

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2016 / 2017

PROYECTO DE DISEÑO Y CÁLCULO DEL BRAZO ARTICULADO DE UNA PALA EXCAVADORA

RESUMEN

DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO

NOMBRE: ASIER
APELLIDOS: LÓPEZ GUINEA

Fdo.:
FECHA: 01/09/2017

DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA

NOMBRE: ITZIAR
APELLIDOS: MARTIJA LÓPEZ
DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

Fdo.:
FECHA: 01/09/2017

Índice

1. Objeto.....	2
2. Requisitos de diseño	2
3. Descripción del desarrollo del proyecto	3
4. Solución final adoptada.....	6
4.1. Composición del mecanismo adoptado.....	6
4.1.1. Elementos principales	6
4.1.2. Actuadores hidráulicos.....	8
4.1.3. Elementos de unión de las articulaciones.....	9
4.2. Funcionamiento del mecanismo adoptado	10
5. Conclusiones	11

1. Objeto

El objeto del presente proyecto es el de diseñar un brazo articulado para una excavadora hidráulica que sea capaz de arrancar y cargar el material en un tipo de terreno determinado.

Se trata de proporcionar una solución, que cumpla los requisitos y restricciones establecidas previamente por una empresa dedicada a realizar operaciones de soterramiento. También se identifican las fases que intervienen en el diseño de un mecanismo y se resuelven los problemas que se van planteando, poniendo en práctica los conocimientos de índole mecánica adquiridos durante los estudios.

2. Requisitos de diseño

La empresa encargada de realizar las operaciones de soterramiento, ha impuesto una serie de requisitos de alcance y posicionamiento de elementos. Dichos requisitos han servido como datos de partida para comenzar el proyecto:

- Se va a reutilizar el tren de rodaje y la superestructura de otra retroexcavadora ya disponible, con el fin de abaratar los costes. Por lo que el soporte donde se fijará el brazo articulado estará situado a una cota de 1,2 m respecto al suelo.
- El mayor alcance de excavación al que deberá llegar la cuchara a nivel del suelo será de 10 m.
- La cuchara tendrá que alcanzar una profundidad máxima de 6,3 m bajo el nivel del suelo.
- La altura de los camiones de transporte que se utilizarán es de 3 m. Por lo que la máxima altura de carga en cuchara deberá ser como mínimo de 4 m. De esta manera, se asegura que a la hora de realizar la descarga del material no se produzcan posibles colisiones entre la cuchara y el contenedor del camión.
- El ángulo máximo que se puede formar entre la pluma y el brazo no deberá sobrepasar los 160°.
- La oscilación de la pluma no superará los 95°.
- La cuchara deberá tener una capacidad mínima de llenado de 0,5 m³.

Otros datos facilitados por la empresa son:

- El terreno dónde se va a realizar la excavación es tierra (arcilla) compactada con una densidad de $2.000 \frac{kg}{m^3}$.
- La velocidad lineal máxima de los actuadores hidráulicos no debe superar los 0,24 m/s.

3. Descripción del desarrollo del proyecto

Para el desarrollo del proyecto se han realizado una serie de estudios con sus respectivas iteraciones hasta lograr un equilibrio entre todos los elementos a estudio.

Partiendo de la función objetivo a cumplir por el diseño, el primer paso consiste en elegir el tipo de brazo articulado (brazo retroexcavador) más adecuado a las necesidades planteadas mediante un proceso de síntesis estructural. De esta forma se obtiene el tipo y número de elementos y pares a utilizar, así como su secuencia de unión (diagrama estructural).

A continuación, a partir de las especificaciones de alcance y posicionamiento dadas por la empresa encargada de realizar las operaciones de soterramiento, se obtienen las dimensiones principales del mecanismo, es decir, las longitudes, las posiciones y los ángulos formados entre los diferentes elementos.

Una vez obtenidas las dimensiones principales, se aplica cinemática inversa, para obtener la trayectoria de las posiciones a estudio y a continuación se realiza el análisis cinemático para los valores calculados para dichas posiciones.

Por tanto, es necesario hacer una estimación inicial de las secciones de los elementos, pudiendo tomar como referencia aquellas que en otros diseños similares hayan resultado adecuadas.

Con la distribución másica que implican estas dimensiones secundarias, y suministrando como dato el movimiento requerido para el mecanismo, así como todas las acciones resistentes a las que está sometido, se resuelve el problema dinámico (análisis dinámico). Este da como resultado las reacciones en los pares y las acciones motoras necesarias para que el sistema se mueva como previamente se ha especificado.

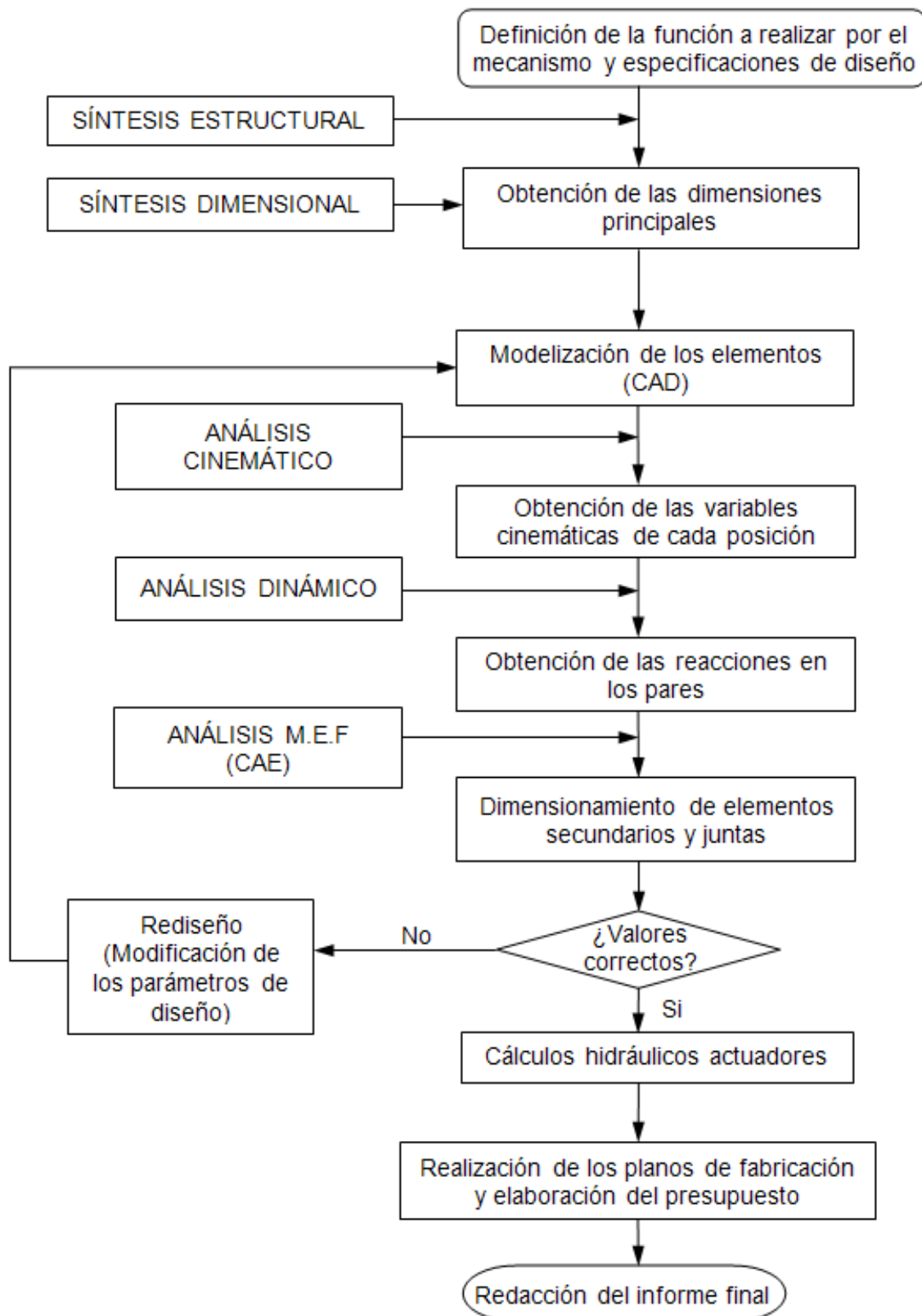
Si los esfuerzos en los elementos generan un fallo (estático) en cualquiera de los elementos de la máquina, se modifican las dimensiones y la geometría de las secciones en cuestión, y se realiza de nuevo un análisis cinetostático hasta que las dimensiones secundarias de los elementos sean tales que resistan las reacciones que aparecerán.

A partir de aquí, si la diferencia entre lo requerido y los resultados obtenidos son aceptables, puede darse como válido el diseño. En caso contrario habría que modificar las características inerciales de los elementos y proseguir con el ciclo del diseño.

Con el diseño de los elementos principales (Pluma, brazo, eslabones y cuchara) se procede al dimensionamiento de los elemento de unión bulones. Para ello se comprueba que estos, soporten los esfuerzos de cortadura máximos a los que van a estar sometidos.

Una vez comprobada la resistencia mecánica de todos los bulones diseñados y para finalizar el proyecto, se dimensionan y se calculan los caudales máximos que deberán tener los actuadores hidráulicos para poder lograr los movimientos deseados en las operaciones de soterramiento.

A continuación se presenta un diagrama de flujo en el cual se reflejan los pasos seguidos para realizar el diseño del brazo articulado, integrando la síntesis estructural y dimensional con el análisis cinemático, dinámico y mediante elementos finitos.



4. Solución final adoptada

4.1. Composición del mecanismo adoptado

El brazo articulado que se ha diseñado, está formado por los siguientes elementos o partes:

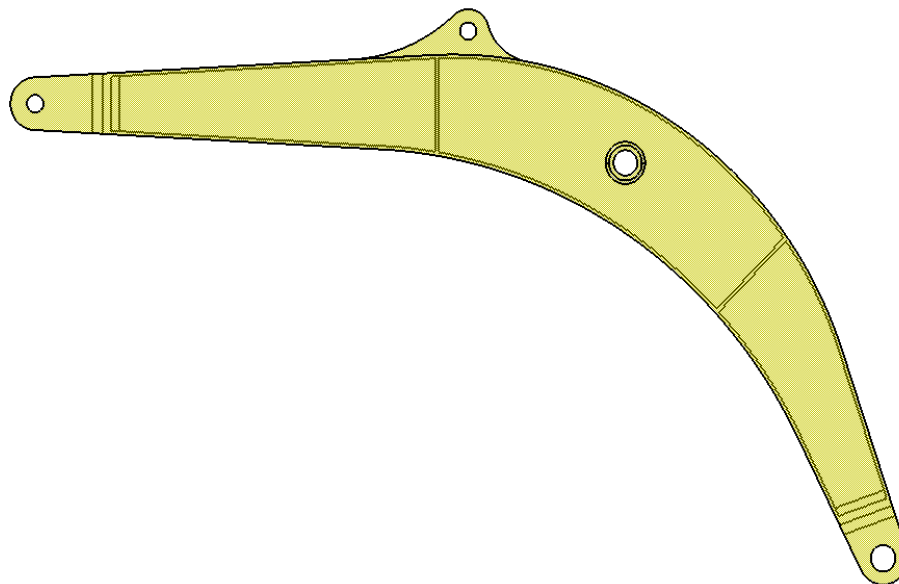
4.1.1. Elementos principales

➤ **Pluma:** Se encuentra articulado en la parte delantera de la superestructura y a la derecha de la cabina del operador.

Diseñada para tener excelente rendimiento y larga vida útil. Se trata de una gran estructura de sección en caja, soldada, fabricada con múltiples planchas gruesas en las áreas que están sujetas a muchos esfuerzos de tensión. Posee un par de placas deflectoras en su interior para reforzar y dar mayor rigidez a la estructura.

Material empleado: Acero S235 JR (F1110)

Masa: 2.094,4 kg

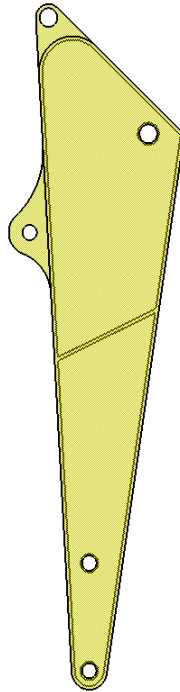


➤ **Brazo:** Es un elemento, también de sección variable, articulado en la punta de la pluma en uno de sus extremos y en el otro se articula la cuchara.

Fabricado con acero de alta resistencia a la tracción con diseño de sección en caja que lo hace más resistente y menos pesado. Esta reforzado con una placa deflectora en su interior para dar mayor rigidez a la estructura.

Material empleado: Acero S235 JR (F1110)

Masa: 1.124,42 kg

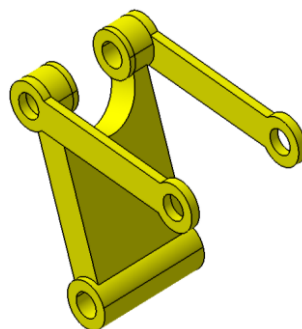


➤ **Varillaje de la cuchara:** Es un elemento compuesto de dos piezas (o eslabones articulados) que sirve para hacer girar la cuchara, con lo cual se logra el llenado o vaciado del mismo.

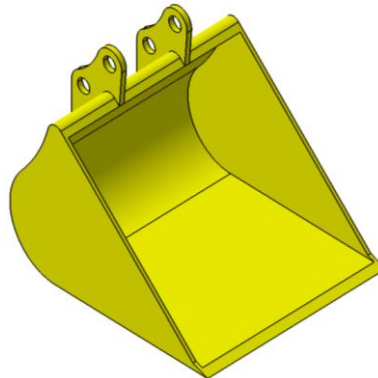
Material empleado: Acero S235 JR (F1110)

Masa eslabón 1 (x2): 16,46 kg

Masa eslabón 2: 172,65 kg



➤ **Cuchara:** Es el recipiente en el cual se deposita el material excavado. Diseñado para una capacidad de carga de $0,6 \text{ m}^3$.



4.1.2. Actuadores hidráulicos

Son los elementos encargados de transformar su fuente de energía (energía hidráulica) en movimiento.

➤ **Cilindros de elevación:** Son dos cilindros hidráulicos apoyados en el soporte del brazo articulado y que tienen conexión en el codo de la pluma. Su función es la de elevar o bajar la pluma. Sus principales características funcionales son:

- Presión nominal del cilindro (P) = 350 bar
- Diámetro del pistón (ϕ_p) = 200 mm
- Diámetro del vástago (ϕ_v) = 140 mm
- Fuerza máxima de avance = 989.601,7 N
- Caudal máximo de avance = 452,4 l/min
- Fuerza máxima de pandeo = 1.346.504,188 N

➤ **Cilindro del brazo:** Es un cilindro hidráulico apoyado en la pluma y conectado en el extremo anterior del brazo. Su función es la de controlar los movimientos del brazo. Sus principales características funcionales son:

- Presión nominal del cilindro (P) = 300 bar
- Diámetro del pistón (ϕ_p) = 200 mm
- Diámetro del vástago (ϕ_v) = 140 mm
- Fuerza máxima de retroceso = 76.340,7 N
- Caudal máximo de retroceso = 40,74 l/min

➤ **Cilindro de descarga (cilindro de la cuchara):** Es un cilindro hidráulico apoyado en el brazo y conectado en el vértice del varillaje de la cuchara. Su función es la de controlar los movimientos de la cuchara. Sus principales características funcionales son:

- Presión nominal del cilindro (P) = 250 bar
- Diámetro del pistón (ϕ_p) = 200 mm
- Diámetro del vástago (ϕ_v) = 140 mm
- Fuerza máxima de avance = 706.858,35 N
- Caudal máximo de avance = 452,4 l/min
- Fuerza máxima de pandeo = 2.092.997,571 N
- Fuerza máxima de retroceso = 63.617,25 N
- Caudal máximo de retroceso = 40,74 l/min

4.1.3. Elementos de unión de las articulaciones

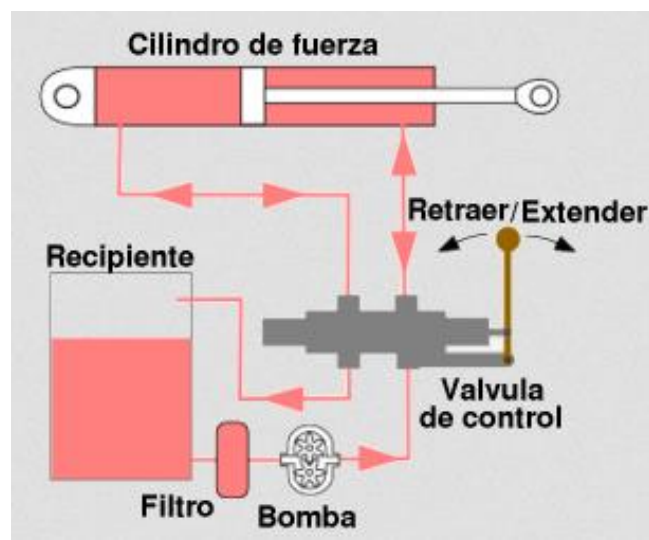
Son los elementos encargados de realizar las uniones entre elementos y capaces de resistir los esfuerzos a los que van a estar sometidos durante el ciclo de trabajo.

Bulón	Diámetro diseñado (mm)
Articulación A	150
Articulación B	150
Articulación C	150
Articulación D	100
Articulación E	100
Articulación F	100
Articulación G	80
Articulación H, I, J y K	80



4.2. Funcionamiento del mecanismo adoptado

Al tratarse de un mecanismo de tres GDL, es necesario un mínimo de tres actuadores o cilindros hidráulicos que son los encargados de utilizar su energía hidráulica para conseguir el movimiento del brazo articulado. Dicho movimiento se logra al combinar los cilindros hidráulicos. El operador desde la cabina controla cada cilindro por separado logrando así el movimiento deseado.



Un par de cilindros de doble efecto son los encargados de subir y bajar la pluma. Cuando el operario acciona la palanca, el aceite a presión llega al cilindro, desplazando el vástago y elevando la pluma.

Para mover el brazo el sistema usa un cilindro y una articulación (como si fuera el brazo y el codo de una persona). Cuando en el vástago se produce el avance es como si una persona doblara el codo, la articulación hace que el brazo de la excavadora se doble (y descienda). Cuando el vástago retrocede es como si una persona estirase el brazo, es decir el brazo de la excavadora se eleva y se pone en línea con la parte superior de la pluma.

Un sistema similar se usa para controlar la cuchara, con un cilindro sobre el brazo y una articulación que lo une a la cuchara (cuyos símiles humanos serían el antebrazo, muñeca y mano). Con el movimiento de avance en el vástago la cuchara descendería y al retroceder ascendería.

5. Conclusiones

Se ha realizado el diseño y cálculo de los elementos que componen el brazo articulado tal y como se había planificado antes de comenzar. Los elementos diseñados cumplen perfectamente las condiciones exigidas por la empresa encargada de realizar la obra de soterramiento.

Durante la realización del proyecto se han ido diseñando y analizando diferentes modelos de elementos principales (pluma, brazo, eslabón 1, eslabón 2 y cuchara), cada uno con una geometría diferente en función de los resultados que se iban obteniendo. El resultado final escogido cumple con los requisitos impuestos además de tener una buena relación de calidad-precio muy a tener en cuenta para su fabricación. Por lo tanto un buen diseño ajustado a un precio final bajo podrá lograr la captación de nuevos clientes.

Para el desarrollo del proyecto se han utilizado varios programas de cálculo, en el caso del análisis cinemático se utilizó el "GIM", mientras que para el cálculo de la resistencia de la sección y las deformaciones de los elementos que componen el brazo retroexcavador, se usó "CATIA", el cual contiene un paquete de análisis mediante elementos finitos muy potente.

Se ha podido comprobar por tanto, que en el mundo del diseño industrial no existe una única solución, pero es necesario valorar los recursos de los que se disponen para su desarrollo y en un determinado momento es necesario tomar la decisión de dar por válido un determinado modelo.

Otro aspecto importante, es la valoración de diferentes alternativas para la resolución de un problema, en las que se valoran las ventajas y desventajas que pueden ofrecer para posteriormente seleccionar una, mejorarla y optimizarla.

En este estudio se barajó inicialmente dos modelos diferentes de brazo articulado retroexcavador (Caterpillar modelo 336D y Komatsu modelo PC300LC-8), y tras un estudio inicial de los dos modelos y valorar los recursos de los que se disponían, se optó por el diseño final tal y como se muestra a continuación:

