consideraciones iniciales.

Los pasadores usados en el diseño se evaluarán con un F.S igual a 3 en el punto de máximo cortante, $F = 17,65KN$, por lo tanto:

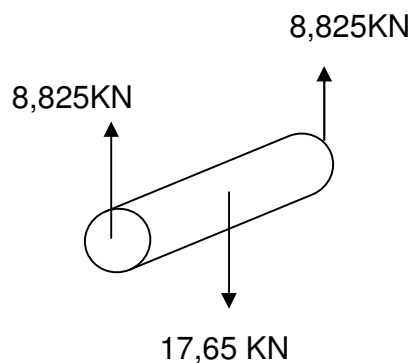
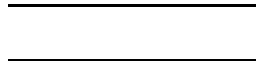


Figura 10. Análisis de cuerpo libre pasadores

$$\tau_{adm} = \frac{\tau_{max}}{F.S} = \frac{230MPa}{3} = 76,7MPa = \frac{17,65 KN/2}{\pi \times r^2}$$



Debido a que los pasadores son los elementos mayormente sometidos a fricción y desgaste se usara una barra de acero de $\frac{3}{4}$ " de diámetro en todos los puntos del equipo exceptuando el que regula la extensión del brazo de carga que será de $\frac{1}{2}$ ".

El aplastamiento causado a las láminas por los pasadores se evalúa haciendo $\sigma = \frac{F}{A}$, donde

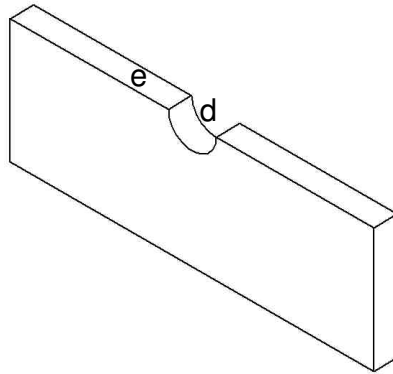


Figura 11. Aplastamiento en láminas



Teniendo en cuenta que los elementos del soporte serán soldados y expuestos a posibles cargas de impacto, los acople se fabricarán en lámina de acero $\frac{3}{8}$ " de espesor y los elementos en perfil rectangular se reforzaran internamente donde sea necesario para conseguir un mayor espesor y evitar deformaciones en el equipo.

Los cálculos para el soporte giratorio, se basan en el traslado de fuerzas, haciendo momentos en el pivote inferior, para lo que se obtiene

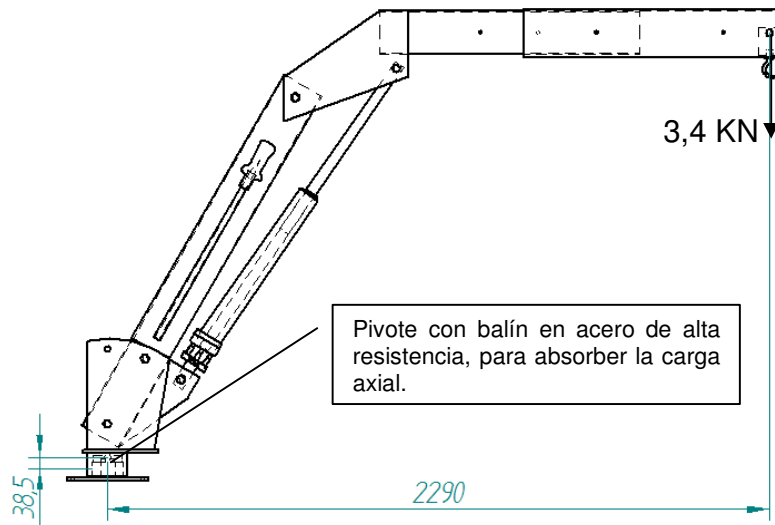


Figura 12. Cargas equivalentes en el soporte giratorio elemento 4

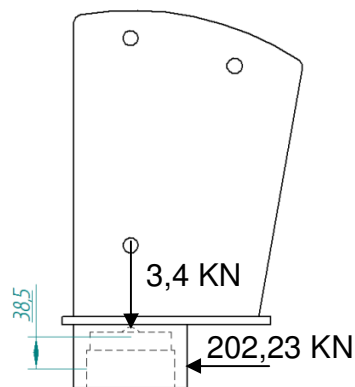


Figura 12b. Cargas equivalentes en el soporte giratorio elemento 4

Teniendo en cuenta la proporción entre las reacciones vertical y horizontal este elemento se calcula teniendo en cuenta solo el esfuerzo a cortante.

— — — — —

Se verifica ahora el tipo de rodamiento a utilizar y en base al diámetro interno del mismo se seleccionará el diámetro del soporte, teniendo presente que el mínimo diámetro permitido es el arriba calculado.

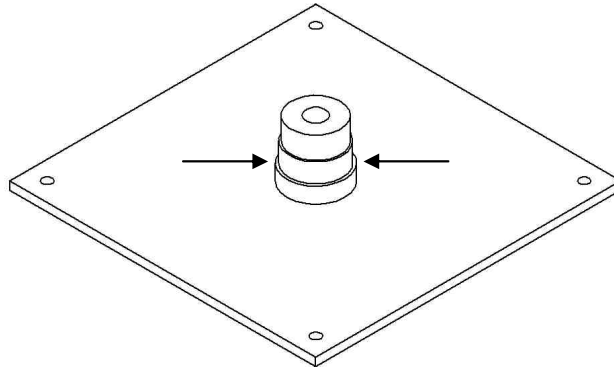


Figura 13. Diámetro de rodamiento elemento 5

3.3.2 Comparación de cálculos con diseño asistido por computador

Conscientes de la tendencia actual y de la precisión que ofrecen las ayudas computacionales para el diseño de ingeniería los elementos principales del diseño serán evaluados bajo simulación CAD usando el programa ANSYS V6.0

El procedimiento a usar está guiado por la estructura misma del programa en donde:

- Se construye la geometría en base a las operaciones booleanas

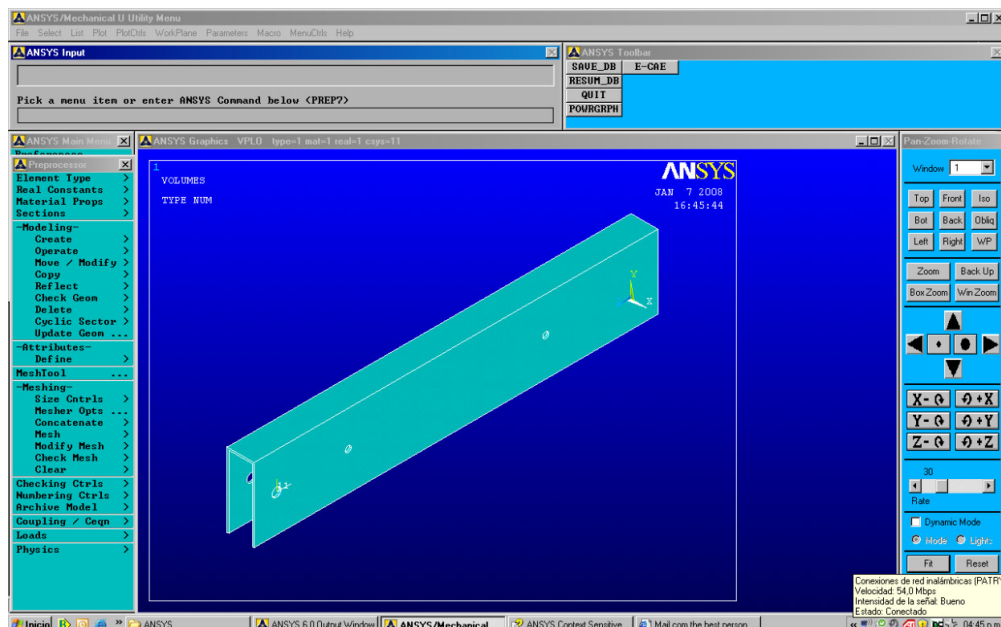


Figura 14. Modelado de piezas en ANSYS

- Se filtra GUI y se selecciona solo “structural”

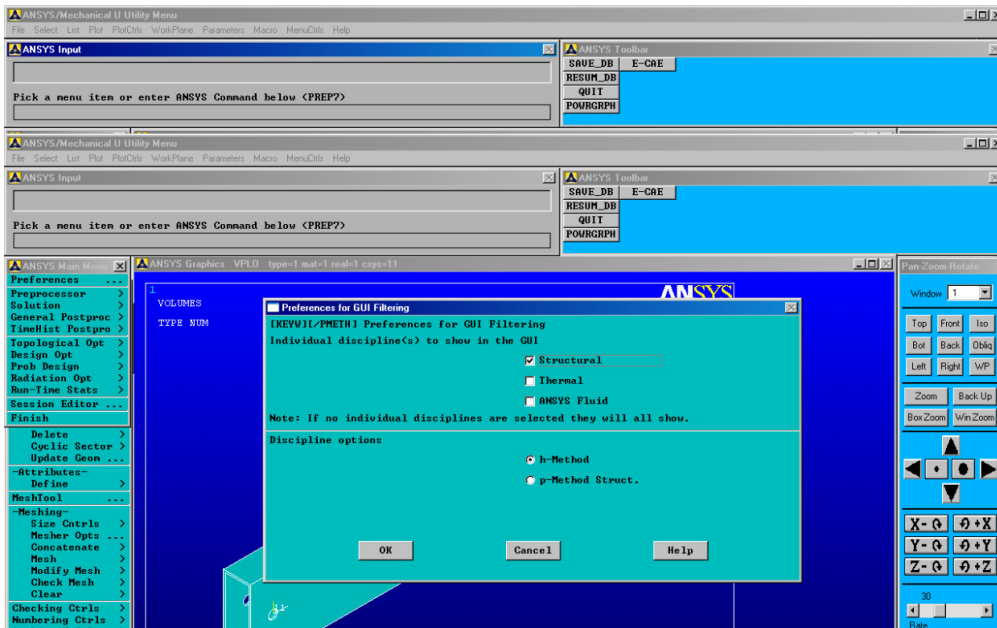


Figura 15. Selección de disciplina individual en GUI ANSYS

- Se define el tipo de elementos a utilizar

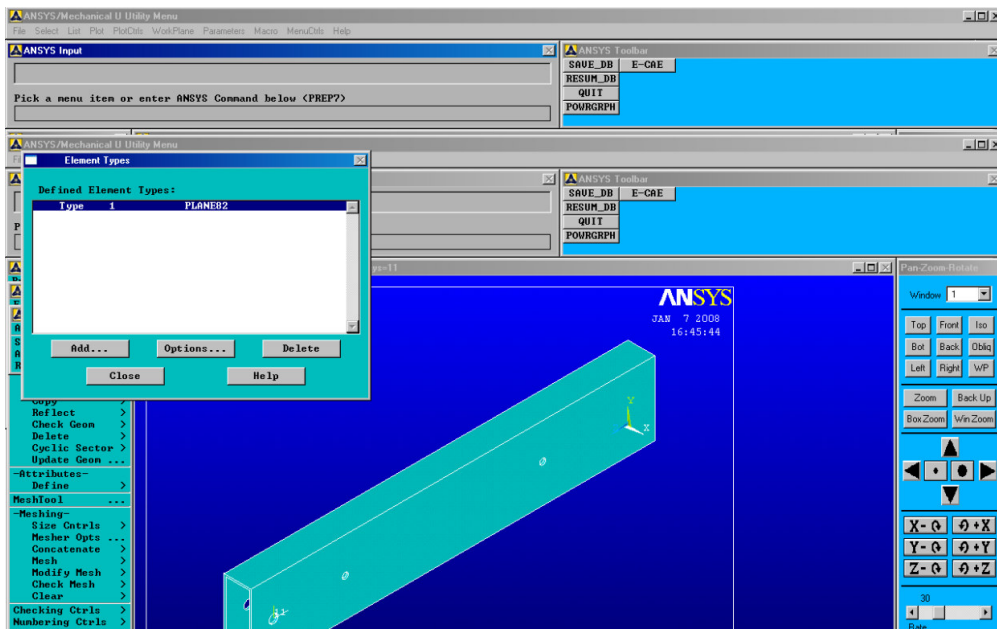


Figura 16. Selección de elemento para enmallado Solid92

Se selecciona el elemento SOLID 92 que ofrece buenas características en el análisis estructural de sólidos.

- Se define el tipo de material en base a sus características

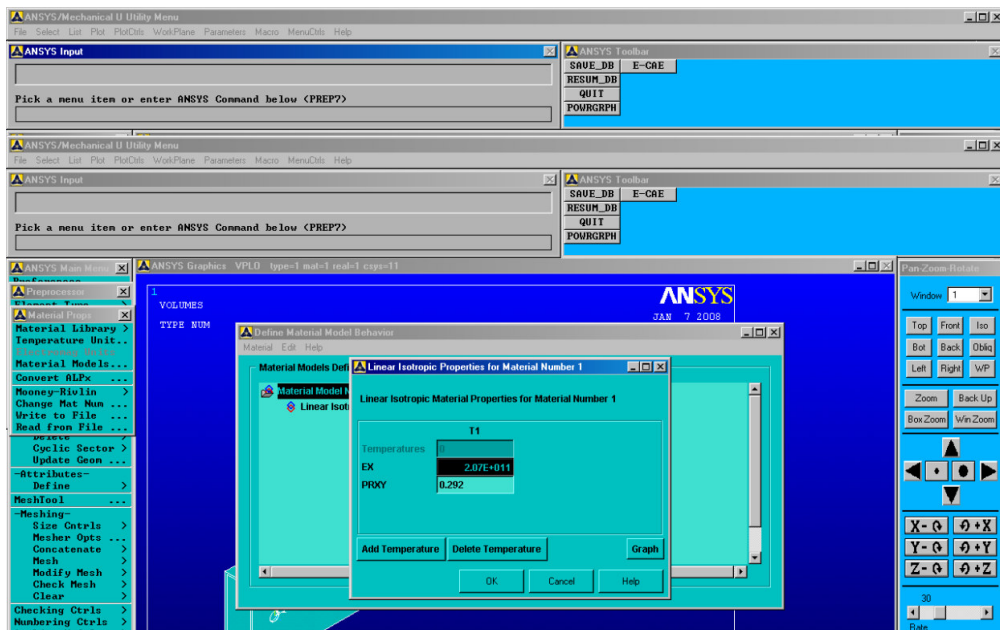


Figura 17. Inclusión de propiedades del material a modelar

Para el acero $E_x = 2.07E + 11$ y $PRXY = 0.292$ ambas en el sistema métrico SI

- Se genera la malla (modelado con elementos finitos)

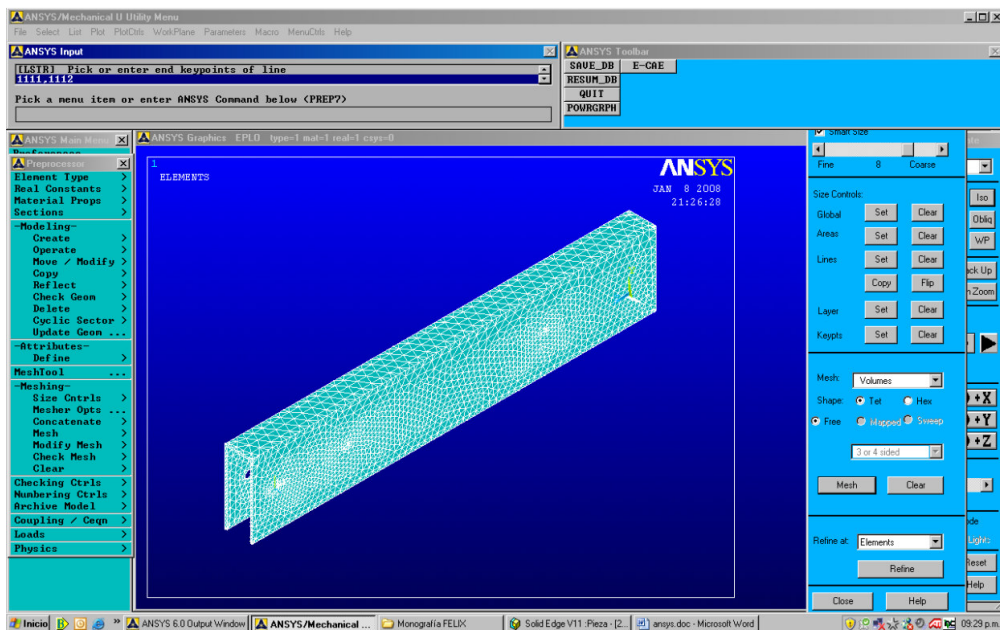


Figura 18. Generación automática de la malla usando Meshtool

- Se define el tipo de análisis a realizar

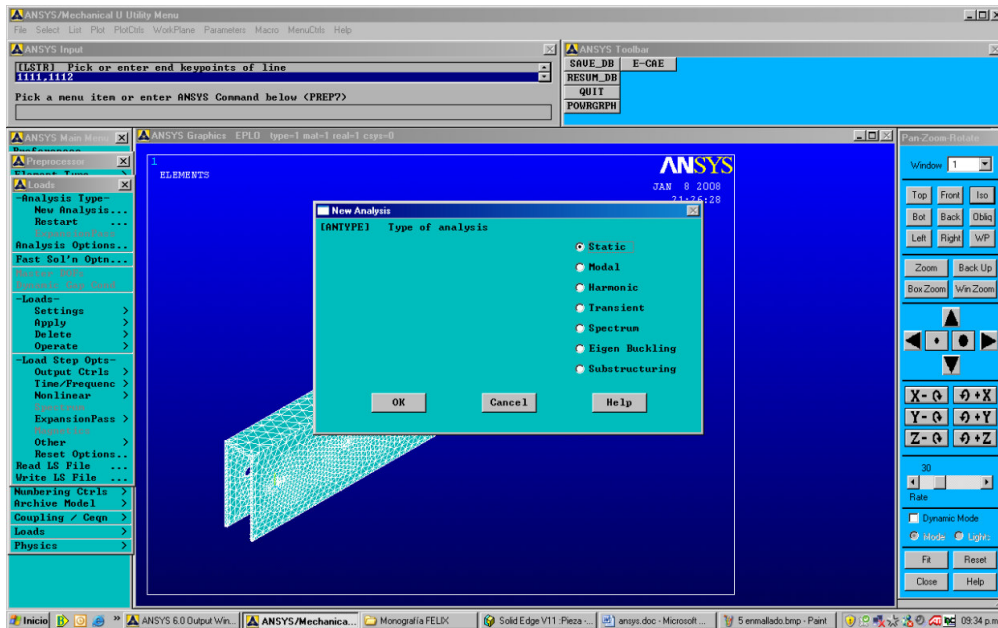


Figura 19. Selección del tipo de análisis

Se selecciona “estático” ya que las cargas son de poca variación en el tiempo y no se presentan cargas de choque o explosivas

- Se aplica cargas de desplazamiento (restricciones), fuerzas y presiones

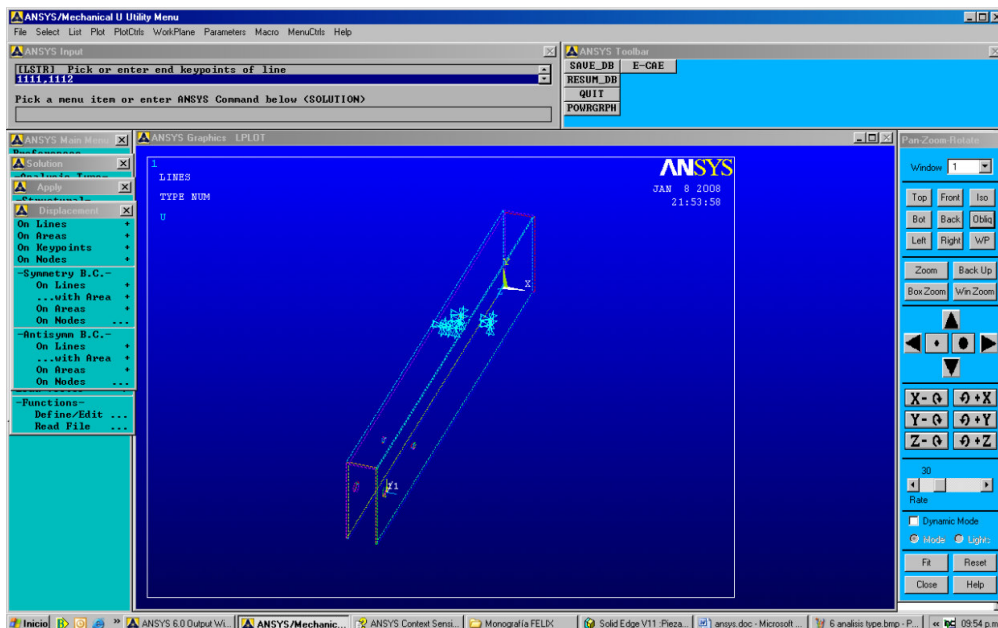


Figura 20. Aplicación de cargas

- Se aplica solución para el sistema de cargas actual

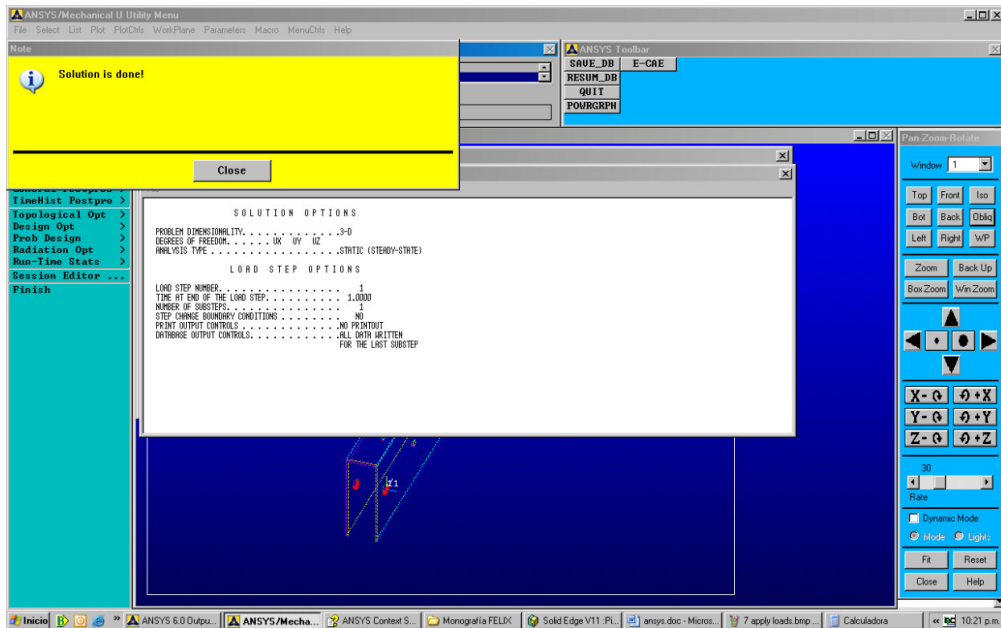


Figura 21. Cálculo de solución

- Se grafica los resultados (fuerzas, deformación, esfuerzos)

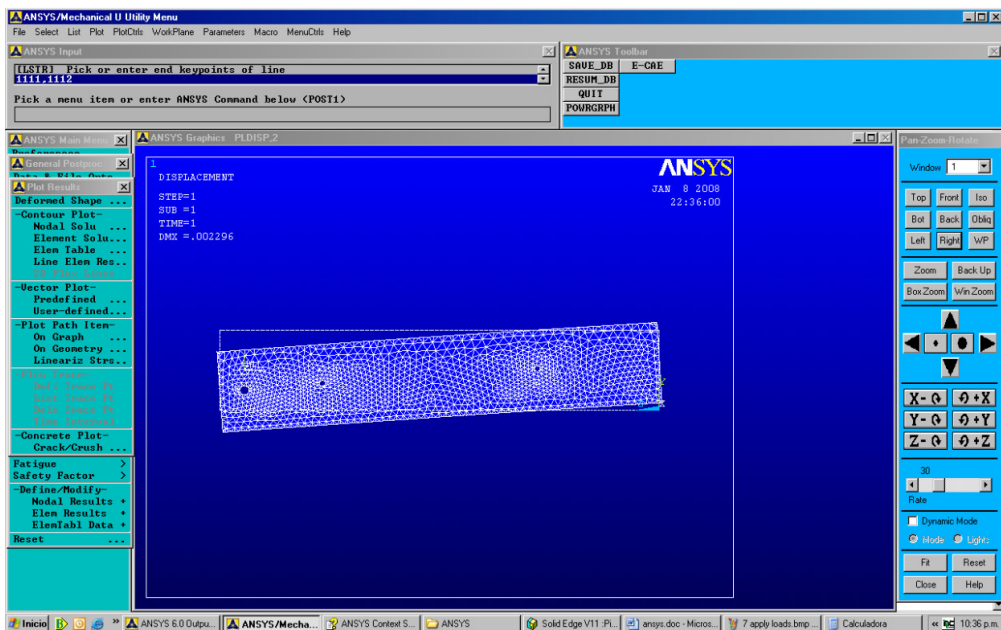


Figura 22. Deformaciones de elementos bajo cargas

En base al procedimiento antes propuesto se analiza el tercer elemento, por ser el más exigido. Se aplican restricciones de movimiento (DOF=0) en el punto a y b y las cargas calculadas por análisis de cuerpo libre en los “nodos” de las perforaciones en el punto C y D, generados en la construcción del modelo computacional. De antemano conocemos que ha de presentarse un sobreesfuerzo por concentración de cargas en los puntos antes mencionados sin embargo nos interesa en mayor medida conocer los esfuerzos en la zona con momento flector máximo; además el aplastamiento en el área con sobrecargas es descartado según los cálculos de la pagina 45.

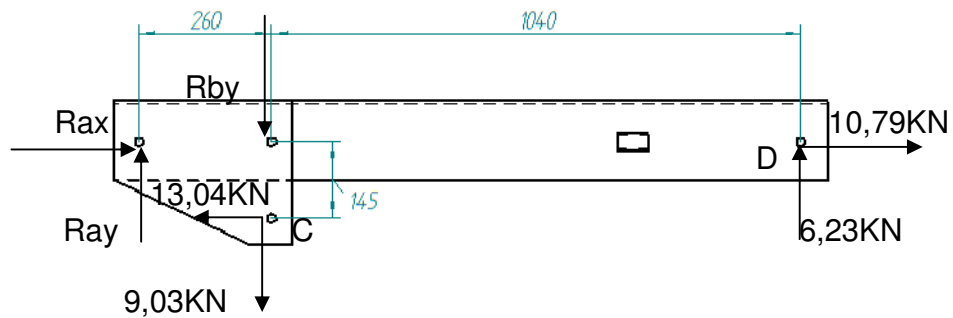


Figura 9 (bis). Análisis de cuerpo libre brazo vertical elemento 3

Después de aplicar la solución para las cargas arriba mencionadas se grafican los resultados:

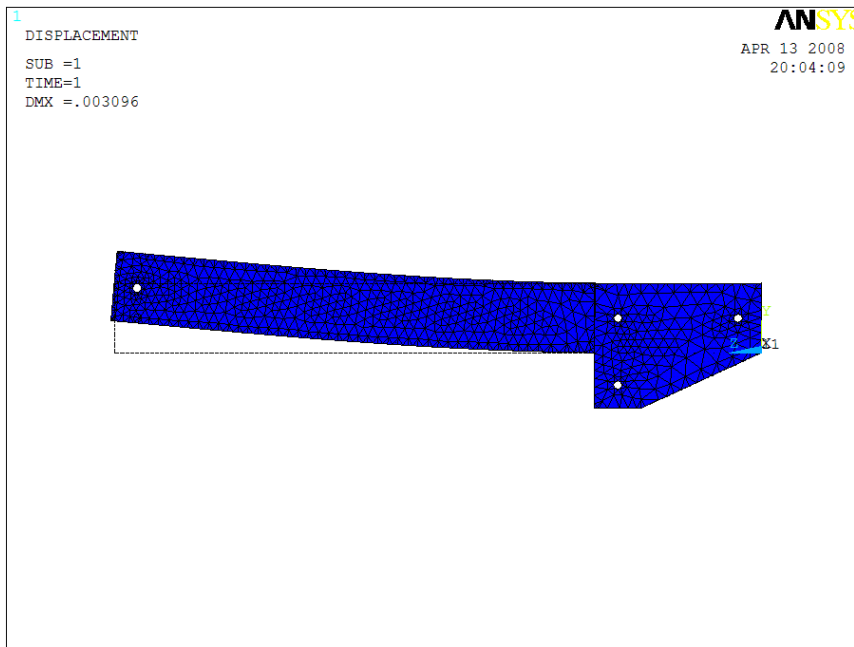


Figura 23. Deformaciones tercer elemento

Según los resultados en el extremo del elemento se presenta una deformación en el eje Y de 3 mm.

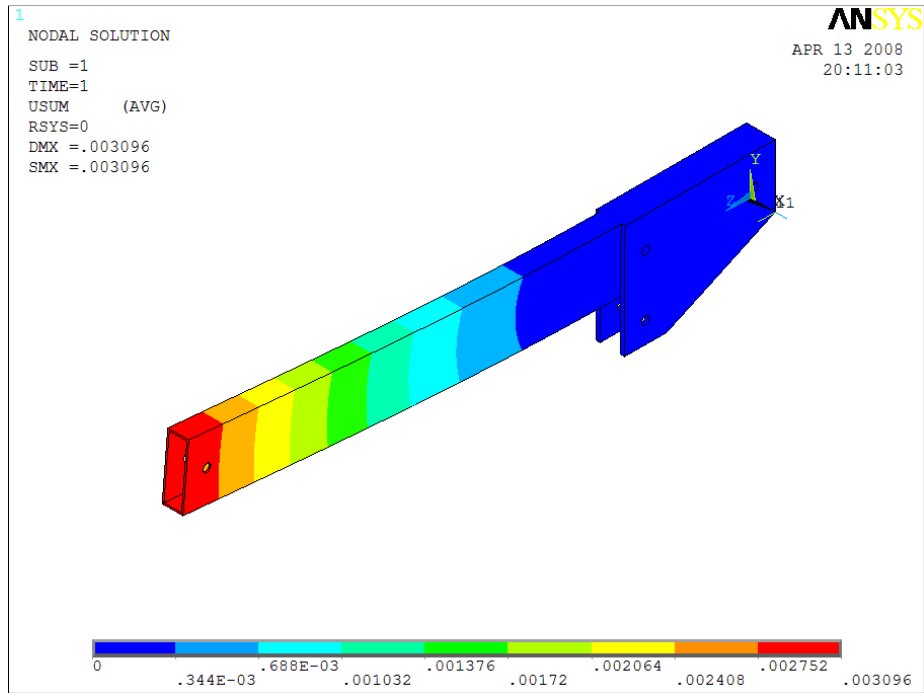


Figura 24. Distribución del desplazamiento total

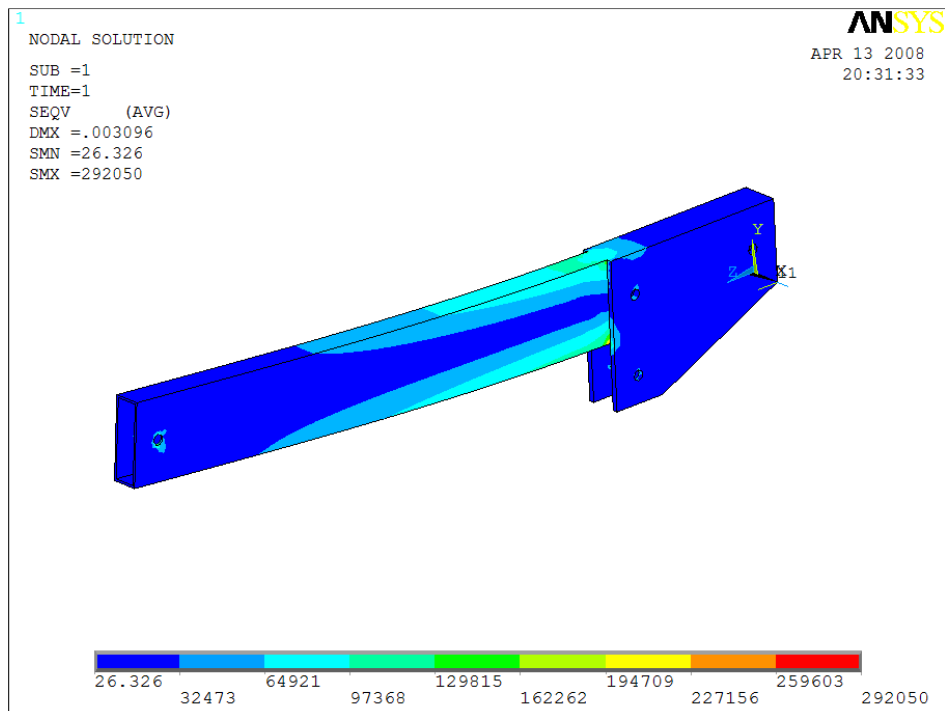


Figura 25. Concentración y magnitud de los esfuerzos equivalentes de Von Mises

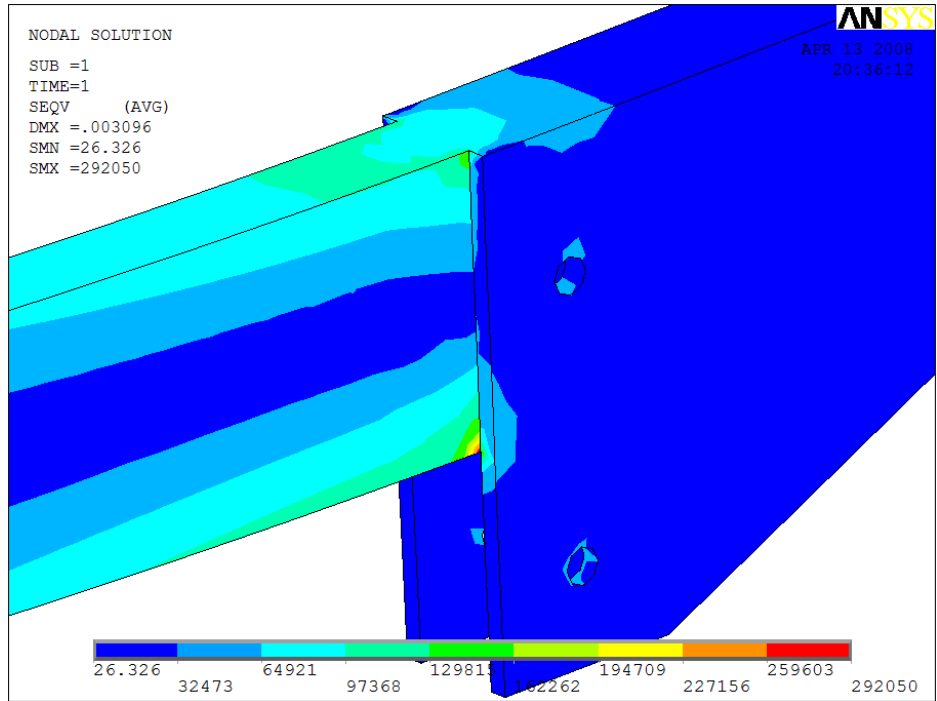


Figura 25 b. Concentración y magnitud de los esfuerzos equivalentes de Von Mises

En esta figura se observa que la mayor concentración de esfuerzos se localiza en la zona en las caras próximas a las platinas de soporte del elemento, y tal como se esperaba existe altos esfuerzos alrededor del agujero para pasador en el extremo del elemento.

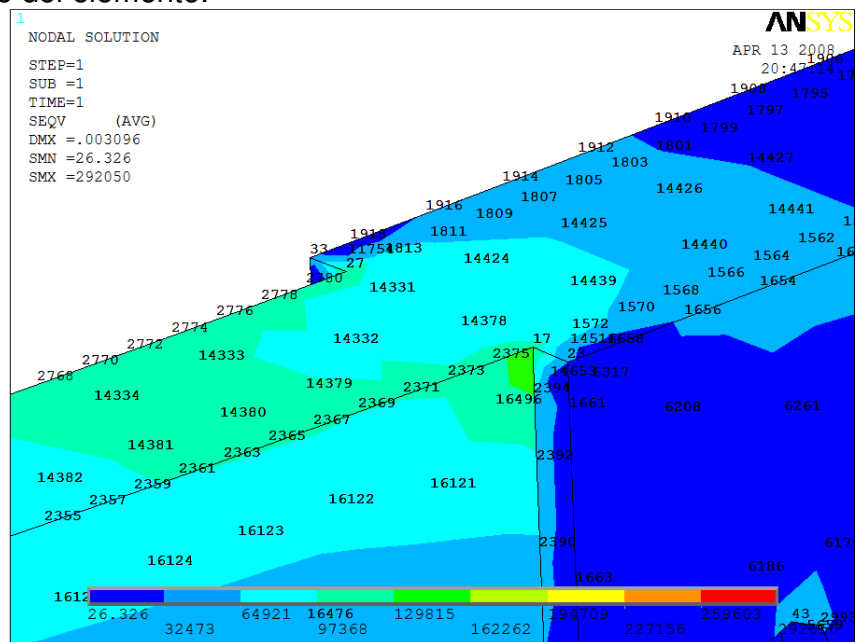


Figura 26. Solución nodal de esfuerzos

Con base en el listado de resultado en los nodos de la zona presentada se maneja esfuerzos de 110MPa (nodo # 16496 SEQV=109,9MPa) consecuente con los cálculos por resistencia de materiales en la pagina 43.

3.3.3 Selección de elementos

En base al tipo de cargas (axial y de momentos) y usando la tabla de selección de SKF™ se usará un rodamiento de dos hileras de bolas con contacto angular, ya que soporta satisfactoriamente esta condición.

Tipos de rodamientos - diseño y características

La matriz no ofrece más que una orientación aproximada de modo que cada caso requiere una selección más calificada según la información dada en las páginas anteriores o la información más detallada de los textos que preceden a cada sección de tablas.

Diseño

- 1 Agujero cónico
- 2 Placas de protección u obturación
- 3 Autoalineable
- 4 No desmontable
- 5 Desmontable

Características
Rodamiento adecuado para

- 6 Carga puramente radial
- 7 Carga puramente axial
- 8 Carga combinada
- 9 Momentos
- 10 Alta velocidad
- 11 Alta precisión de funcionamiento
- 12 Alta rigidez
- 13 Funcionamiento silencioso
- 14 Baja fricción
- 15 Compensación por desalineación en funcionamiento

Símbolos

+++ excelente - pobre
 ++ bueno -- inadecuado
 + aceptable ← simple efecto
 ↔ doble efecto

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Rodamientos rígidos de bolas						+	↔	+	-	+++	+++	+	+++	+++	
Rodamientos de bolas con contacto angular						+	+	++	-	++	+++	+	++	++	
						++	↔	++	+	+	++	++	+	+	
						-	++	+	+	++	+	+	+	+	

Figura 27 Tabla selección de rodamientos SKF™

Fuente: <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/image/ViewerJs.jsp?image=bearingselection.jpg>



Figura 28. Rodamiento de dos hileras de bolas con contacto angular SKF™
 Fuente: <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/image/ViewerJs.jsp?image=0400f0>

Debido a las condiciones de la aplicación:

- Velocidades de giro bajas ($n < 10$ rpm),
- Movimientos oscilantes lentos,

– Permanencia estacionaria bajo carga durante largos períodos de tiempo.

Se usará la capacidad de carga estática requerida C_o como parámetro de selección del rodamiento a usar

$C_o = S_o \times P_o$, donde

C_o = capacidad de carga estática, kN

P_o = carga estática equivalente, kN

S_o = factor de seguridad estática

Tabla 10: Valores orientativos para el factor de seguridad estática s_0

Tipo de funcionamiento	Rodamientos giratorios						Rodamientos estacionarios	
	Requisitos relativos al funcionamiento sin importancia		funcionamiento silencioso normales		alto		Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Suave, sin vibración	0,5	1	1	1,5	2	3	0,4	0,8
Normal	0,5	1	1	1,5	2	3,5	0,5	1
Cargas de choque notables ¹⁾	$\geq 1,5$	$\geq 2,5$	$\geq 1,5$	≥ 3	≥ 2	≥ 4	≥ 1	≥ 2

Para los rodamientos axiales de rodillos a rótula se recomienda utilizar $s_0 \geq 4$, para los rodamientos de rodillos cónicos sin jaula (rodamientos de tornillos) $s_0 \geq 2,5$, y para los rodamientos de rodillos cónicos y cilíndricos con jaulas de acero con pasadores $s_0 \geq 2$

1) Cuando no se conoce la magnitud de la carga de choque, deberán utilizarse valores de s_0 por lo menos iguales a los mencionados más arriba. Si la magnitud de las cargas de choque se conoce con exactitud, se pueden aplicar valores de s_0 menores

Figura 29. Valores recomendados para el factor de seguridad estático S_o SKF™

Fuente: <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/image/ViewerJs.jsp?image=bearingselection.jpg>

Sabiendo que $P_o = F_r + Y_o \times F_a$, donde para este tipo de rodamientos $Y_o=0,66$

$$P_o = 202,23 \text{ KN} + 0,66 \times 3,4 \text{ KN} \Rightarrow P_o = 204,5 \text{ KN}$$

$$C_o = 0,4 \times 225 \text{ KN} = 81,8 \text{ KN}$$

Se selecciona el rodamiento adecuado para la aplicación a partir de la información ofrecida por el fabricante

Rodamientos de bolas con contacto angular, de dos hileras



Dimensiones principales		Capacidades de carga			Carga límite de fatiga	Velocidades	Velocidad límite	Masa	Designación
d	D	B	C	C ₀	P _u	Velocidad de referencia			
mm		kN			kN	rpm		kg	-
50	90	30,2	51	39	1,66	-	4800	0,65	3210 A-2RS1/MT33 *
50	90	30,2	51	39	1,66	-	4800	0,65	3210 A-2RS1TN9/MT33 *
50	90	30,2	51	39	1,66	-	4800	0,65	5210 A-2RS1 *
50	90	30,2	53,9	58,5	2,5	-	4800	0,82	5210 E-2RS1
50	110	44,4	90	64	2,75	-	4300	1,95	3310 A-2RS1/MT33 *
50	110	44,4	90	64	2,75	-	4300	1,95	5310 A-2RS1 *
50	110	44,4	95,2	95	4,05	-	4300	2,00	5310 E-2RS1
55	100	33,3	60	47,5	2	-	4500	1,05	3211 A-2RS1/MT33 *
55	100	33,3	60	47,5	2	-	4500	1,05	5211 A-2RS1 *
55	100	33,3	66	76,5	3,2	-	4300	1,15	5211 E-2RS1
55	120	49,2	112	81,5	3,45	-	3800	2,55	3311 A-2RS1/MT33 *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	-	4000	1,40	3212 A-2RS1/MT33 *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	-	4000	1,40	3212 A-2RS1TN9/MT33 *
60	110	36,5	73,5	58,5	2,5	-	4000	1,40	5212 A-2RS1 *
60	110	36,5	78,1	88	3,75	-	4000	1,50	5212 E-2RS1
65	120	38,1	80,6	73,5	3,1	-	3600	1,75	3213 A-2RS1/MT33
65	120	38,1	80,6	73,5	3,1	-	3600	1,75	5213 A-2RS1
75	130	41,3	95,6	88	3,75	-	3200	2,10	5215 A-2RS1
80	140	44,4	106	95	3,9	-	3000	2,65	5216 A-2RS1

Figura 30. Selección tamaño de rodamientos según carga estática SKF™

Fuente: http://www.skf.com/skf/productcatalogue/jsp/viewers/productTableViewer.jsp?&lang=es&tableName=1_3_3&perfid=124006,124010,124021,125003,125006,125010,124003,&presentationType=3&startnum=3



Rodamientos de bolas con contacto angular, de dos hileras

Dimensiones principales	Capacidades de carga		Carga límite de fatiga P_u	Velocidades de referencia	Velocidad límite	Masa	Designación
	dinámica	estática					
c	B	C	C_o	rpm		kg	
D	44,4	96,2	96		4300	2,00	6310 E 2RS1
mm	110	kk	kk				
			4,05				

Factores de cálculo

- k_r 0,07
- e 0,8
- X 0,63
- Y_1 0,78
- Y_2 1,24
- Y_0 0,56

Figura 31. Característica del rodamiento seleccionado SKF™

Fuente: <http://www.skf.com/skf/productcatalogue/Forwarder?action=PPP&lang=e&s&imperial=false&windowName=null&prodid=124021310>

Para finalizar se debe seleccionar un gato hidráulico tipo botella con capacidad para soportar la reacción en el punto de unión equivalente a y extensión máxima mayor a 1350 mm.



Figura 32. Característica gato tipo botella

Fuente: catálogo METALWORKS 2006

3.4 Presupuesto de construcción

A continuación se presenta el presupuesto base para la construcción del equipo diseñado,

Tabla 6. Presupuesto construcción equipo diseñado					
Item	Cant	Unidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	1	Un	Gancho para diferencial 3TM	\$ 55.000	\$ 55.000
2	1	m	Varilla lisa 3/4" 4140	\$ 22.620	\$ 22.620
3	3	m	Perfil ASTM A 500 150X50X5	\$ 249.400	\$ 748.200
4	0,5	Un	Lámina 1020 3/8	\$ 350.088	\$ 175.044
5	0,5	Un	Lámina 1020 3/16	\$ 177.480	\$ 88.740
6	1	Un	Rodamiento 5310 E-2RS1	\$ 420.000	\$ 420.000
7	1	Un	Gato hidráulico botella 1550 mm	\$ 350.000	\$ 350.000
8	4	Kg	Soldadura 6010 1/8	\$ 6.493	\$ 25.972
9	2	Kg	Soldadura 7018 1/8	\$ 5.774	\$ 11.548
10	1	Glb	Pintura general	\$ 350.000	\$ 350.000
11	1	Glb	Materiales varios (tubo, soporte, clip)	\$ 80.000	\$ 80.000
12	1	Glb	Mano de obra soldadura	\$ 100.000	\$ 100.000
13	3,5	Hr	Mecanizado torno	\$ 37.000	\$ 129.500
14	1	Glb	Mecanizado taller (taladro, corte)	\$ 80.000	\$ 80.000
15	1	Glb	Transportes	\$ 60.000	\$ 60.000
				Total	\$ 2.696.624

3.5 Representación de ingeniería

A continuación se incluye la representación gráfica de todos los elementos calculados y/o seleccionados que conforman el dispositivo diseñado (ver plano anexo)

4. CONCLUSIONES

- Los métodos de diseño al igual que otras herramientas permiten estructurar el trabajo del diseñador focalizando los esfuerzos hacia la solución de una necesidad planteada.
- A pesar de existir un sin número de herramientas (métodos) disponibles, sigue siendo responsabilidad y decisión del diseñador la forma de abordar cada caso específico proponiendo estrategias que mezclen de manera particular estas ayudas y así conseguir una solución adecuada.
- Tener presente las necesidades del cliente durante toda la fase de diseño se convierte en la diferencia entre el éxito y el fracaso de un proyecto.
- El uso del análisis por elementos finitos valida el diseño y los resultados obtenidos con el uso de la teoría de resistencia de materiales. La comparación entre los esfuerzos obtenidos en el segmento más exigido (#3) tienen una similitud del 92%..
- En el análisis por elementos finitos la zona de aplicación de la carga se ve afectada por sobre-esfuerzos causado por la concentración de cargas. Esto es producto de la construcción misma del modelo y se considera irrelevante en la evaluación de resultados.
- El análisis de costos es consecuente con los requerimientos del cliente, ya que la fabricación del equipo se mantienen por debajo de los 3.000.000 de pesos.
- La robustez del equipo diseñado cumple con el requerimiento de cero mantenimiento, necesitando intervenciones para lubricación de piezas cada seis 6 meses aproximadamente.
- Por la fácil operación del equipo y la utilización de la infraestructura actual la operación de manejo de bombas de aguas residuales puede ejecutarse con dos personas, lo que redundará en un ahorro de recursos para la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S. P
- El equipo diseñado permite un ahorro aproximado del 50% en el tiempo de atención de emergencias ya que no es necesario armarlo o desarmarlo durante el servicio lo que aumenta la eficiencia del mismo

BIBLIOGRAFÍA

EDWARD SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. Quinta edición. Santafé de Bogotá. Mc Graw Hill. 1999.

BEER Ferdinand P. y RUSSELL JOHNSTON, Jr E. Mecánica de materials. Segunda edición. Santafé de Bogotá. Mc Graw Hill. 1999.

CROSS, Nigel. Métodos de diseño, estrategias para el diseño de productos. México. Limusa Wiley. 2005.

ANSYS 6.0 documentación

www.skf.com/skf/productcatalogue

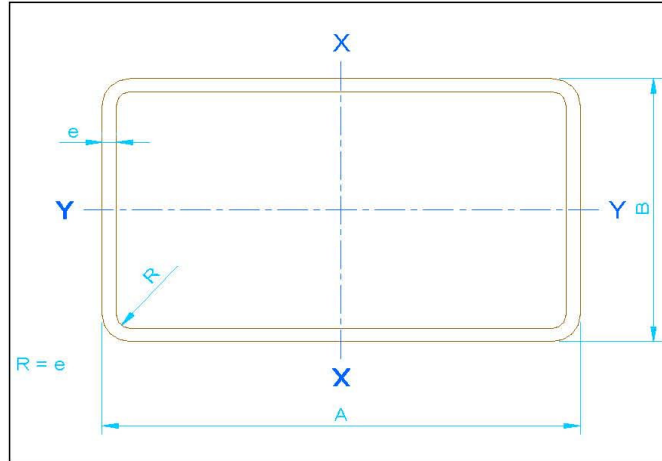
ANEXOS

Dimensionamiento de perfil rectangular norma ASTM A500

PERFIL RECTANGULAR

PARA USO ESTRUCTURAL
E INDUSTRIAL
NORMA ASTM A500

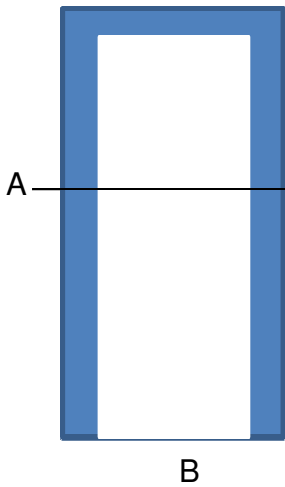
Características generales:
Largo Normal : 6 mts.
Otros Largos : Apedido



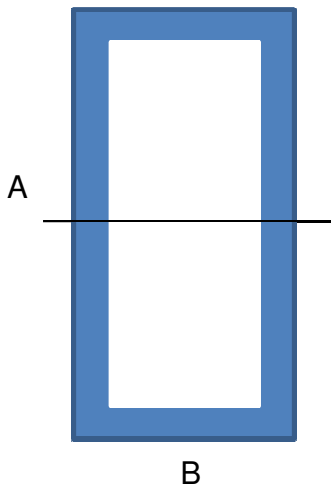
Dimensiones			Peso P kg/mt	Tiras / Paquetes
a	b	Espesor		
mm	mm	mm		
20	10	1,0	0,42	100
		1,2	0,50	100
		1,5	0,59	100
25	10	1,0	0,50	100
		1,5	0,80	100
		2,0	1,17	100
25	15	1,0	0,58	120
		1,5	0,83	120
30	10	1,0	0,58	100
		1,2	0,71	100
		1,5	0,83	100
28	18	2,0	1,17	100
		1,0	0,66	100
		1,5	1,00	100
		2,0	1,27	100
30	20	1,0	0,73	100
		1,2	0,91	100
		1,5	1,06	100
35	15	2,0	1,36	100
		1,0	0,73	100
		1,5	1,06	100
35	25	2,0	1,52	100
		1,0	0,89	100
		1,5	1,30	100
		2,0	1,68	100
38	18	1,0	0,80	100
		1,5	1,22	100
		2,0	1,56	100
40	20	1,0	0,89	100
		1,5	1,30	100
		2,0	1,68	100

Dimensiones			Peso P kg/mt	Tiras / Paquetes
a	b	Espesor		
mm	mm	mm		
40	30	1,0	1,05	80
		1,5	1,53	80
		2,0	1,99	80
50	20	1,5	1,53	100
		2,0	1,99	100
		3,0	3,3	80
50	30	1,0	1,2	100
		1,5	1,77	100
		2,0	2,31	100
		3,0	3,3	80
60	40	1,5	2,24	64
		2,0	2,93	64
		3,0	4,25	63
		4,0	5,45	42
70	30	1,5	2,24	70
		2,0	2,93	70
		3,0	4,25	63
80	40	1,5	2,67	72
		2,0	3,56	72
		3,0	5,19	48
		4,0	6,71	36
100	50	2,0	4,5	42
		3,0	6,6	42
		4,0	8,59	30
		5,0	10,48	24
150	50	2,0	6,07	24
		3,0	8,96	24
		4,0	11,73	20
		5,0	14,41	20

Calculo del momento de inercia Q perfil abierto por encima y por debajo del eje neutro



Cálculo centroides cortante						
Componente	A, mm ²	x, mm	y, mm	xA, mm ³	yA, mm ³	Q, mm ³
Sección debajo EN	746,471	31	46,654			34826,00
Sección encima EN	781,528	31	44,561			34826,00
Rectángulo externo	4382,8	31	35,3	135868,3	154914,2	
Rectángulo interno	3601,3	31	33,3	111640,9	120088,0	
Sumatoria	781,5	31	44,6	24227,4	34826,2	



Calculo del momento de inercia I perfil cerrado

Dimensiones con e: 4mm

A B
150mm 50mm

Componente	A, mm ²	x, mm	y, mm	x _A , mm ³	y _A , mm ³
Rectángulo externo	7500	25	75	187500	562500
Rectángulo interno (-)	5964	25	75	149100	447300
Sumatoria	1536			38400	115200

Cálculo del momento de inercia general respecto al centroide

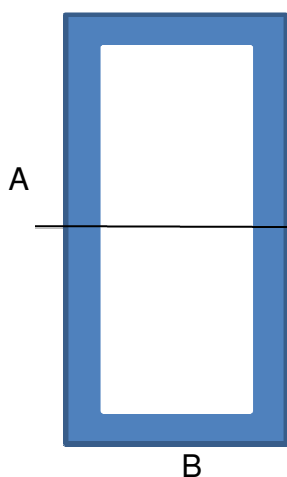
Momento centroidales independientes

$I_{x, rex}$ 14062500,0 mm⁴

$I_{x, rin}$ 10021508,0 mm⁴

Momento general

$I_{x'}$, mm⁴ 4040992,0 mm⁴ 4,041E-06 m⁴



Calculo momento de inercia Q perfil cerrado por encima y por debajo del eje neutro

Cálculo centroides cortante						
Componente	A, mm ²	x, mm	y, mm	x _A , mm ³	y _A , mm ³	Q, mm ³
Sección debajo EN	768	25	45,256			34764
Sección encima EN	768	25	45,265			34764
Rectángulo externo	3750	25	37,5	93750,0	140625,0	
Rectángulo interno	2982	25	35,5	74550,0	105861,0	
Sumatoria	768	25	45,3	19200,0	34764,0	

SOLID92[Prev](#)

Element Library

[Next](#)

Descripción del elemento usado en el enmallado del modelo **SOLID92** computacional

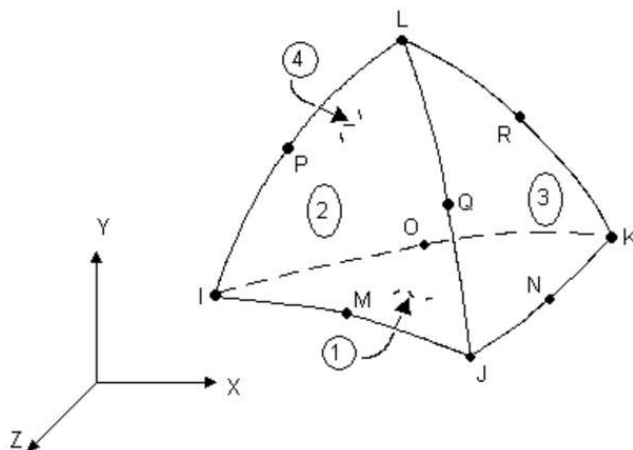
Name

SOLID92 — 3-D 10-Node Tetrahedral Structural Solid

product: MP ME ST PR PP ED**Element Description**

SOLID92 has a quadratic displacement behavior and is well suited to model irregular meshes (such as produced from various CAD/CAM systems). See [SOLID95](#) for a 20-node brick shaped element.

The element is defined by ten nodes having three degrees of freedom at each node: translations in the nodal x, y, and z directions. The element also has plasticity, creep, swelling, stress stiffening, large deflection, and large strain capabilities. See the *ANSYS, Inc. Theory Reference* for more details about this element.

SOLID92 3-D 10-Node Tetrahedral Structural Solid**Input Data**

The geometry, node locations, and the coordinate system for this element are shown in [SOLID92](#).

Beside the nodes, the element input data includes the orthotropic material properties. Orthotropic material directions correspond to the element coordinate directions. The element coordinate system orientation is as described in [Coordinate Systems](#).

Element loads are described in [Node and Element Loads](#). Pressures may be input as surface loads on the element faces as shown by the circled numbers on [SOLID92](#). Positive pressures act into the

element. Temperatures and fluences may be input as element body loads at the nodes. The node I temperature T(I) defaults to TUNIF. If all other temperatures are unspecified, they default to T(I). If all corner node temperatures are specified, each midside node temperature defaults to the average temperature of its adjacent corner nodes. For any other input temperature pattern, unspecified temperatures default to TUNIF. Similar defaults occurs for fluence except that zero is used instead of TUNIF.

KEYOPT(9) = 1 is used to read initial stress data from a user subroutine. For details about these user subroutines, see the *ANSYS Guide to User Programmable Features*.

You can include the effects of pressure load stiffness in a geometric nonlinear analysis using [SOLCONTROL](#),,INCP. Pressure load stiffness effects are included in linear eigenvalue buckling automatically. If an unsymmetric matrix is needed for pressure load stiffness effects, use [NROPT](#),UNSYM.

A summary of the element input is given in [Input Summary](#). A general description of element input is given in [Element Input](#).

SOLID92 Input Summary

Element Name

SOLID92

Nodes

I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R

Degrees of Freedom

UX, UY, UZ

Real Constants

None

Material Properties

EX, EY, EZ, ALPX, ALPY, ALPZ,
(PRXY, PRYZ, PRXZ or NUXY, NUYZ, NUXZ),
DENS, GXY, GYZ, GXZ, DAMP

Surface Loads

Pressures --

face 1 (J-I-K), face 2 (I-J-L), face 3 (J-K-L), face 4 (K-I-L)

Body Loads

Temperatures --

T(I), T(J), T(K), T(L), T(M), T(N),
T(O), T(P), T(Q), T(R)

Fluences --

FL(I), FL(J), FL(K), FL(L), FL(M), FL(N),
FL(O), FL(P), FL(Q), FL(R)

Special Features

Plasticity, Creep, Swelling, Stress stiffening, Large deflection, Large strain, Birth and death,
Adaptive descent

KEYOPT(5)

0 --

Basic element printout

1 --

Integration point printout

- 2 --
Nodal stress printout
- KEYOPT(6)
- 0 --
Basic element printout
- 4 --
Surface printout for faces with nonzero pressure
- KEYOPT(9)
- 0 --
No user subroutine to provide initial stress (default)
- 1 --
Read initial stress data from user subroutine USTRESS

Note

See the *ANSYS Guide to User Programmable Features* for user written subroutines

Output Data

The solution output associated with the element is in two forms:

- nodal displacements included in the overall nodal solution
- additional element output as shown in [Element Output Definitions](#)

Several items are illustrated in [Stress Output](#). The element stress directions are parallel to the element coordinate system. The surface stress outputs are in the surface coordinate system and are available for any face (KEYOPT(6)). The coordinate system for face JIK is shown in [Stress Output](#). The other surface coordinate systems follow similar orientations as indicated by the pressure face node description. Surface stress printout is valid only if the conditions described in [Element Solution](#) are met. A general description of solution output is given in [Solution Output](#). See the *ANSYS Basic Analysis Guide* for ways to view results.

SOLID92 Stress Output

