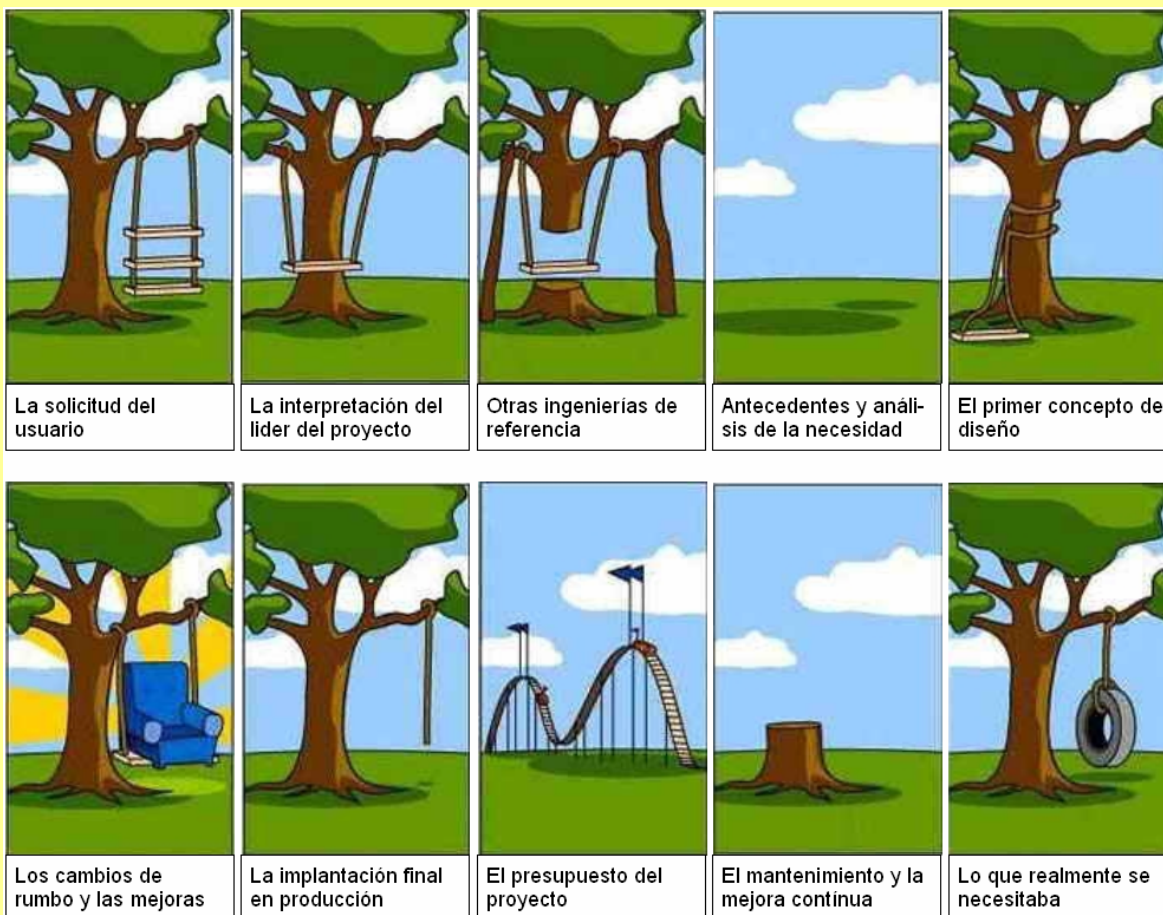




DISEÑO DE MAQUINAS

Lista de prioridades del diseñador



...cuando la solicitud no cubre la necesidad y el diseño las ignora a ambas!

CONTENIDOS

Lista de prioridades del diseñador de máquinas.....	2
Especificaciones de diseño.....	2
Cinemática y Dinámica.....	3
Construcción y Montaje.....	3
Estática.....	4
Impacto.....	6
Vibraciones.....	7
Fatiga.....	9
Desgaste.....	9
Corrosión.....	10
Envejecimiento.....	10
Fluencia lenta.....	10
Otros fenómenos.....	10
Mantenimiento.....	10
Anexos.....	11
Combinación de fenómenos y problemas en cascada.....	11
Resumen de ensayos relevantes estáticos-impacto-fatiga.....	11

Lista de prioridades del diseñador de máquinas

La siguiente lista refleja varios aspectos relacionados con el diseño de máquinas, ordenados según van apareciendo antes y durante la vida útil de aquellas. Son cuestiones de las que debe ocuparse el diseñador, aunque no en forma simultánea, manipulando las variables adecuadas para cada fenómeno. Por ello están catalogadas como de corto, medio y largo plazo, intentando atenderlas en el mismo orden en el que se presentan como eventuales problemas.

► ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	... (corto plazo) ...	... identificar la necesidad y efecto útil deseado
► CINEMÁTICA y DINÁMICA	... (corto plazo) ...	... movimiento y circulación de potencia
► CONSTRUCCIÓN y MONTAJE	... (corto plazo) ...	... geometrías logrables y armables
► ESTÁTICA	... (corto plazo) ...	... resistencia, rigidez y estabilidad
► IMPACTO	... (corto plazo) ...	... aplicación no cuasiestática de cargas
► VIBRACIONES	... (mediano plazo) ...	... sincronismo entre excitaciones y movimientos propios
► FATIGA	... (mediano plazo) ...	... acumulación de daño ante cargas cíclicas
► DESGASTE	... (mediano plazo) ...	... daño por fricción / lubricación
► CORROSIÓN	... (mediano plazo) ...	... reacciones químicas adversas
► ENVEJECIMIENTO	... (largo plazo) ...	... pérdida de las propiedades de los materiales
► FLUENCIA LENTA	... (largo plazo) ...	... deformación plástica en largos periodos de tiempo
► OTROS FENÓMENOS	... (largo plazo) ...	... efectos no solucionables por diseño
► MANTENIMIENTO	... (largo plazo) ...	... correctivo, preventivo y predictivo

Segundos
Minutos
Horas
Semanas
Meses
Años
Décadas

Esta lista puede pensarse como una serie de “pruebas a superar por el diseño” donde cada una induce al diseñador a tomar decisiones que, de ser posible, no deben afectar a parámetros ajustados previamente para pruebas ya superadas. Es decir, se intenta atender la problemática de esta lista en forma secuencial, sin deshacer cada paso previo, para lo cual es crucial identificar las variables que los controlan y sus eventuales interdependencias.

Especificaciones de diseño

Identificar la necesidad que motiva un proyecto es su primer y más crucial paso. Más aún cuando el usuario trae preconceptos sobre la solución y pide “**diseñar tal cosa...**” en lugar de “**resolver tal problema...**”. Los requerimientos, inicialmente cualitativos, deben traducirse a números (cuantificarse) para no caer en los típicos errores de proyectos en los que **... la solicitud no cubre la necesidad y el diseño las ignora a ambas.**

Ejemplo: un usuario solicita “diseñar una máquina con cuchillas motorizadas para cortar el pasto”. El diseñador debería identificar que la necesidad, cualitativamente hablando, es “**cortar el pasto de cierto terreno**” antes de pensar en máquinas u otros medios para lograrlo. Debe “**entender el problema**” y enunciar una solución bajo la forma de “**un efecto útil cuantificado**” (especificar el diseño). Para ello hay que preguntar: cuánto cortarlo; qué tan parejo; para qué fines; qué características tiene el pasto; qué tan grande e irregular es el terreno; cuán rápido necesito hacer la tarea; qué fuentes de energía y materiales disponibles o deseables hay a mano; etc.

En función de las respuestas se pueden “**evaluar alternativas conceptuales de solución**” cuyo espectro, grotescamente planteado, abarcaría desde... una o más vacas o chivos que coman el pasto; hombres con guadañas u otras herramienta de mano; un rociado químico que inhiba el crecimiento; un incendio controlado; una cortadora estándar de césped manual, motorizada o autopropulsada; hasta... un robot de corte láser ultrapreciso propulsado por energía solar y comandado automáticamente con GPS.

Mensaje: no apurarse a diseñar una máquina, sino a satisfacer una necesidad o resolver un problema concreto.

La asignatura **PROYECTO DE INGENIERIA MECANICA** de 5º año aborda esta problemática en detalle.

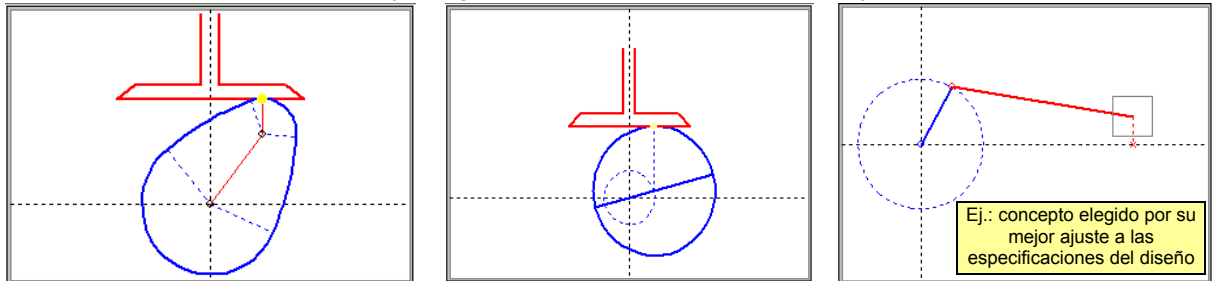


Cinemática y Dinámica

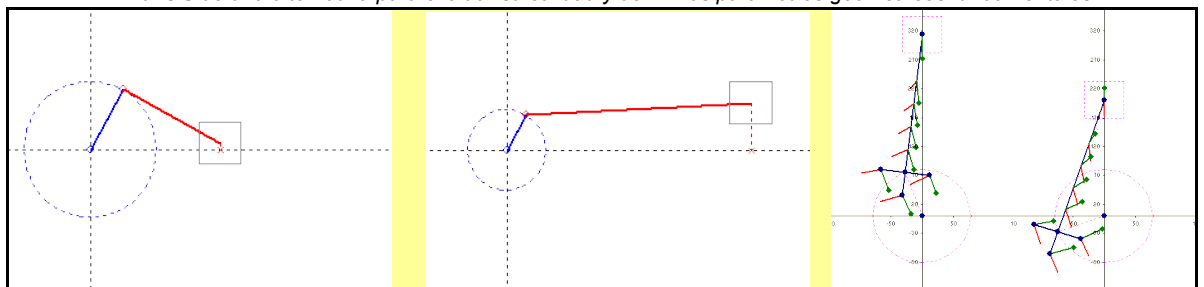
En diseño mecánico, luego del paso previo, casi siempre se requiere sintetizar (crear) algún tipo de máquina o mecanismo. En principio lo que se conoce es solamente su **“efecto útil cuantificado”** pero no el modo exacto de lograrlo. Muchas alternativas concretas, que aparentan lograr lo mismo, surgirán de la **“etapa de síntesis”**. Una subsiguiente **“etapa de análisis”** cuantificará la calidad de aquellas alternativas. Habitualmente el diseño implica **“ciclos de síntesis y análisis”** hasta obtener una solución depurada.

Los primeros ciclos de síntesis y análisis tienen que ver con el movimiento: trayectorias, velocidades y aceleraciones. De allí surgen **“parámetros generales macro geométricos”** que permiten obtener tal movimiento con abstracción de tamaños y propiedades relacionadas con la resistencia o la rigidez. Ejemplo: si el análisis determina que la mejor alternativa es un mecanismo de biela-manivela, la **“cinemática y dinámica”** proveerá el largo de la biela y su excentricidad, el radio de manivela y la velocidad de giro del árbol cigüeñal para lograr el correcto movimiento alternativo en el extremo de la biela. Pero no especificará la sección de la biela ni el modo de articularla con la manivela, ni el tamaño del árbol cigüeñal, su rugosidad o dureza superficial, ni otros parámetros de la macro o micro geometría que no sean relevantes para el movimiento del mecanismo.

Síntesis de alternativas para lograr un movimiento rectilíneo alternativo a partir de uno circular



Análisis de una alternativa para evaluar su calidad y definir los parámetros geométricos fundamentales



Un resultado importante de esta etapa es la **“circulación de potencia”** a través del mecanismo, que indica cómo se transforman las velocidades, aceleraciones y torques o fuerzas activas a medida que circulan por el mismo permitiendo alimentar subsiguientes etapas que hacen uso de esos datos para dimensionar sus diversas partes. Ej.: velocidades y torques en cada eje de un reductor de varias etapas.

Mensaje: lo primero que debe “saber hacer” un mecanismo es “moverse bien” sin importar su resistencia.

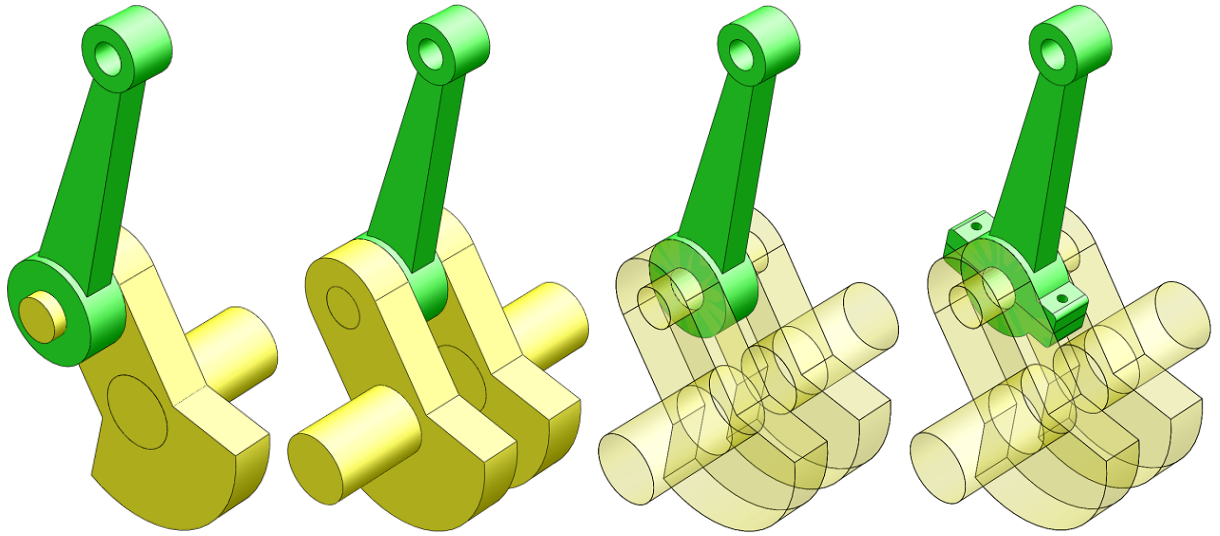
La asignatura **CINEMATICA Y DINAMICA** de 2º año aborda esta problemática en detalle.

Construcción y Montaje

Antes del dimensionamiento preciso y las verificaciones resistentes el diseñador debe imaginar tecnológicamente la factibilidad del mecanismo. Esto implica **“darle volumen”** y verificar que puede **“construirse y armarse”**. Esta práctica proveerá ciertas características a tener en cuenta para todos los pasos siguientes de cálculo, dimensionamiento y verificación.

Ej.: siguiendo con el caso anterior... si el concepto elegido fuera el de biela-manivela, habría diversas opciones tecnológicas para implementarlo y cada una tiene asociados ciertos detalles que modifican notablemente la forma de trabajo de sus componentes, y por tanto el modo en que deberán calcularse y dimensionarse.

Las siguientes figuras muestran “para el mismo concepto” dos opciones constructivas clásicas, válidas y extensamente usadas: el sistema en voladizo y el sistema bi-apoyado. Si el bi-apoyado se define con el cigüeñal construido en una sola pieza (opción muy común) deberá replantearse por cuestiones de montaje (aunque podría construirse) para que sea desarmable, por ejemplo haciendo la biela partida.



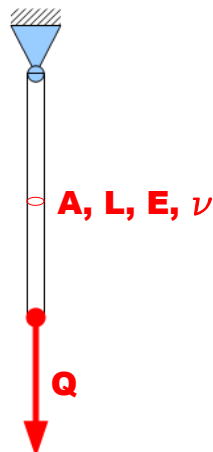
Lo importante aquí es notar que estas decisiones deben tomarse antes de la etapa de dimensionamiento, cálculos y verificaciones, ya que afectan notablemente el modo de trabajo de los componentes (flexión, corte, etc.) y, por tanto, los modelos de cálculo y casos aplicables... aunque se trate del mismo concepto cinemático.

Mensaje: si se mueve bien pero no se puede construir, o es construible pero no se puede armar... no sirve!.

Las asignaturas **DISEÑO INDUSTRIAL** de 3º año, **TRANSFORMACION DE MATERIALES** y **MAQUINAS HERRAMIENTAS Y TECNOLOGIAS DE FABRICACION** de 4º año abordan parte de esta problemática.

Estática

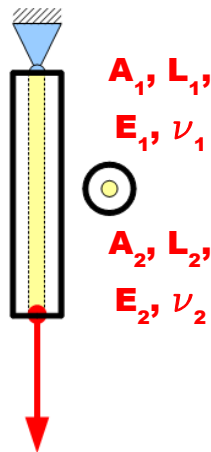
Es el primer paso para el dimensionamiento resistente de cualquier elemento de máquinas o estructuras. Se basa sobre un tipo de aplicación de la carga muy idealizado que llamamos “**carga cuasiestática**” y que pocas veces se da en casos reales (mecanismos hidráulicos muy lentos, por ejemplo). La idealización consiste en suponer que la carga se aplica “gramo a gramo” variando leve y controladamente el equilibrio de la pieza deformada. Sin embargo, los modelos de cálculo estático proveen información muy importante acerca de la “**resistencia, rigidez y estabilidad**” de las piezas y sus resultados sirven para etapas posteriores en las que se evalúa el comportamiento ante impacto, vibraciones, fatiga, etc. Cuatro casos particulares ponen en evidencia que la respuesta estática (tensiones, deformaciones y estabilidad) depende tanto del material como de la geometría: **ISOSTÁTICOS, HIPERESTÁTICOS, CONCENTRACIÓN DE TENSIONES y PANDEO**.



Tracción isostática de barras

La tensión que desarrolla esta barra depende de la carga Q aplicada y del área A de la sección recta de la misma, pero no de otros parámetros como su longitud o los módulos elásticos del material del cual está construida.

Sin embargo, tales parámetros adicionales resultan importantes para su deformación ya que, por ejemplo, experimentará un estiramiento $\Delta L = Q / (E \cdot A / L)$.



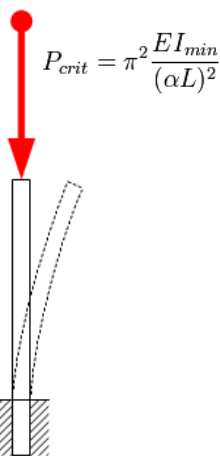
Tracción hiperestática de barras

La tensión que desarrolla cada barra (la interior de sección llena y la exterior en forma de caño) depende de la carga Q aplicada y de sus parámetros de rigidez: área de cada sección recta, longitud y módulo elástico. La carga Q se reparte entre ambas barras en función de sus rigideces relativas, cargando en mayor medida a aquella que posea mayor rigidez ($k = E \cdot A / L$).



Tracción con concentración de tensiones

Un cambio brusco de sección o incluso un simple empotramiento en una barra isostática a tracción genera concentración de tensiones elevando la misma, en ciertos puntos, muy por encima del valor promedio calculable como carga/área. Esto depende de la geometría pero también del material porque, aun en una barra "globalmente" isostática, puede haber zonas "localmente" hiperestáticas (donde no haya libertad para las deformaciones transversales) que desarrollen picos de tensión tanto mayores cuanto mayor sea el coeficiente de Poisson del material.



Compresión con riesgo de inestabilidad elástica

Las columnas y otras piezas a compresión tienen riesgo de inestabilidad elástica, en función de su proporciones geométricas y su rigidez, determinado por el momento de inercia, el módulo elástico del material, la longitud de la barra y las condiciones de vínculo. Esto implica que cierta carga Q será riesgosa aunque las tensiones de compresión que genere sean muy bajas, porque puede cambiar drásticamente la forma de equilibrio de la misma (y pasar de comprimirse a flexionarse).

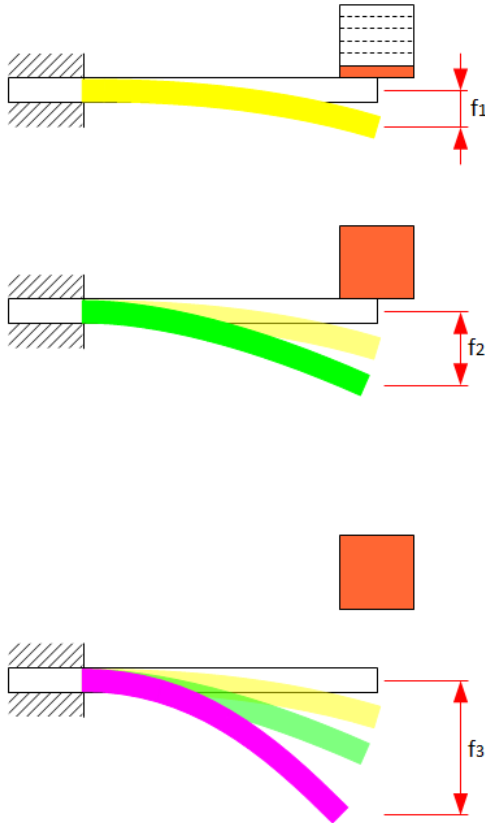
Si una pieza no cumple los "requerimientos estáticos" su falla será inmediata (**corto plazo**) y la solución a tales problemas, en general, pasará por retocar "parámetros macro geométricos" tales como áreas y momentos de las secciones planas; y también el "material y sus propiedades macroscópicas" tales como el módulo de Young, el coeficiente de Poisson y los límites: elástico, de proporcionalidad, de fluencia y de rotura.

Mensaje: los problemas estáticos se controlan con propiedades de secciones tales como áreas, momentos de inercia y resistentes (macro geometría) y propiedades de materiales tales como módulos elásticos o límites resistentes (propiedades macroscópicas) ... y si la estática no se verifica, el resto de la lista no tiene sentido!

La asignaturas **MECANICA DEL SOLIDO** de 2º año, **MECANICA APLICADA** y **ELEMENTOS DE MAQUINAS** de 3º año y **TEORIA DE LA ELASTICIDAD** de 5º año abordan esta problemática en detalle.

Impacto

Es otro fenómeno de “**corto plazo**” y refleja la aplicación real de las cargas, siempre acompañadas por cierta energía cinética y/o potencial. Sus modelos de cálculo suelen expresarse como factores de multiplicación (coeficientes de impacto) respecto de los resultados estáticos para la misma carga y son sorprendentes por las grandes multiplicaciones en los valores de la tensión y la deformación (duplican, como mínimo, los efectos estáticos y pueden llegar a varias decenas o cientos).

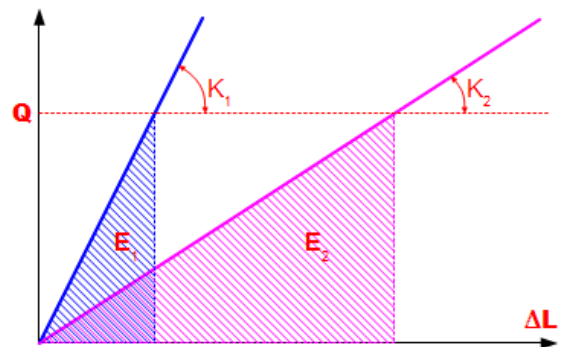
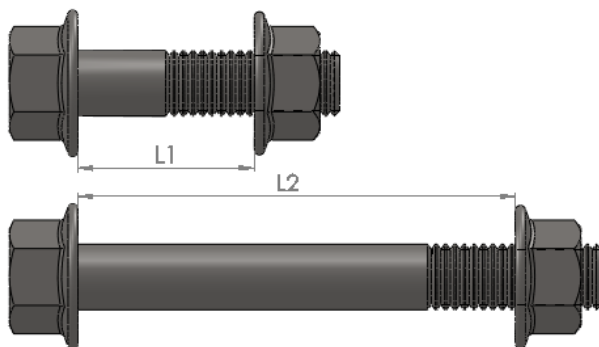


La aplicación cuasiestática de cargas (gramo a gramo) que muestra la primer figura genera las tensiones y deformaciones previstas por los modelos de la estática, que pueden considerarse una cota inferior teórica.

Cualquier aplicación de cargas más realista implica cierta energía potencial y/o cinética además de los kilogramos estáticos. En el más suave de los casos, cuando la carga es apoyada sin velocidad sobre la pieza y luego soltada, la misma tiene una altura de caída respecto de la posición de máxima deformación (la flecha dinámica, que es superior a la estática). Esto hace que las tensiones y deformaciones asociadas a tal caída, aparentemente leve, se dupliquen respecto de las previstas por los modelos estáticos.

Y más frecuente aún resulta la aplicación de la carga con cierta altura de caída (y/o velocidad como por ej. entre dientes de engranajes) lo cual genera un impacto cuyas tensiones y deformaciones pueden ser decenas o cientos de veces superiores a los efectos estáticos.

Si una pieza no cumple los “**requerimientos a impacto**” su falla será inmediata y la solución, en general, pasará por retocar “**parámetros macro geométricos distintos a los del control estático**”. Por ejemplo: si dos tornillos soportan una carga de tracción “**Q**” aplicada con impacto, tendrán igual resistencia estática si poseen igual área (la tensión estática será Q/A en ambos), pero distinta respuesta a impacto si tienen diferente longitud. El más largo tiene menor rigidez $K_2 = E \cdot A / L_2$ y gracias a ello almacena más energía de deformación (área bajo la curva fuerza-desplazamiento) que el más corto, de rigidez $K_1 = E \cdot A / L_1$, para la misma carga estática final “**Q**”.



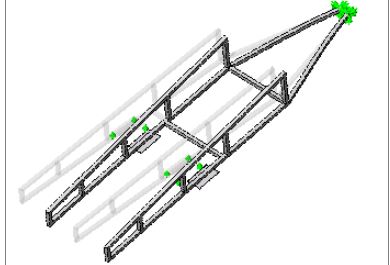
Mensaje: resistir el impacto implica absorber la energía que acompaña a las cargas y no se logra aumentando la “rigidez de la sección” sino reduciendo la “rigidez de la barra” sin cambiar su resistencia estática.

La asignatura **ELEMENTOS DE MAQUINAS** de 3º año aborda esta problemática en detalle.

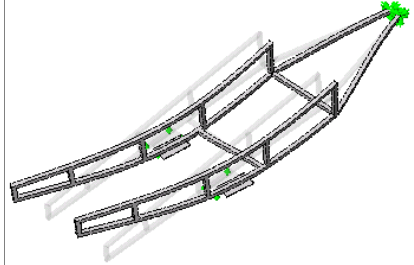
Vibraciones

Todas las piezas, según su geometría, materiales y vínculos, pueden deformarse de diversas formas (doblar, torcerse, estirarse, etc.) involucrando en cada una distintas rigideces (a flexión, torsión, tracción, etc.) y partes de su masa. Cada relación entre rigidez y masa involucradas determina una frecuencia natural de oscilación, como si se tratase de un sistema masa-resorte que es sacado de su posición de equilibrio y luego liberado.

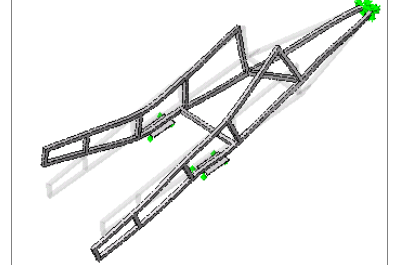
Mode Shape : 1 Value = 1.6141 Hz Deformation Scale 1 : 6.71428



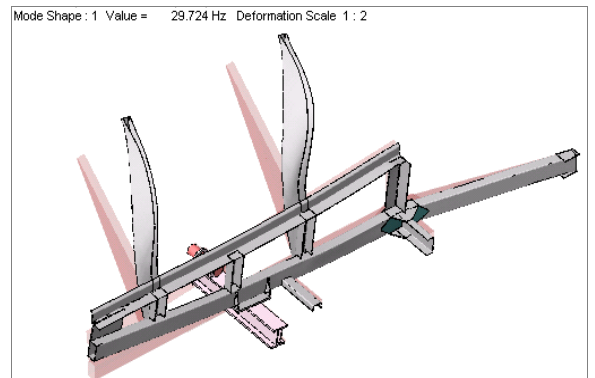
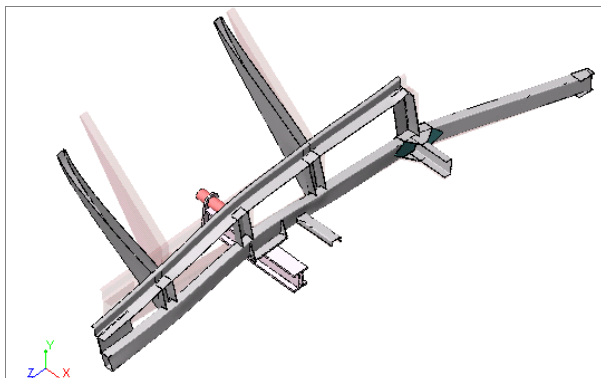
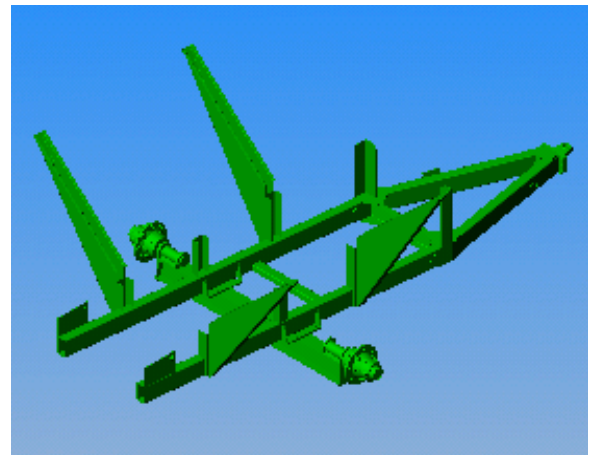
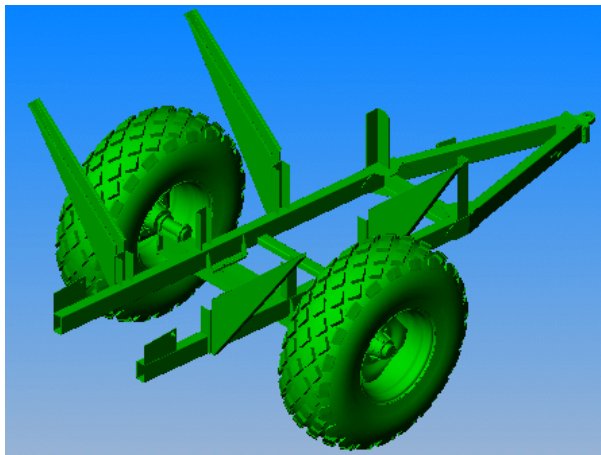
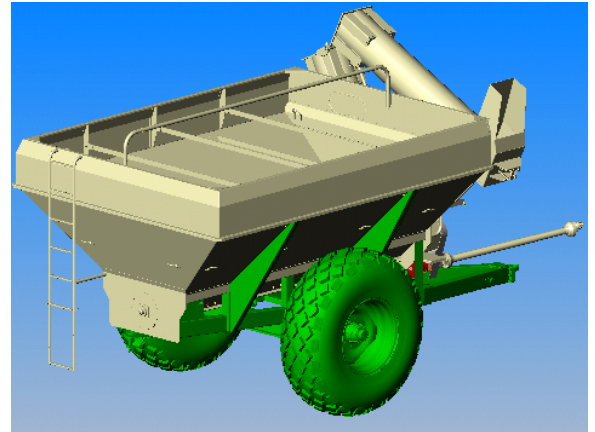
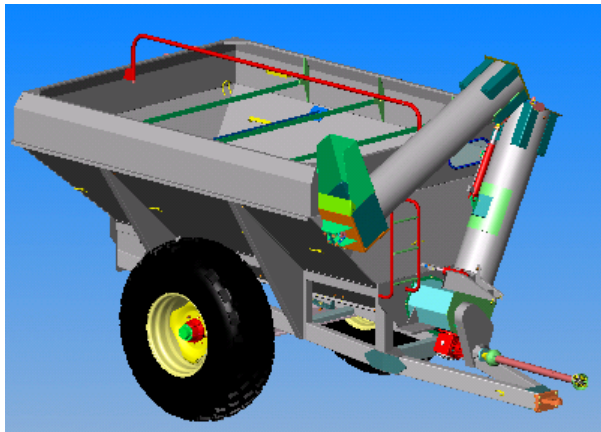
Mode Shape : 3 Value = 9.7693 Hz Deformation Scale 1 : 4.77455



Mode Shape : 5 Value = 19.479 Hz Deformation Scale 1 : 4.96534



A esto se refieren los términos “modos y frecuencias naturales de vibración” de la pieza, cuyo estudio es importante para evitar que las posibles perturbaciones externas se sincronicen con aquellas.



Es decir, cuando un estímulo externo coincide con algún modo y frecuencia a la que naturalmente se mueve la pieza, esta experimenta una “acumulación de energía” (acople-resonancia) que provoca deformaciones crecientes y su eventual rotura. Para ello la fuente externa no necesita ser poderosa, ya que la energía que aporta se va acumulando y, tarde o temprano, puede alcanzar valores peligrosos. Incluso podría no existir una fuente externa de energía, sino elementos que inducen vibración tales como la rugosidad del terreno por el cual transita determinado móvil, que genera distintas frecuencias de excitación a diferentes velocidades. También son inductores de vibración las “masas desbalanceadas” en cuerpos rotantes (ruedas, engranajes, rotores, etc.).



Por ejemplo: un motorreductor como el mostrado en las fotografías genera excitaciones a frecuencias que coinciden con la de la red eléctrica que lo alimenta (50 hz) y otras relacionadas con aquella y la cantidad de dientes de sus trenes de engranajes. Al respecto el diseñador debe asegurarse que la ménsula que lo soporta (y todo el resto de la estructura) no tenga frecuencias naturales de vibración cercanas a aquellas, ya que estaría en riesgo de resonancia. Esto no implica siempre riesgo de rotura pero es muy frecuente que se generen vibraciones y ruidos muy molestos, como cuando entra en resonancia el cubrecadenas de chapa fina mostrado. En tal caso la solución puede pasar simplemente por “agregarle vínculos” ya que para una misma geometría los modos y frecuencias naturales de vibración cambian notablemente en función de la soportación de la pieza. En otros casos más complejos se puede recurrir a rigidizaciones y/o modificaciones de masa, ya que tales modos y frecuencias son directamente dependientes del cociente de aquellas magnitudes. Por último, cuando por limitaciones de diseño no es posible controlar el problema modificando la rigidez, masa o vinculaciones (por alterar la respuesta estática+impacto por ejemplo), queda como último recurso la “amortiguación de vibraciones” a través de diversos elementos con propiedades visco-elásticas que absorben energía en cada movimiento y limitan la respuesta vibratoria (tal como sucede con la suspensión de un automóvil, controlada por resortes y amortiguadores, o los tacos antivibratorios para montaje de motores, máquinas, cañerías y estructuras).



Mensaje: la resonancia es un “método óptimo para aportar energía” gradualmente, y por ende peligroso, cuya frecuencia se controla con la rigidez y la masa asociadas al movimiento (modo de deformación) en cuestión.

La asignatura **ELEMENTOS DE MAQUINAS** de 3º año aborda esta problemática en detalle.

Fatiga

Es el más temido de los fenómenos a mediano o largo plazo en la vida de una pieza, quizás porque se gesta en “buenas condiciones” desde el punto de vista estático (niveles tensionales incluso muy bajos) y no presenta indicios evidentes hasta que ya es demasiado tarde. Es un mecanismo de acumulación de daño que empieza con microfisuras imperceptibles (en ciertas zonas y en presencia de cargas cíclicas) que van creciendo hasta un tamaño macroscópico que debilita la sección por debajo de los requisitos estáticos o de impacto. El principal elemento distintivo es la variación cíclica de las cargas en el tiempo, siendo significativos: la asimetría del ciclo, su valor medio y su amplitud.

