

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

4. 4 Diseño del eje

Se diseña un eje de 15 mm diámetro, con nueve chaveteros, dispuestos éstos con una separación de 65 mm y un decalado de 45° entre cada dos, al objeto de alojar las chavetas que transmitirán el movimiento a los discos de la excéntricas, y un chavetero adicional destinado a alojar el elemento transmisor del par motor procedente de la rueda dentada.

Fig. 73 Representación del eje de excéntricas



4.4.1 Equilibrado radial teórico del eje

La operación de equilibrado de un sistema de masas con movimiento de rotación uniforme consiste en introducir nuevas masas, de manera que el sistema total de fuerzas de inercia sea idénticamente nulo.

Esta definición lleva implícita la condición de que el centro de masas del conjunto esté sobre el eje de rotación, ya que de lo contrario la resultante de las fuerzas de inercia no sería nula.

Por tratarse de movimiento de rotación, la proyección de las fuerzas de inercia sobre el eje de rotación es nula. Por ser rotación uniforme tampoco dichas fuerzas dan momento respecto al mencionado eje de rotación.

De todo esto se deduce que las ecuaciones de equilibrio dinámico no serán seis sino sólo cuatro:

$$(61) \quad \sum F_{yi} = 0$$

$$(62) \quad \sum F_{zi} = 0$$

$$(63) \quad \sum M_{yi} = 0$$

$$(64) \quad \sum M_{zi} = 0$$

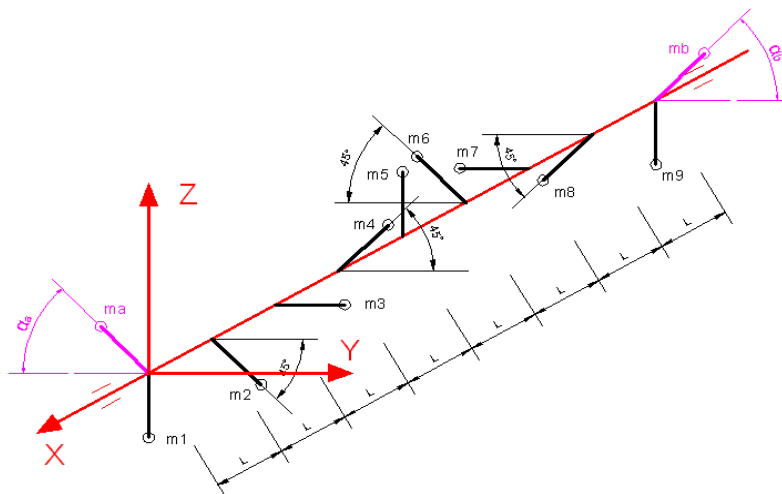
El valor y disposición geométrica de las masas necesarias para el equilibrado deben representar también **cuatro incógnitas** para que el sistema sea determinado.

Por tanto serán introducidas dos nuevas masas solidarias con el eje de excéntricas: m_a , m_b , con su centro de gravedad impuesto a la misma distancia del eje x que el de las excéntricas pero con ángulos: α_a , α_b desconocidos, de tal manera que el sistema total de fuerzas de inercia sea idénticamente nulo (fig 67)

Se representa en la figura 67 la disposición geométrica de las masas equivalentes de las excéntricas: m_1, m_2, \dots, m_9 . Para resolver el problema es necesario calcular el radio de giro de sus c.d.g. así como el valor equivalente de las masas equivalentes representadas. Para ello se tiene en cuenta:

- la masa del disco de la excéntrica
- la masa del disco interior del rodamiento (gira solidario con el disco de excéntrica)
- la masa equivalente de las bolas de acero del rodamiento (la velocidad angular de rotación de éstas en torno al eje de excéntricas es aproximadamente igual a la mitad de la velocidad angular de dicho eje)
- $m_1 = m_2 = \dots = m_9 = M$

Fig. 74 Representación esquemática del eje de excéntricas



Ecuaciones extraídas del equilibrio de las fuerzas de inercia de las masas

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

$$(65) \quad 0 = m_b \cdot \cos \alpha_b - m_a \cdot \cos \alpha_a$$

$$(66) \quad M = m_a \cdot \sin \alpha_a + m_b \cdot \sin \alpha_b$$

Ecuaciones extraídas del equilibrio de los momentos causados por esas mismas fuerzas respecto de los ejes Y y Z:

$$(67) \quad M = 2 m_b \cdot \sin \alpha_b$$

$$(68) \quad 2,41 M = 2 m_b \cdot \cos \alpha_b$$

Resolviendo el sistema se obtiene:

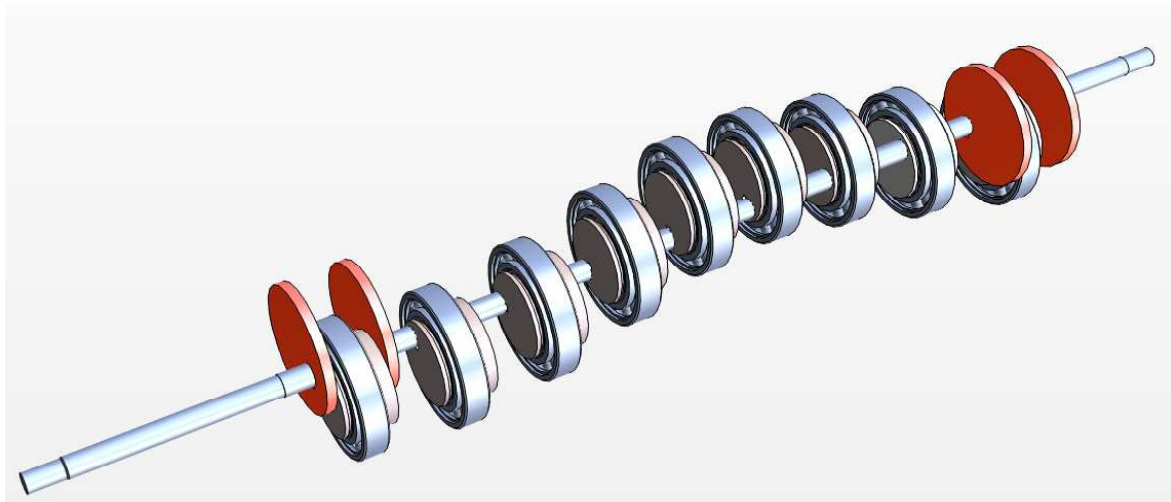
$$\alpha_b = 22,5^\circ \quad ; \quad m_b = 1,3 M \quad ; \quad \alpha_a = 22,5^\circ \quad ; \quad m_a = 1,3 M \quad ;$$

Se construyen masas de equilibrado: m_a , m_b a partir de un tocho de AISI 304 (densidad = $7,96 \text{ gr/cm}^3$), de 90 mm de diámetro.

Con el objeto de implementar estas masas de equilibrado en el eje, se adopta la estrategia de dividir m_a en dos semipiezas, y situarlas a ambos lados de la excéntrica representada por m_1 con el objeto de situar el cdg de m_a en el mismo plano perpendicular al eje que el centro de gravedad de m_1 . La misma operación se realiza con m_b (en torno a m_9)

Resultan cuatro piezas idénticas, de forma circular y espesor de 7,1 mm.

Fig. 75 Eje de excéntricas con las masas de equilibrado



4.4.2 Diseño del soportado del eje

Se efectúan diversos supuestos para determinar la configuración óptima del soportado del eje (Fig. 69)

Las solicitaciones tenidas en cuenta en este estudio son las fuerzas de inercia correspondientes a discos de excéntricas y rodamientos, así como las fuerzas de inercia correspondientes a las masas de equilibrado, consideradas éstas para una velocidad de giro de 1000 rpm.

Como herramientas de simulación se emplean:

- Elaboración de la geometría mediante SOLID EDGE.
- Preproceso mediante el código FEMAP: importación de geometría, realización del mallado, definición de materiales, aplicado de cargas y definición de condiciones de contorno.
- *Solver* mediante código NASTRAN para análisis por elementos finitos (emplea criterio de distorsión de Von Mises)
 - Sean σ_1 , σ_2 , σ_3 , tensiones principales del tensor tensión en un punto de un sólido deformable, tal que $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$

El régimen de elasticidad en un estado tensional triple se mantiene mientras

$$\sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \leq \sigma_e$$

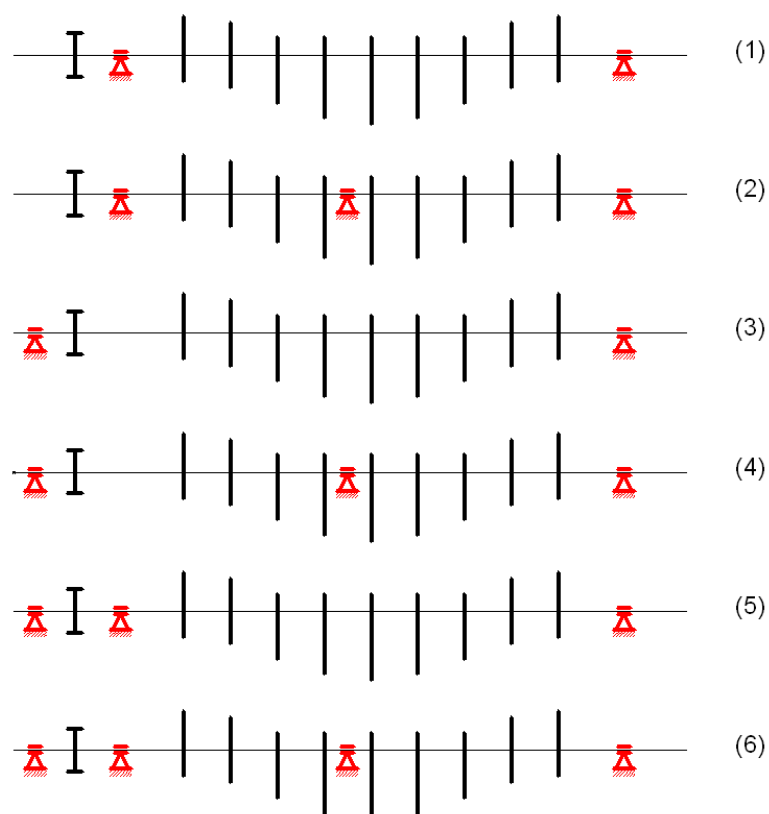
al primer término de la expresión anterior se le conoce como Tensión de Von Mises

donde σ_e = tensión de fluencia en ensayo de tracción del material

- Postproceso mediante el código FEMAP: representación gráfica de resultados

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

Fig. 76 Hipótesis de configuraciones planteadas para el diseño del soportado del eje



4.4.2.1. Datos de partida

4.4.2.1.1. Propiedades de la geometría de la pieza

Nombre de la pieza	Pieza1.par
Masa	1,189 kg
Volumen	148.148,031 mm ³

4.4.2.1.2. Propiedades del material

Nombre del material	Acero inoxidable, 316
Densidad	8.027,000 kg/m ³
Módulo de Young	193.053.196,000 kPa
Coefficiente de Poisson	0,290
Conductividad térmica	0,017 kW/m-C
Tensión de fluencia	248.211,252 kPa
Tensión de rotura	530.896,289 kPa

4.4.2.1.3. Cargas dinámicas incluidas

Nombre del conjunto de carga	Tipo del conjunto de carga	Número de elementos de carga	Valor de la carga
Carga m_1	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_2	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_3	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_4	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_5	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_6	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_7	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_8	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_9	Fuerza	1	117,120 N
Carga m_a	Fuerza	2	152,260 N
Carga m_b	Fuerza	2	152,260 N

4.4.2.2. Simulación

4.4.2.2.1. Hipótesis 1

Restricciones

Número de caras restringidas	2
------------------------------	---

Propiedades del estudio

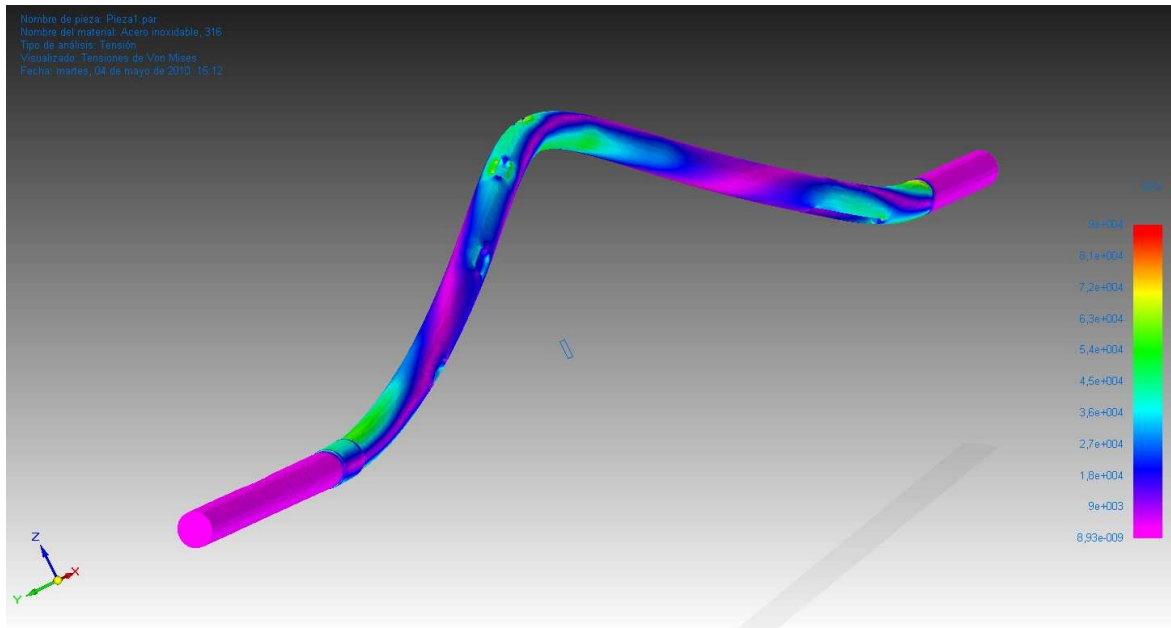
Tipo de mallado	Malla de tetraedros
Número de elementos	297.811
Número de nodos	461.485
Tipo de analizador	Nastran

Resultados de tensiones

Tipo	Extensión	Valor (kPa)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Tensión de Von Mises	Mínima	8,928e-009	0,00	4,41	6,07
	Máxima	9,001e+004	449,50	-2,50	7,07

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

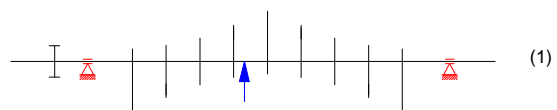
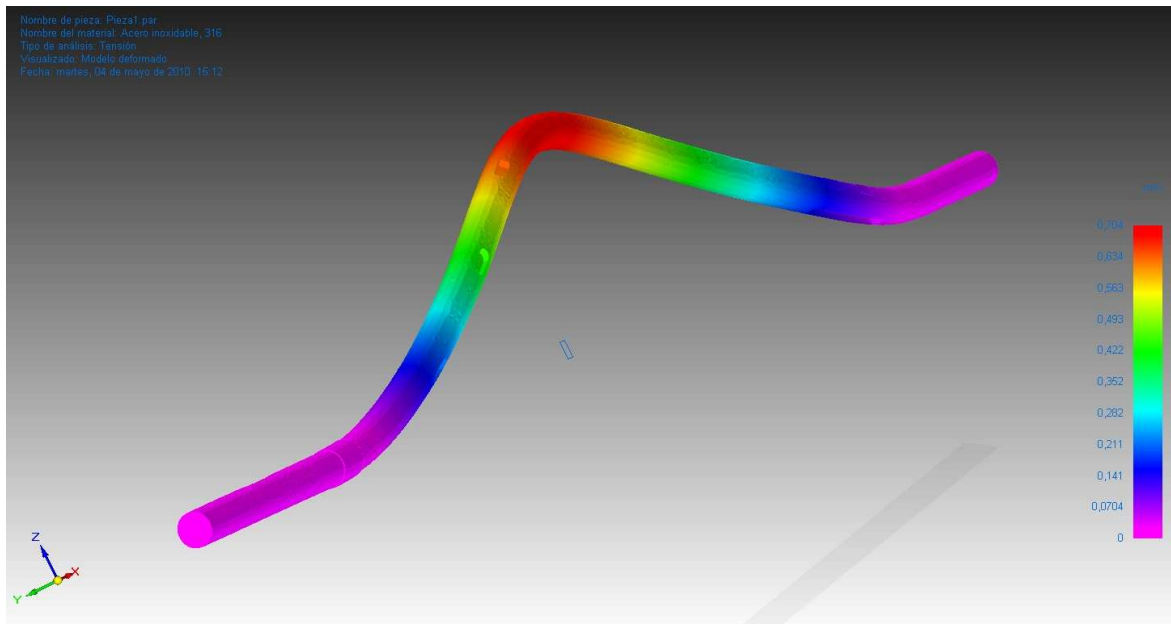
Fig. 77 Visualización tensiones de Von Mises (Hipót. 1)



Resultados de desplazamientos

Tipo	Extensión	Valor (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Desplazamiento resultante	Mínimo	0,00e+000	803,45	7,18	-2,33
	Máximo	7,04e-001	450,20	-7,50	-0,07

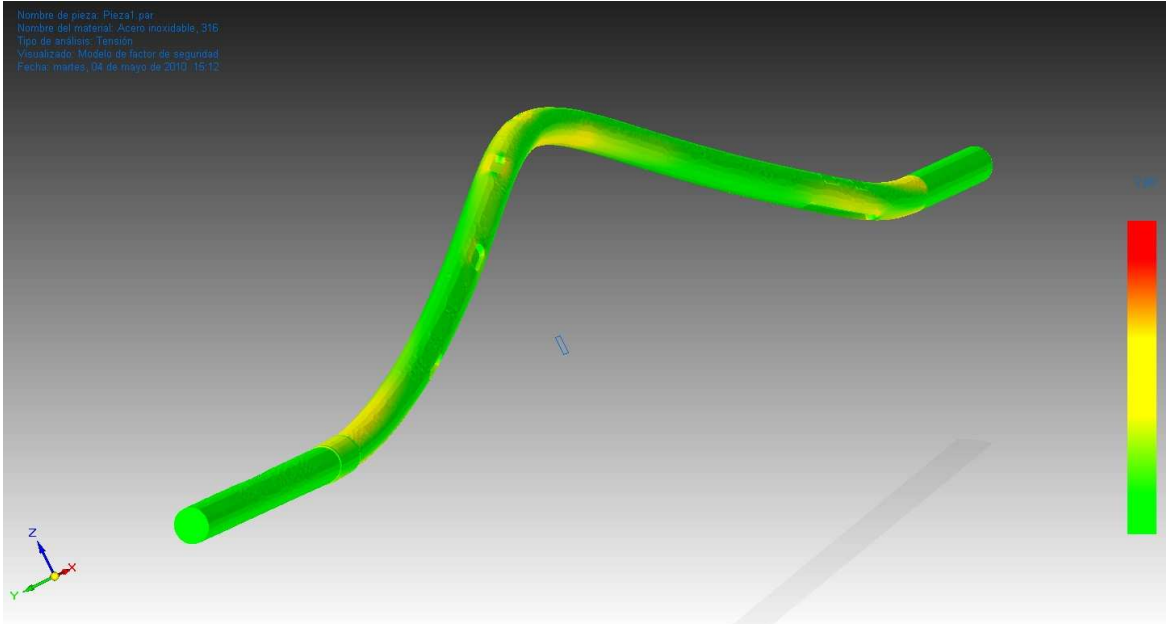
Fig. 78 Visualización modelo deformado (Hipót. 1)



Factor de seguridad

Valor del factor de seguridad	2,758
-------------------------------	-------

Fig. 79 Visualización modelo de factor de seguridad (Hipót. 1)



4.4.2.2. Hipótesis 2 = 6

Restricciones

Número de caras restringidas	3
------------------------------	---

Propiedades del estudio

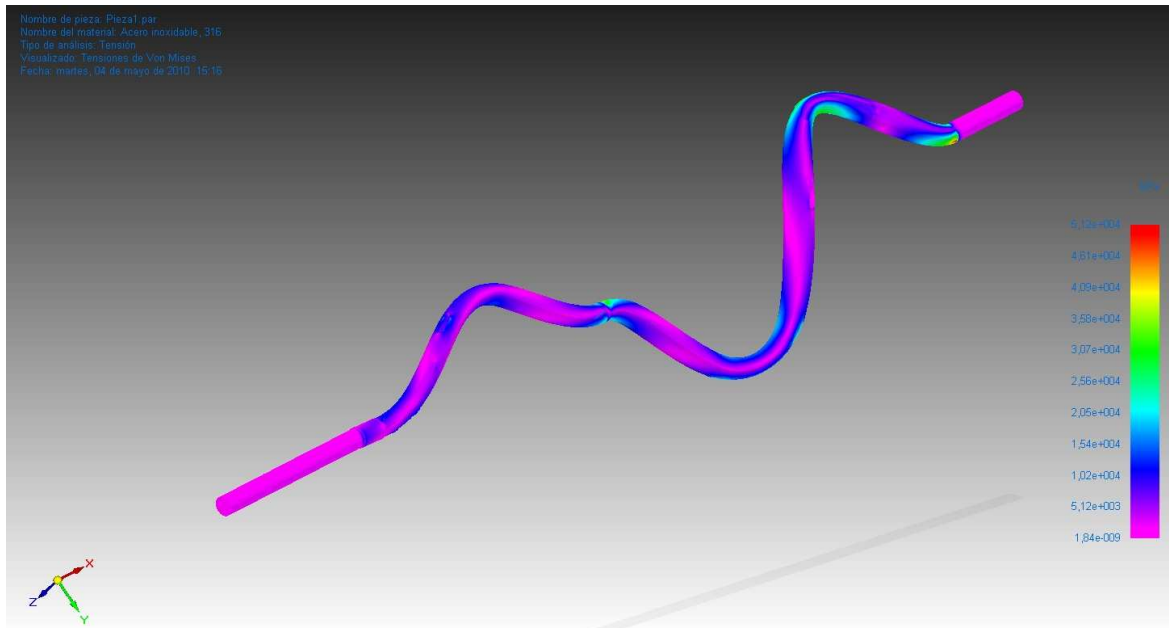
Tipo de mallado	Malla de tetraedros
Número de elementos	297.811
Número de nodos	461.485
Tipo de analizador	Nastran

Resultados de tensiones

Tipo	Extensión	Valor (kPa)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Tensión de Von Mises	Mínima	1,841e-009	46,57	7,13	2,34
	Máxima	5,118e+004	783,00	7,13	-2,32

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

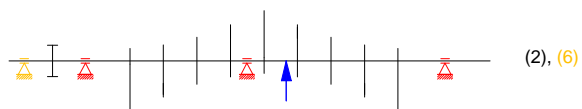
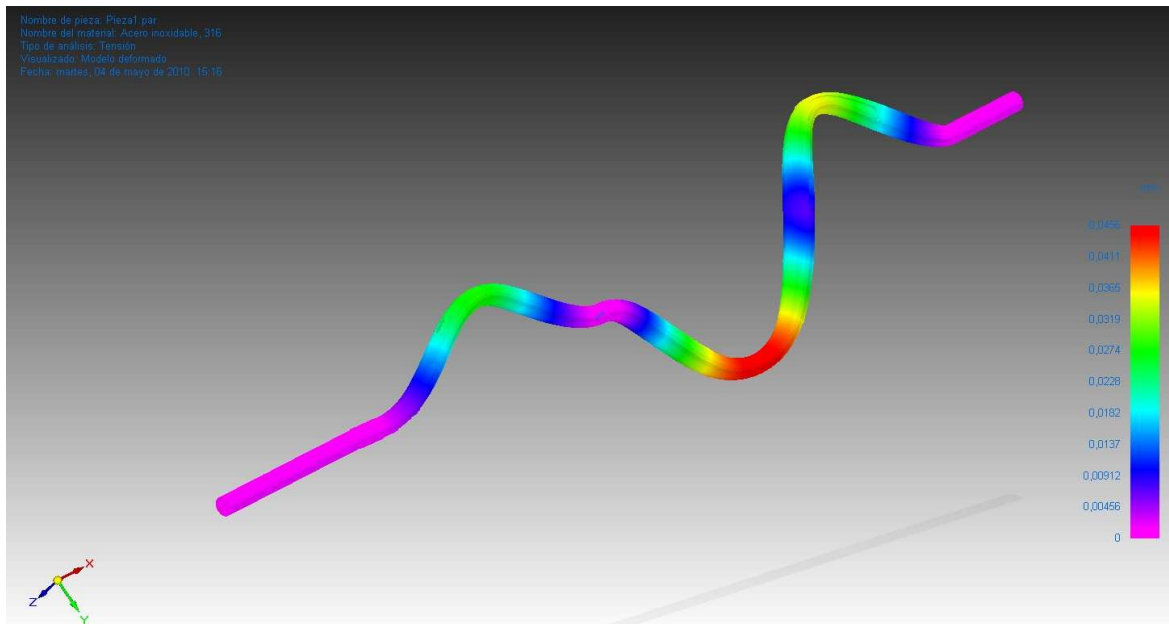
Fig. 80 Visualización tensiones de Von Mises (Hipót. 2 = 6)



Resultados de desplazamientos

Tipo	Extensión	Valor (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Desplazamiento resultante	Mínimo	0,00e+000	803,45	7,18	-2,33
	Máximo	4,56e-002	538,27	-2,30	7,14

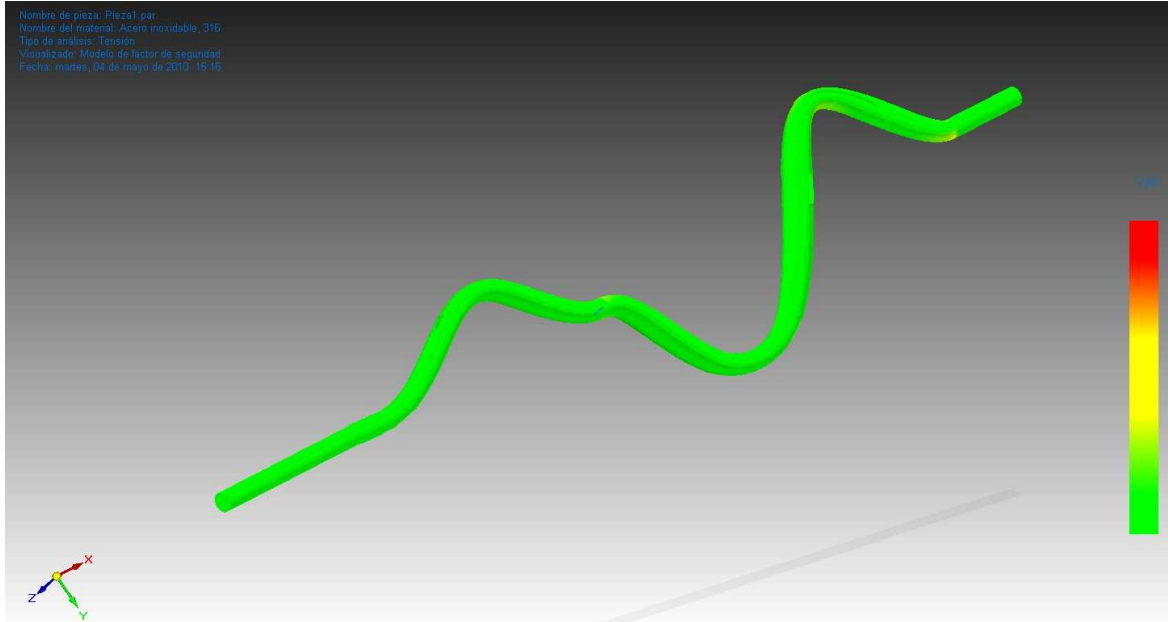
Fig. 81 Visualización modelo deformado (Hipót. 2 = 6)



Factor de seguridad

Valor del factor de seguridad	4,850
-------------------------------	-------

Fig. 82 Visualización modelo de factor de seguridad (Hipót. 2 =6)



4.4.2.2.3. Hipótesis 3

Restricciones

Número de caras restringidas	2
------------------------------	---

Propiedades del estudio

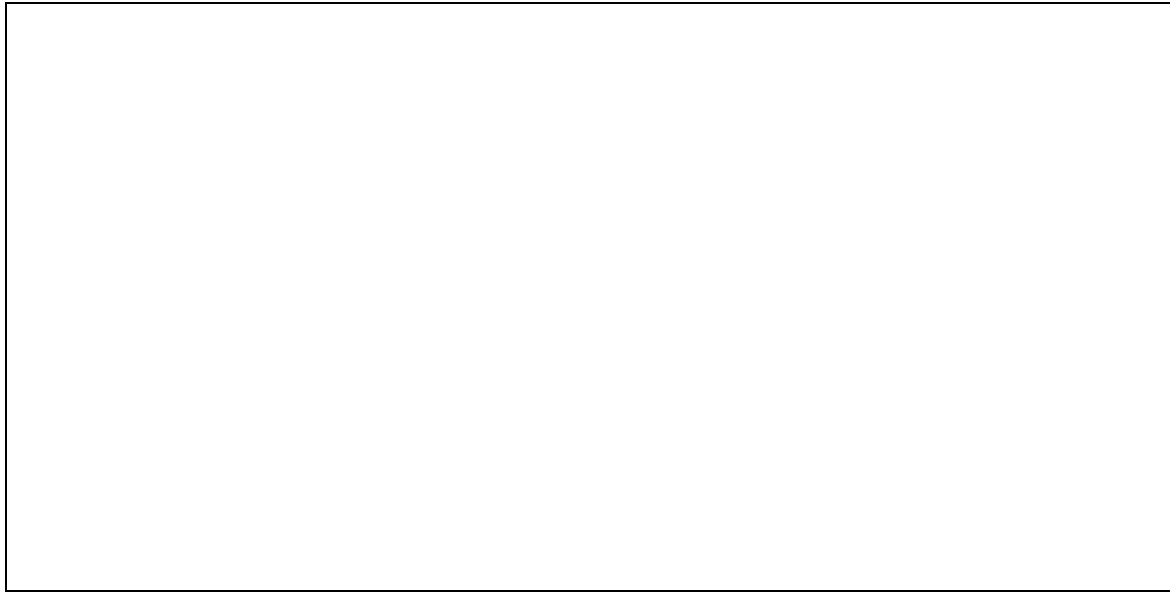
Tipo de mallado	Malla de tetraedros
Número de elementos	297.811
Número de nodos	461.485
Tipo de analizador	Nastran

Resultados de tensiones

Tipo	Extensión	Valor (kPa)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Tensión de Von Mises	Mínima	1,131e-008	854,00	-5,30	5,30
	Máxima	1,334e+005	783,00	-1,17	7,41

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

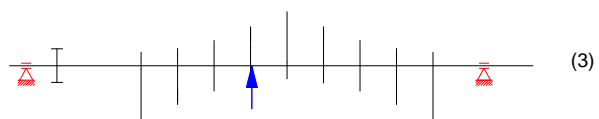
Fig. 83 Visualización tensiones de Von Mises (Hipót. 3)



Resultados de desplazamientos

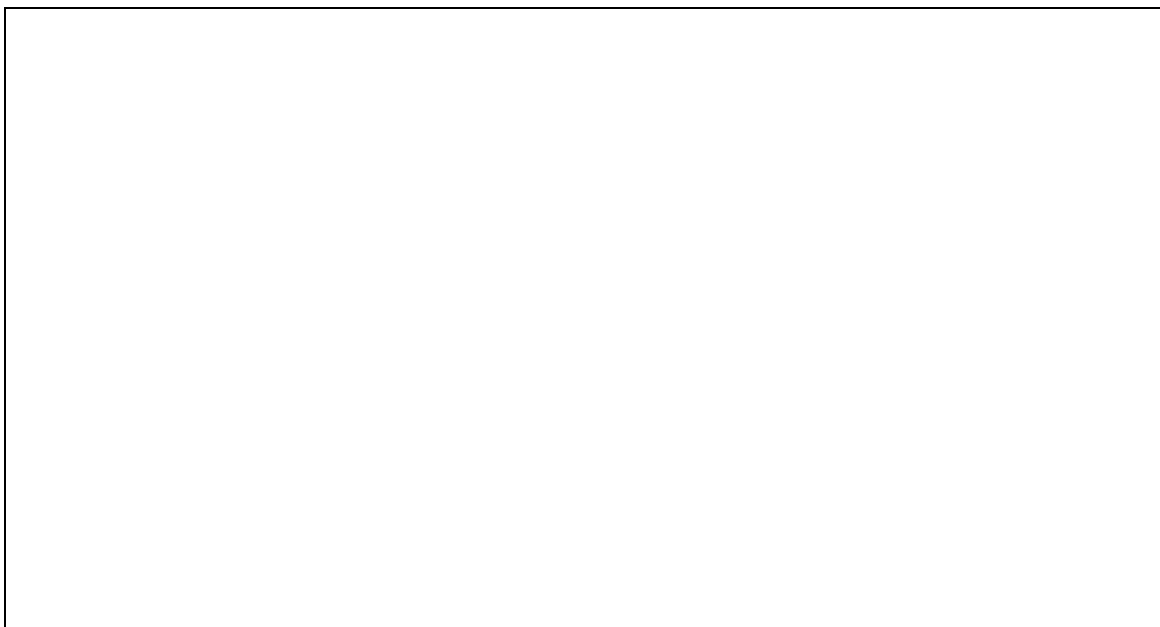
Tipo	Extensión	Valor (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Desplazamiento resultante	Mínimo	0,00e+000	26,52	7,46	-1,18
	Máximo	9,77e-001	432,80	-7,45	-0,89

Fig. 84 Visualización modelo deformado (Hipót. 3)



Factor de seguridad

Valor del factor de seguridad	1,860
-------------------------------	-------

Fig. 85 Visualización modelo de factor de seguridad (Hipót. 3)**4.4.2.2.4. Hipótesis 4****Restricciones**

Número de caras restringidas	3
------------------------------	---

Propiedades del estudio

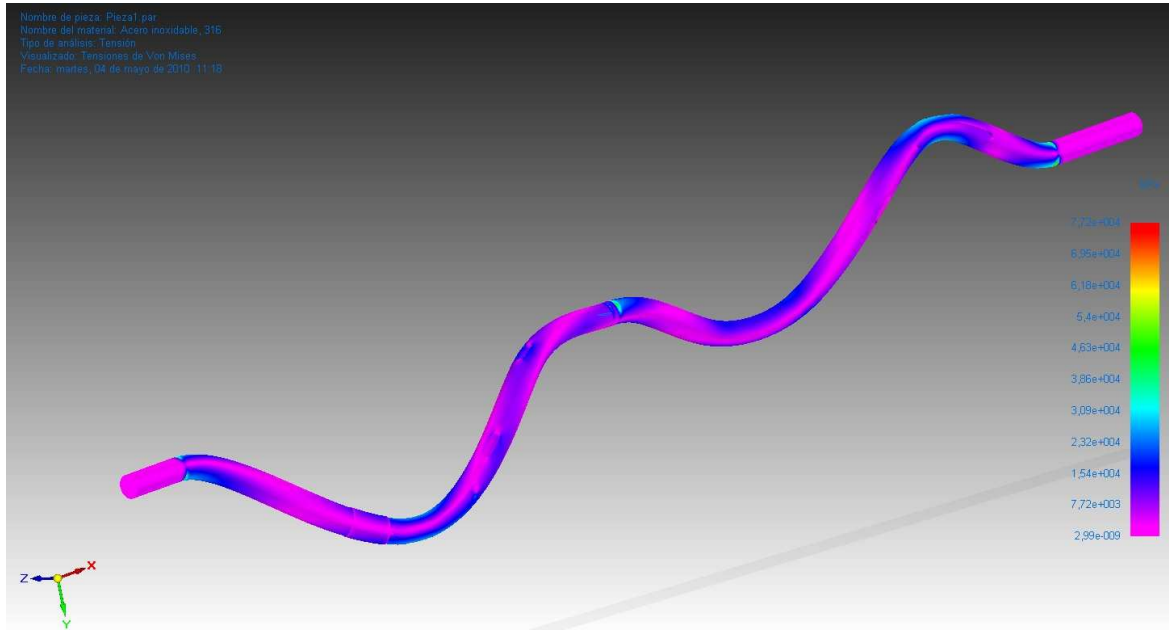
Tipo de mallado	Malla de tetraedros
Número de elementos	297.811
Número de nodos	461.485
Tipo de analizador	Nastran

Resultados de tensiones

Tipo	Extensión	Valor (kPa)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Tensión de Von Mises	Mínima	2,988e-009	854,00	0,00	7,50
	Máxima	7,720e+004	783,00	-7,41	-1,17

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

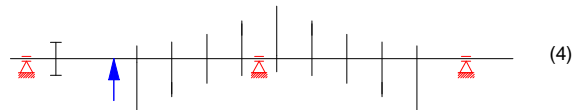
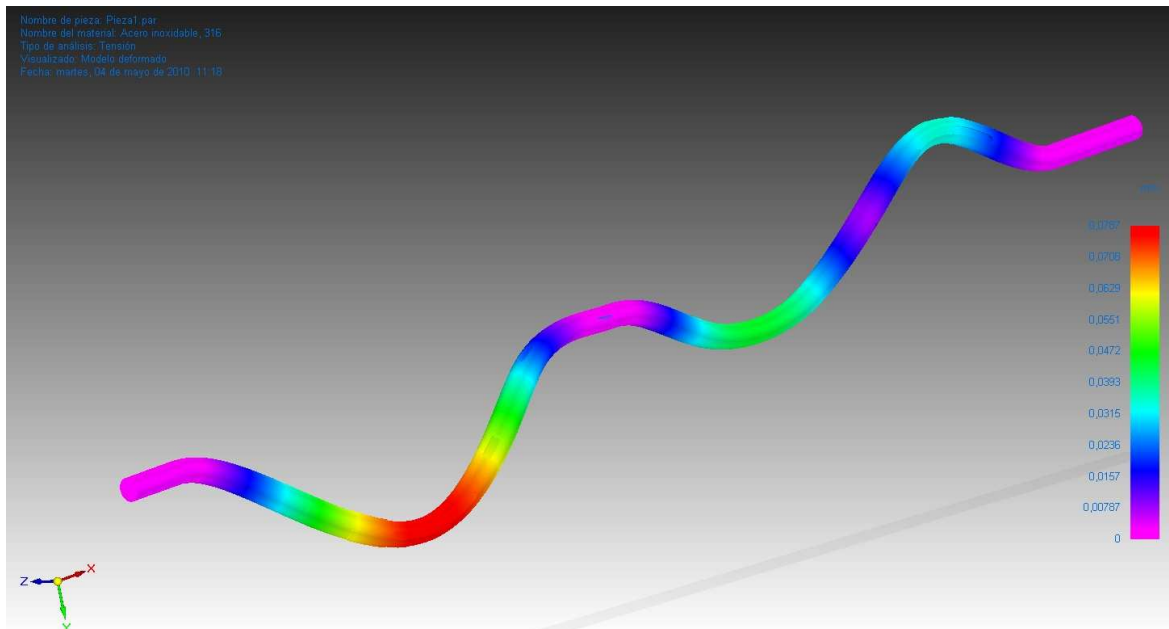
Fig. 86 Visualización tensiones de Von Mises (Hipót. 4)



Resultados de desplazamientos

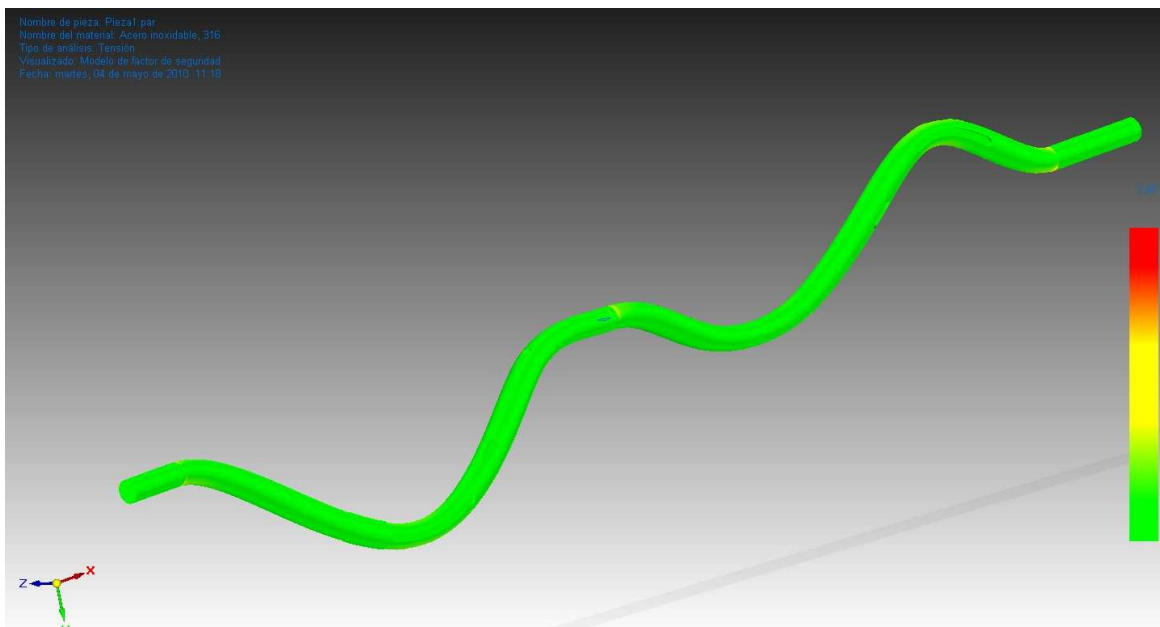
Tipo	Extensión	Valor (mm)	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
Desplazamiento resultante	Mínimo	0,00e+000	26,52	7,46	-1,18
	Máximo	7,87e-002	192,64	-3,54	-6,61

Fig. 87 Visualización modelo deformado (Hipót. 4)



Factor de seguridad

Valor del factor de seguridad	3,215
-------------------------------	-------

Fig. 88 Visualización modelo de factor de seguridad (Hipót. 4)**4.4.2.2.5. Hipótesis 5**

El caso 5 no se representa porque se obtiene un resultado prácticamente igual al del caso 1.

4.4.2.2.6. Hipótesis 6

El caso 6 no se representa porque se obtiene un resultado prácticamente igual al del caso 2.

4.4.2.3. Conclusiones

La peculiar distribución de cargas de inercia del eje le confiere a este una forma similar a la “coca “ que se forma en una soga mal desenrollada.

En ausencia del tercer soporte (situado entre cuarta y quinta excéntrica), tal como ocurre en los casos 1, 3 y 5, la flecha de dicha coca alcanza el milímetro. Por tanto en un experimento realizado a 1000 rpm el eje de excéntricas se convierte en un arco, con flecha excesiva girando a esa velocidad. Luego se hace necesario la inclusión de dicho soporte intermedio.

Una vez descartadas las anteriores hipótesis, la ausencia del segundo soporte (situado entre la rueda dentada y la primera excéntrica), tal como ocurre en el caso 4, genera dos arcos,

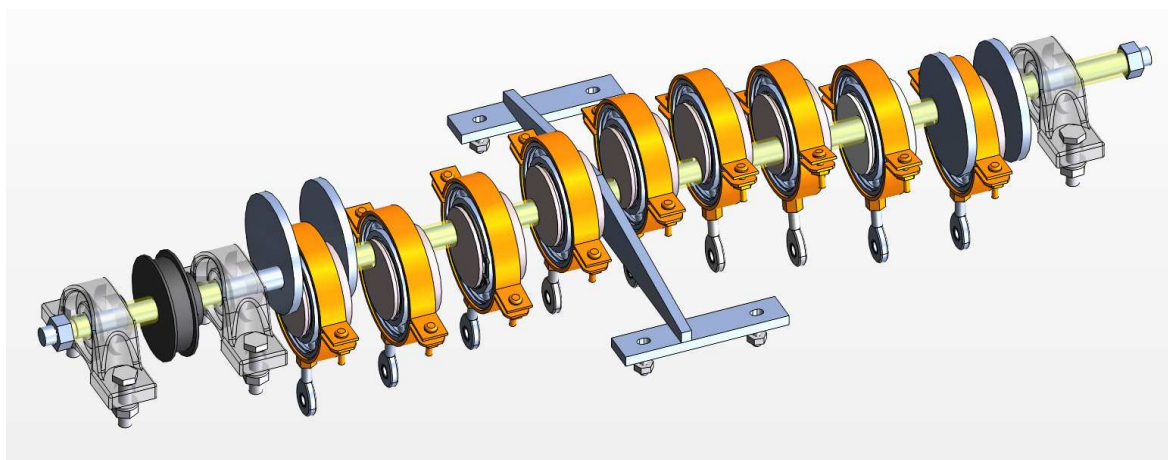
4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

llegando a tener en el peor de los casos una flecha del orden de la décima de milímetro. Lo cual sería asimismo una fuente de vibraciones. Por tanto este supuesto también se descarta.

Atendiendo a los casos 2 y 6 se observa que el comportamiento del eje es muy parecido por tanto se deduce que ambas configuraciones de soportado serían las más adecuadas para el eje de entre las estudiadas.

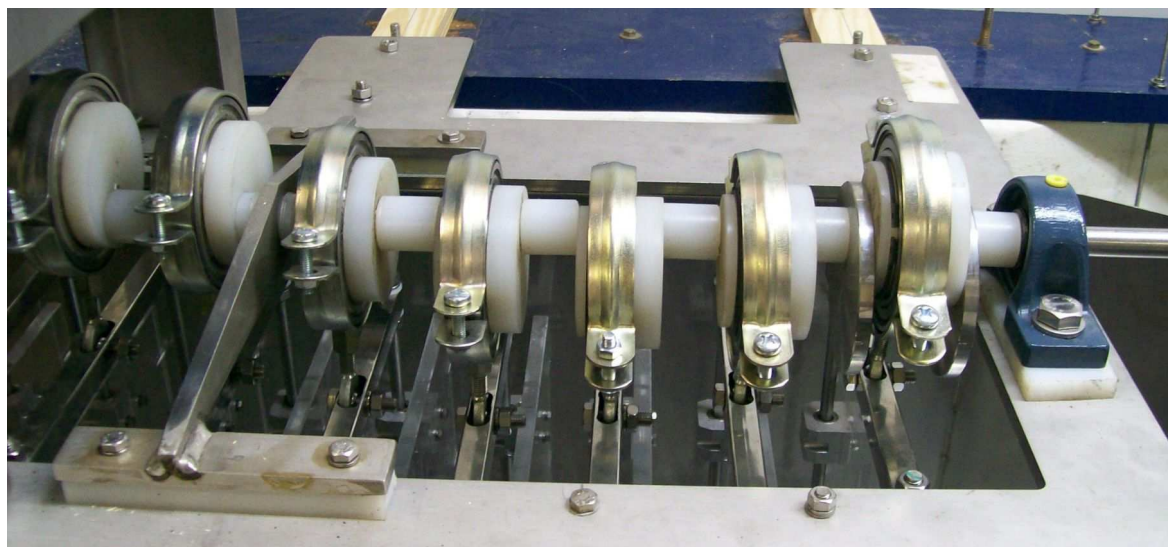
Se elige el soportado tipo 6 teniendo en cuenta la experiencia obtenida en los ensayos efectuados con el anterior prototipo (de accionamiento por levas)

Fig. 89 Solución adoptada de eje de excéntricas



Para los apoyos 1,2 y 4 se emplean soportes de pie en fundición con rodamiento en 'Y', ref. UCP202C fab. FAG. Para el apoyo 3 se diseña un soporte a modo de puente en inox (AISI 304) y se inserta un rodamiento rígido de bolas ref. 61802-2Z fab. FAG.

Fig. 90 Eje de excéntricas (imagen del prototipo)



4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

Para transmitir el par motor al eje se emplea una polea dentada con flancos laterales tipo 23 L 050 y cinta dentada de neopreno tipo 322L 050G, fab. BANDO

Para garantizar que no exista desplazamiento lineal del eje con respecto a los soportes se dejó un resalte en el eje trabajando en contacto con el el apoyo 2, con este mismo objetivo así como el de garantizar la invariabilidad de la distancia entre componentes, fueron contruidos en taller y fueron montados casquillos de teflon entre todas las piezas insertadas en el eje.

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

4.5 Motor y transmisión

Se adquiere un motor trifásico asíncrono para incorporar al prototipo, con objeto de aprovechar la plena capacidad del variador de frecuencia que existe en el tanque de ensayo de la EUP.

Motor ATX 3KW

- pot: 3 KW
- vel: 1500 rpm
- tensión: 400/600V
- IP 55
- configuración: B3 PATAS
- carcasa de fundición IP 55, servicio S1
- Conexión triángulo (380V)

Variador ALTIVAR 58 ref. ATV-58EU54N4 TM

- pot: 3 KW
- frec: 50/60 Hz
- tensión: 380....500V
- IP 55
- Configurable desde terminal remoto
- Configurable mediante software POWER SUITE V1.20

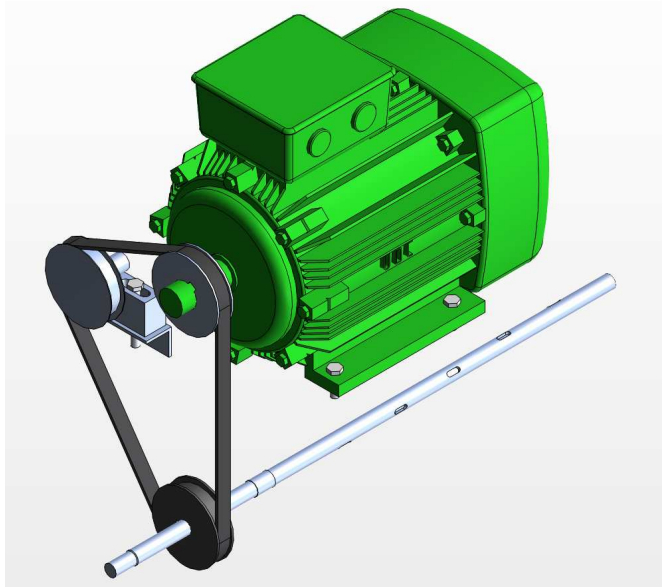
Fig. 91 Variador de frecuencia



Se compran, se envían a taller para su mecanizado y se acoplan, tanto en el eje del motor como en el eje de excéntricas, sendas ruedas dentadas de acero con flancos laterales tipo 23 L 050 (23 dientes, paso de 3/8”) de tal manera que la relación de velocidad entre el motor y el eje de excéntricas sea 1:1.

Se dispone asimismo de una tercera rueda dentada sobre un soporte de posición graduable acoplado a la bancada del motor, de tal manera que sirva de elemento tensor de la cinta dentada.

Fig. 92 Motor eléctrico y transmisión mecánica (Imagen modelo 3D)



La transmisión se realiza mediante cinta dentada de neopreno tipo 322L 050G, fab. BANDO

Fig. 93 Motor eléctrico y transmisión mecánica (prototipo construido)



4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

4.6. Diseño de la estructura

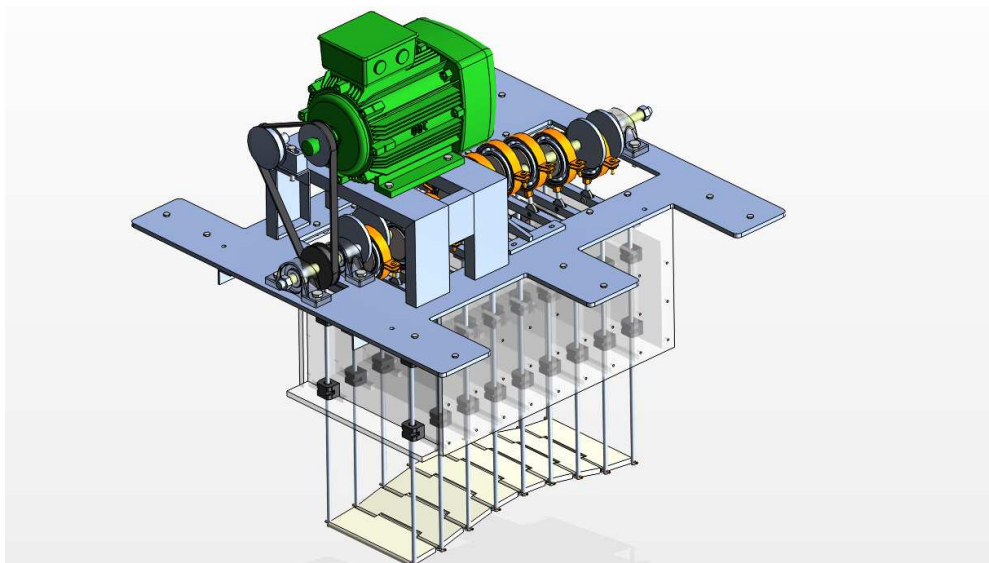
Se diseña un chasis para soporte de todo el conjunto partiendo de una plancha inox (AISI 304) de 8 mm de espesor y se contrata con empresa especializada el corte y mecanizado mediante chorro de agua a alta presión.

Con el objeto de fijar el motor al mencionado chasis de acero se diseña un polín en chapa de inox (AISI 304) plegada y soldada. Incluye el soportado de la polea móvil que sirve de tensor de la correa de transmisión. Se contrata con taller mecánico el suministro del mismo.

Se fabrica el resto de la estructura, que conviene que sea transparente a efectos de facilitar la observación, en chapa de metacrilato de 10 mm de espesor con la misión de servir de soportación a los rodamientos lineales. La estructura de metacrilato recibe la fuerza de impulsión, que es transmitida por los vástagos verticales a los rodamientos lineales (los cuales, además de servir de guías lineales, actúan a modo de chumaceras) y la transmite al resto del conjunto.

Las piezas de metacrilato fueron cortadas en el Taller Láser del CIT (UDC) y en ese mismo lugar fueron parcialmente mecanizadas. En el Taller de Máquinas y Motores Térmicos de la EUP se terminan de mecanizar dichas piezas en la fresa y allí mismo se ensamblan mediante el empleo de tirafondos y adhesivo “betaplex” para metacrilato

Fig. 94 Estructura del mecanismo



La estructura de metacrilato se une al chasis de acero mediante dos piezas construidas en angular de inox, de 30 mm.

Fig. 95 Detalle del soportado de los rodamientos lineales



Fue realizado un orificio de 9 mm en el mismo lugar de la parte central superior en todas las placas transversales de metacrilato. El objetivo de estos huecos cilíndricos era el de contribuir a llevar a cabo las tareas de ajuste durante el montaje del mecanismo. Previamente a la conexión de las rótulas de los collares de las excéntricas con sus respectivos tubos horizontales:

- a) Se comprobó la correcta alineación de los tubos cuadrados horizontales (transmisores del movimiento de vaivén a los vástagos verticales) mediante la inserción de una varilla cilíndrica de 8 mm que atravesase placas de metacrilato y tubos cuadrados
- b) Se nivelaron los ejes horizontales articuladores de la superficie ondulante.

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

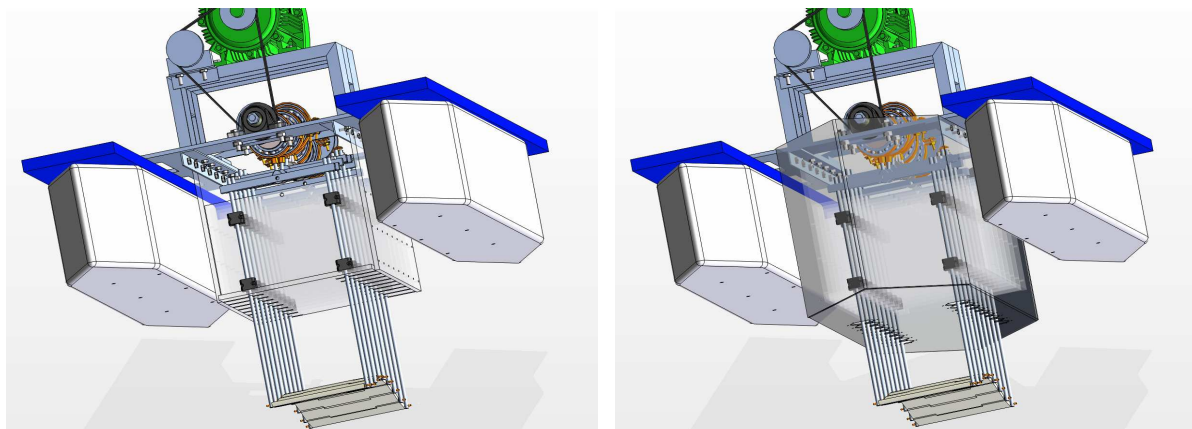
4.7. Construcción del casco

4.7.1. Diseño del casco

Se decide aprovechar los flotadores de fibra de vidrio pertenecientes a un prototipo anterior, el cual era de menor tamaño y menor peso. Con el objeto de alcanzar la flotabilidad necesaria, en lugar de suplementar dichos flotadores en el nuevo prototipo, se opta por diseñar un casco central, que aporte la flotabilidad necesaria y que resguarde al mecanismo del contacto con el agua.

Se propone construir un casco central empleando chapa de inox (AISI 316) de 1,5 mm. El software de diseño mecánico empleado en la elaboración del modelo virtual permite conocer el peso del conjunto así como situar el centro de gravedad del mismo, por tanto facilita los datos necesarios para el diseño de la geometría de dicho casco de acero, de tal manera que no altere las condiciones de flotabilidad del prototipo (no varíen los ángulos de escora o de trimado).

Fig. 96 Imagen del mecanismo sin y con casco de acero



Al decidir el empleo de un volumen central de flotación, surge la idea de la conveniencia de disponer un sistema de sellado para los puntos en los que los vástagos móviles atraviesan el casco, lo cual sugiere abordar el diseño de este sistema de sellado que realmente ha resultado ser una tarea ardua tal como se describe a continuación, y que no llegó a ser finalizada aún con el éxito esperado. Dado que no constituye en sí el objeto de esta investigación, se decidió posponer por el momento dicho sellado, habiéndose optado por otra solución, que más adelante se explica, con objeto de poder disponer en tiempo

razonable de un prototipo adecuado con el que se pudieran realizar los ensayos que interesan para el objeto de la tesis.

4.7.2. Sellado del casco

4.7.2.1. Consideraciones previas

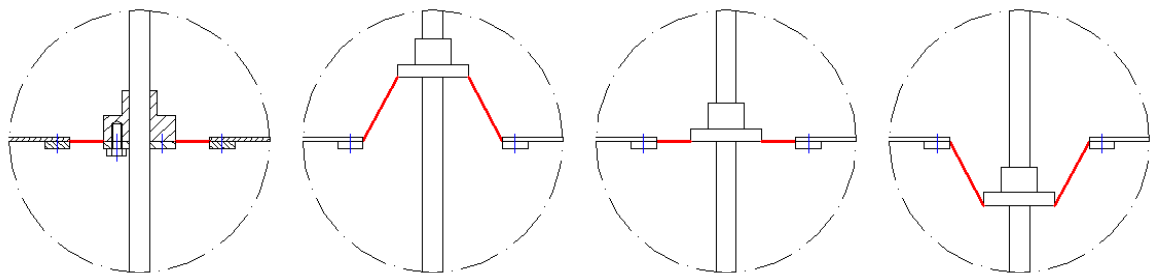
Para hacer estanco el casco que aloja el mecanismo, es preciso adoptar un sistema que impida la entrada de agua en los puntos en que los vástagos sobresalen atravesando la estructura de acero.

Inicialmente se consideran dos opciones:

1. El empleo de una especie de casquillo de un material similar al teflón, fijado al casco de tal manera que los vástagos se desplacen por su interior con una holgura mínima y de esta manera se impida el acceso de agua al mecanismo.
2. El empleo de membranas flexibles, construidas con un elastómero tipo látex o similar, en forma de anillo circular. Con su perímetro mayor fijado al casco y su perímetro menor solidario con el vástago. De este modo la membrana trabajará cambiando de forma: estirándose y encogiéndose, pero impidiendo el paso de agua.

Finalmente se decide el empleo de membrana flexible por su facilidad de construcción, para evitar pérdidas mecánicas adicionales por rozamiento y por considerar que este sistema es más fiable que el de casquillos rígidos.

Fig. 97 Principio funcionamiento membrana elástica de sellado



Se prueba inicialmente un caucho de silicona de alta resistencia: SILASTIC 3483 base + agente de curado SILASTIC 83 + aditivo tixotrópico (este aditivo incrementa la viscosidad de la mezcla, posibilitando de este modo la fabricación de superficies no horizontales)

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

Posteriormente se adopta como definitivo el empleo de la base SILASTIC 3481 + agente de curado 81F (Fast) dado que disminuía en gran medida el tiempo de curado asumiendo que estábamos disminuyendo levemente las propiedades elásticas del material que se deseaba construir.

Tabla comparativa de propiedades típicas de mezcla de base y agente de curado (100:5 en peso)

Base		SILASTIC 3483	SILASTIC 3481	SILASTIC 3481
Agente curado		SILASTIC 83	SILASTIC 81	SILASTIC 81F
Propiedad	Unidades	Valor		
Mezcla de base y agente de curado (100:5 en peso)				
Viscosidad en la mezcla	mPa.s	17.000	25.000	25.000
Color		Blanco	Blanco	Blanco
Tiempo de aplicación de la mezcla catalizada a 23°C	minutos	90-120	90-120	30-45
Tiempo de curado	horas	24	24	5
Material curado durante 7 días a 23°C (73,4°F)				
Dureza (Shore A)		13	21	22
Resistencia a la tracción	MPa	3,5	4,9	4,6
Alargamiento de rotura	%	600	560	520
Resistencia al desgarre	kN/m	25	26	23
Densidad relativa a 25°C (77°F)		1,15	1,20	1,20
Contracción lineal	%	0,2-0,4	0,2-0,5	0,2-0,5

Tras una nueva revisión de la idea se decide realizar el diseño de la membrana flexible incorporando una corruga concéntrica, con objeto de disminuir la energía del motor invertida en vencer la resistencia elástica de las membranas

Fig. 98 Detalle funcionamiento membrana elástica de sellado

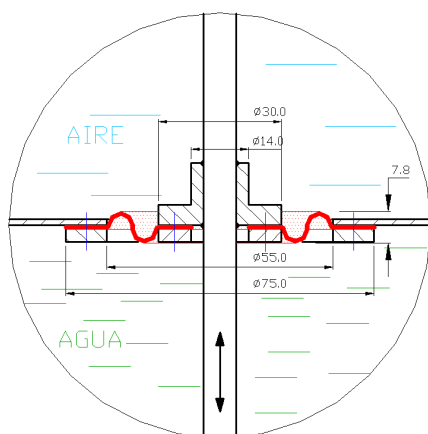


Fig. 99 Vástagos atravesando el casco



La adopción del sistema de sellado mediante membranas flexibles obliga al diseño en detalle de la pieza de acero que, moviéndose solidaria con el vástago, va a morder la parte central de la membrana. Se propone una pieza en forma de anillo cilíndrico, con un diámetro interior 0,1 mm menor que el diámetro exterior del vástago, la cual deberá ser montada tras ser dilatada.

4.7.2.2. Primer intento

Para la fabricación de la membrana se construye un molde mediante el mecanizado CNC de una placa de metacrilato de 20 mm de espesor.

El método inicial de fabricación consistió en lograr la forma de la cara inferior de la membrana mediante el empleo del molde y tratar de lograr la cara superior esculpiéndola mediante el empleo de los utensilios adecuados.

Fig. 100 Modelado virtual del molde de metacrilato

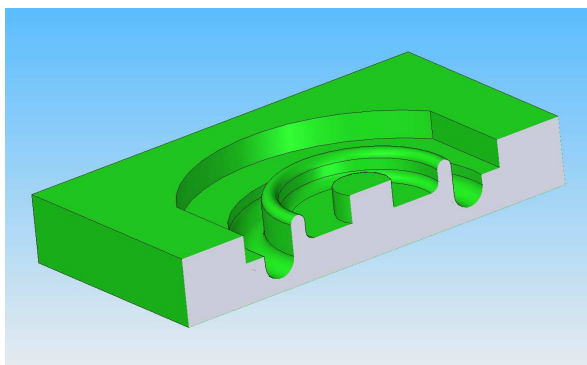


Fig. 101 Ensayo fabricación de membrana mediante adición de tixotrópico a la resina



Para poder esculpir la resina hubo de aplicársele un aditivo tixotrópico que le confiriese mayor viscosidad.

Así como la cara inferior de la membrana se logra reproducir con exactitud, la pequeña dimensión de la corruga dificulta enormemente el trabajo sobre la cara superior dando lugar a un resultado inadecuado

4.7.2.3. Segundo intento

Por tanto se adopta la decisión de modelar la membrana mediante el empleo de molde y contramolde (construidos mediante fresado CNC de placas de metacrilato de 20 mm) prescindiendo del aditivo tixotrópico.

Tras 48 h de curado y el desmoldeo, nuevamente se observa que la membrana sale defectuosa: presenta una porosidad que no es admisible.

4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

Fig. 102 Detalle de molde y contramolde

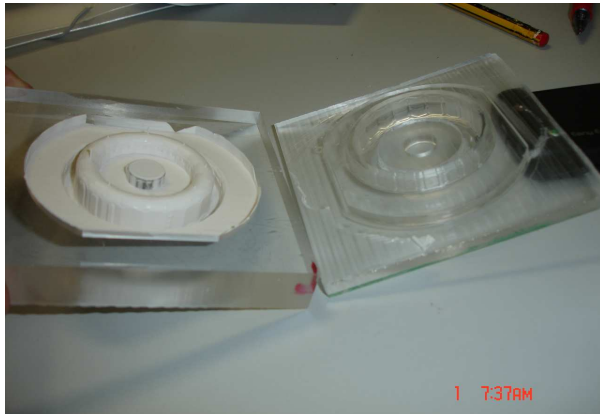


Fig. 103 Detalle de membrana porosa



4.7.2.4. Tercer intento

La solución que se adopta es la de verter la mezcla en el molde y extraer las burbujas mediante la exposición, aprox durante 2 min., a una presión próxima a 0 atm. en cámara de vacío del Laboratorio de Física de la EUP.

Fig. 104 Bomba de vacío



Fig. 105 Cámara de vacío



Tras ser sometida a vacío la presurización de la cámara se efectúa muy lentamente porque durante el tiempo de exposición al vacío la resina se expande, derramándose fuera del volumen que la debe contener, y al retornar la presión, si este proceso se realiza en poco tiempo, el volumen de resina derramada no vuelve al espacio que le corresponde.

Una vez a presión ambiente se coloca el contramolde sobre el molde y se deja curar el tiempo correspondiente

La membrana vuelve a salir defectuosa debido a que la resina no es capaz de llenar todo el interior del molde por causa de las bolsas de aire almacenadas en la parte más alta.

4.7.2.5. Cuarto intento

Para conseguir que la resina ocupe todo el espacio existente entre molde y contramolde se procede a practicar seis pequeños orificios ($d = 0.5 \text{ mm}$) en la parte más fina del molde superior a modo de purga. Una vez que se oprime la pieza superior sobre el molde que contiene la resina, se sabe que no queda aire dentro cuando se observa que por los seis agujeros salen hilos de resina fluida.

A partir de este punto se posee ya la experiencia necesaria para lograr obtener membranas de sellado con la calidad requerida.

Fig. 106 Membrana perfectamente construida y ya troquelada



Se ha observado en diversos casos un fallo en el proceso de extracción de las burbujas mediante la acción del vacío, dando como resultado una resina con aspecto de haber “hervido”. Finalmente se ha podido comprobar que la causa de este fenómeno ha sido debida al empleo de una resina en mal estado.

Fig. 107 Resina en mal estado sometida a vacío



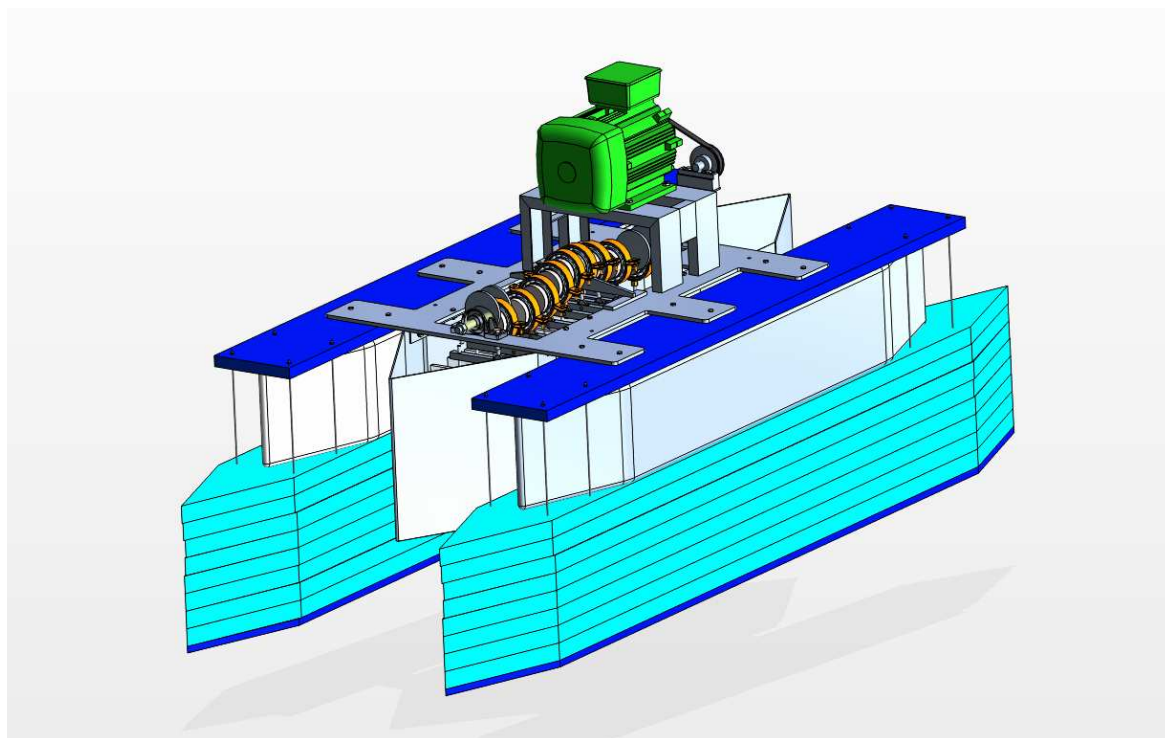
4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

4.7.3. Modificación al diseño original

Tal como ha sido anteriormente expuesto, debido a las dificultades encontradas para conseguir un sistema de sellado efectivo y dado que esto no constituye el objeto en sí de la investigación, fue escogida otra alternativa para poder ensayar el prototipo sin que le entrase agua al mecanismo: la de aumentar su flotabilidad hasta que el nivel de la línea de flotación estuviera por debajo de la superficie inferior del casco central de acero.

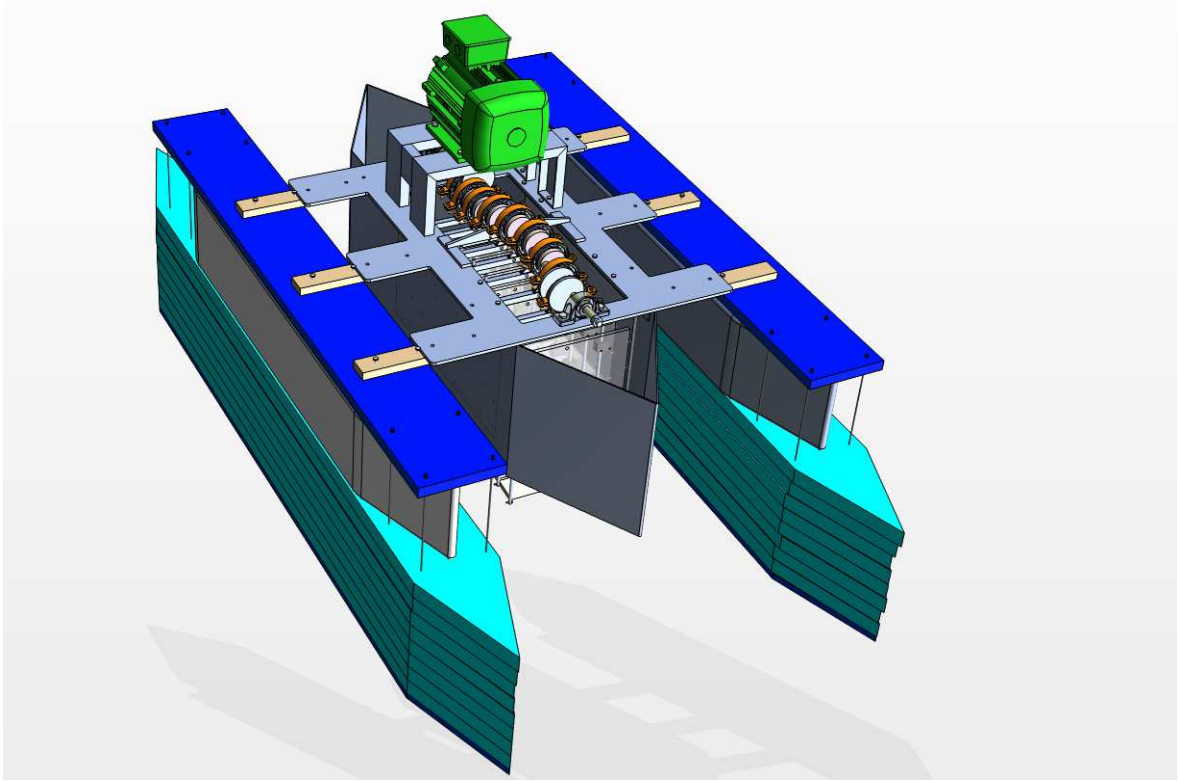
Para ello, se optó por suplementar cada uno de los flotadores originales laterales construidos en PRF, añadiendo a cada uno 8 láminas de FOAM de 40 mm de espesor. Para rigidizar el volumen añadido se incluyó en la parte inferior del mismo una chapa de tablero fenólico de 15 mm de espesor.

Fig. 108 Imagen virtual del prototipo con los flotadores suplementados



La elevación del centro de gravedad del prototipo por causa de la modificación de los flotadores obligó a realizar un nuevo estudio de estabilidad. Como consecuencia del resultado dicho estudio, se decide separar los flotadores 270mm en sentido transversal con el fin de aumentar el momento de inercia de la flotación.

Fig. 109 Imagen virtual del prototipo con los flotadores suplementados con la estabilidad modificada



4. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

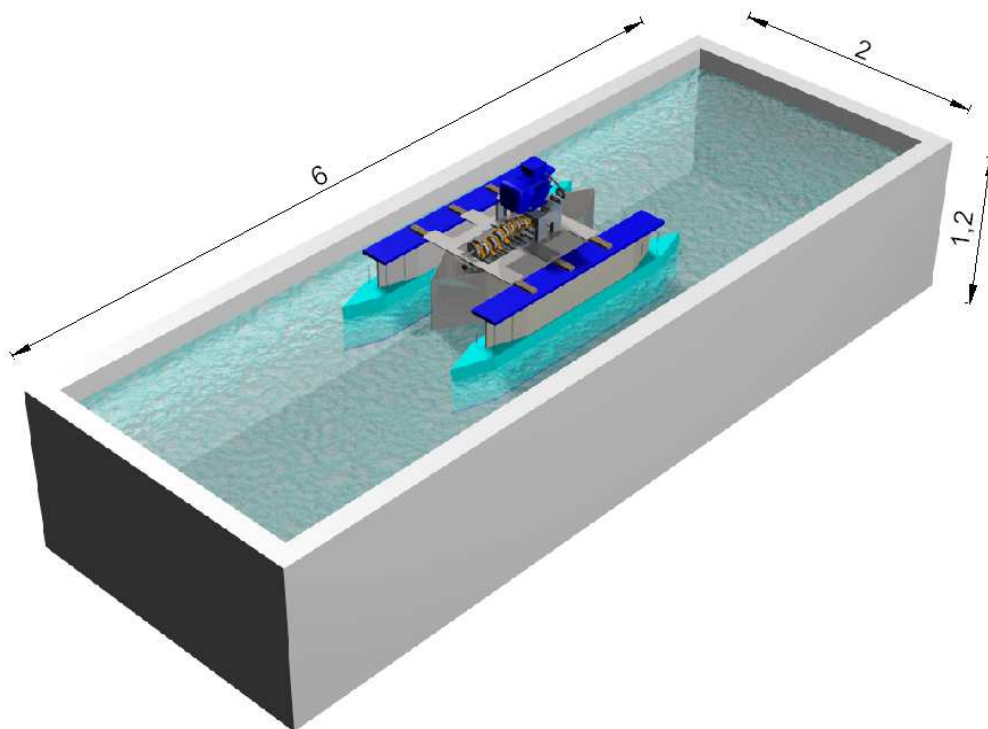
5. ENSAYO EN TANQUE

5.1 Tanque de ensayo

Para efectuar las pruebas de tracción a punto fijo se dispone de un tanque de ensayo, situado en el Laboratorio de Fibra de la EUP, de dimensiones: 6 x 2 x 1,2m, con su interior impermeabilizado mediante una capa de fibra de vidrio, que se dotó de un pescante con polipasto eléctrico de elevación de 200/400 Kg a fin de poder elevar y manipular el prototipo cuyo peso es del orden de 180 Kg.

La instalación incluye un tendido eléctrico aéreo móvil (Cu 3x4 mm² + TT), dispuesto a modo de guirnalda, con objeto de alimentar el motor del prototipo sin obstaculizar el desplazamiento de la plataforma de ensayo, con la tensión de salida del variador de frecuencia instalado ex profeso (Varistart 3 Kw fab TELEMECANICA),

Fig. 110 Recreación 3D renderizada del prototipo en el tanque de ensayo



El tanque de ensayo incluye un herraje, diseñado y construido específicamente para ser situado sobre la parte superior de la pared situada a popa del prototipo y sujetar la celda de carga, la cual soportará la fuerza de tracción ejercida por él.

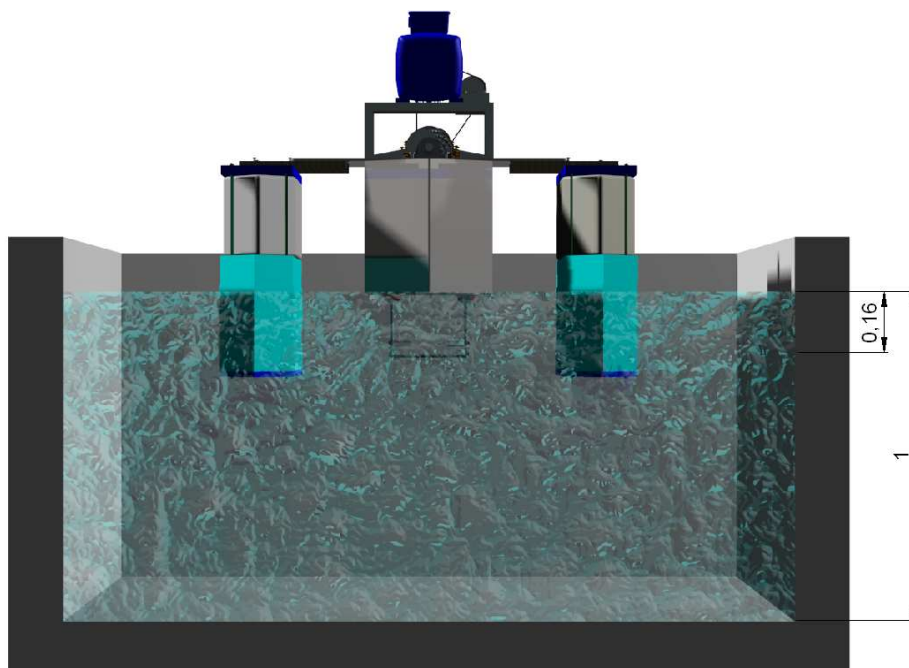
Se dispone de una depuradora de cartuchos con objeto de disminuir el número de renovaciones del agua del tanque por causa del deterioro del estado de la misma con el paso del tiempo.

5. CONSTRUCCIÓN PROTOTIPO

La red de suministro de agua permite el llenado del tanque (12 m^3) en aprox. 3 h. y la red de saneamiento de que dispone permite su vaciado aproximadamente en la misma cantidad de tiempo.

Se dispone asimismo de soportes sobre los cuales se puede posar el prototipo, tanto dentro como fuera del tanque, con objeto de realizar ajustes o pequeñas modificaciones.

Fig. 111 Sección frontal 3D renderizada del prototipo en el tanque de ensayo



La altura de la lámina de agua es de 1 m y la superficie propulsora se halla sumergida a 160mm. Se ha tratado de separar la superficie ondulante del fondo lo máximo posible con el objeto de evitar interferencias por efecto de pared.

Se dispuso el prototipo lo más alejado posible de la pared del tanque en la cual se instaló el soporte de la celda de carga con el fin de minimizar el retorno del agua proyectada contra dicha pared.

5.2 Sistema de adquisición de datos

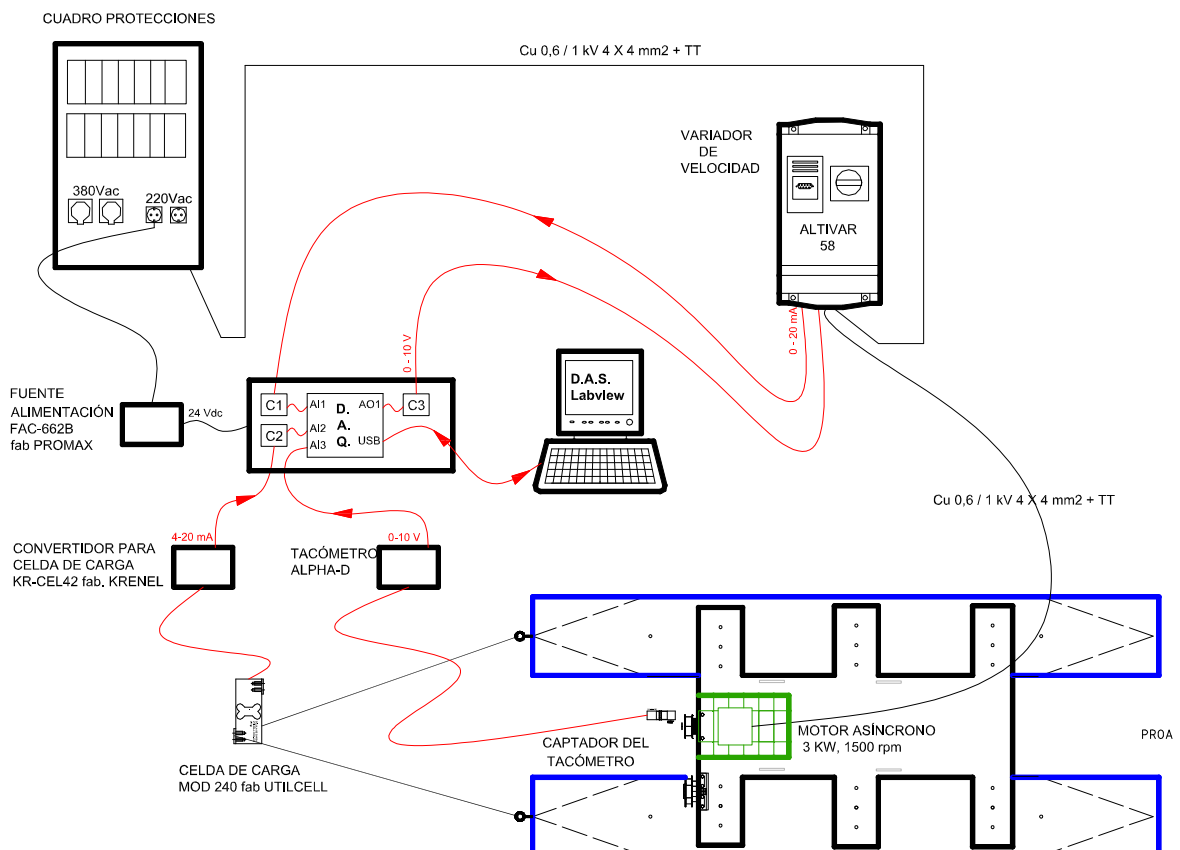
Para realizar el ensayo de tracción a punto fijo del prototipo se diseña un sistema de adquisición de datos de señales analógicas procedentes de tres transductores:

- Velocidad de rotación del eje motor
- Fuerza de tracción del prototipo
- Par mecánico entregado por el motor

Asimismo, se dispone de capacidad de generar una señal analógica para establecer, en modo remoto, consigna de velocidad del variador.

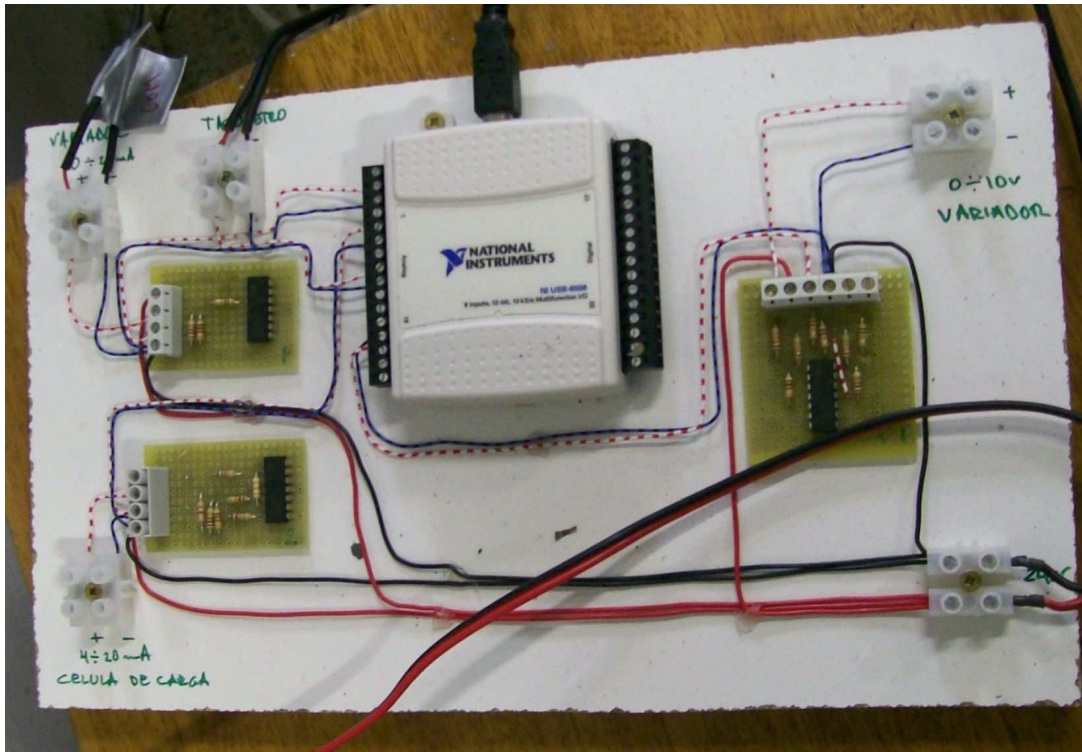
Se diseña una aplicación de software a medida para supervisión y captura de datos, así como para control del variador de velocidad.

Fig. 112 Representación esquemática del sistema de adquisición de datos



5. ENSAYOS EN TANQUE

Fig. 113 Fotografía de la electrónica diseñada para compatibilizar señales entre la instrumentación analógica empleada y la tarjeta de adquisición de datos



El esquema de conexionado de los aparatos figura en APÉNDICE 3

5.2.1. Captura de señal, imagen de la velocidad de rotación del eje motor (AI3):

Transductor: detector de presencia inductivo

Empleado para alimentar al tacómetro mediante un pulso de salida por cada vuelta del eje del motor

Ref.: TLX-30-P-15-E1

- Alcance 15 mm
- PNP

Tacómetro (configuración de ajustes en ANEXO 3)

Panel programable empleado para supervisar las rpm ofrecidas por el motor

Mod. ALPHA-D de DITEL

Tarjeta salida analógica 1-10 V Mod. ANA de DITEL

5.2.2. Captura de señal, imagen de la fuerza de tracción del prototipo (AI2):**Transductor: célula de carga en flexión**

Empleada para recibir la fuerza de tracción ejercida por el barco y transformarla en una señal eléctrica proporcional

Fab. UTILCELL Mod. 240

- Carga nominal: 5 Kg
- Clase de precisión: 4000 (n. OIML)
- División mínima: 0.6 g
- Carga en servicio: 6 Kg

Convertidor

Empleado para convertir la señal de fuerza generada por la celda de carga a una magnitud proporcional en forma de bucle de corriente. Dispone de ajuste de SPAN y CERO.

Fab KRENEL mod. KR-CÉL 420

- Entrada
 - Excitación de célula: 10 V
 - Rango de ganancia: 1mV – 4 mV
- Salida
 - Intensidad máxima: 25 mA
 - Resistencia de carga: ≤ 500 Ohm

Adaptación de la señal analógica procedente del convertidor

Circuito C2 (esquema en APÉNDICE 4) diseñado para convertir la señal analógica de salida de 4-20 mA en una señal proporcional 0-10 V inteligible por la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) USB 6008 fab National Instruments

5.2.3. Captura de señal, imagen del par entregado por el motor eléctrico (AI1):

Estimación del par entregado por el motor mediante el propio ALTIVAR 58 y salida proporcional 0-20 mA a través de tarjeta de expansión VW3-A58201

Adaptación de la señal analógica procedente del variador

Circuito C1 (esquema en APÉNDICE 4) diseñado para convertir la señal analógica de

5. ENSAYOS EN TANQUE

salida de 0-20 mA en una señal proporcional 0-10 V inteligible por la tarjeta de adquisición de datos (DAQ) USB 6008 fab National Instruments

5.2.4. Emisión de señal para consigna de frecuencia del variador de velocidad (AO1):

Salida analógica 0-5 V de la tarjeta de adquisición de datos de datos (DAQ) USB 6008 fab National Instruments

Adaptación de la señal analógica procedente de la DAQ

Circuito C3 (esquema en APÉNDICE 4) diseñado para convertir la señal analógica 0-5 V de salida de la DAQ en una señal proporcional 0-10 V inteligible por la tarjeta de expansión VW3-A58201 del variador de velocidad

5.2.5. Tarjeta de adquisición de datos

NI USB-6008

- 8 entradas analógicas (12 bits, 10 kS/s)
- 2 salidas analógicas (12 bits a 150 S/s), 12 E/S digitales; contador de 32 bits
- Energizado por bus para una mayor movilidad, conectividad de señal integrada

5.2.6. Software diseñado específicamente para la aplicación :

Se diseña una “pantalla de explotación” empleando para ello el entorno de programación gráfica LABVIEW y se instala en un ordenador portátil.

La aplicación diseñada incluye tres gráficos históricos correspondientes a la representación en el tiempo de las magnitudes físicas del ensayo correspondientes a:

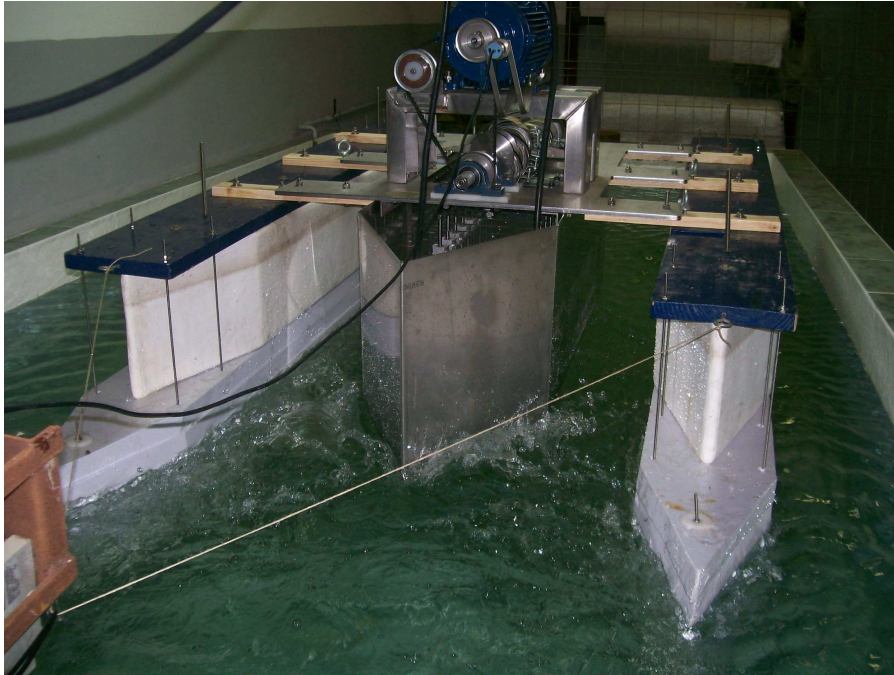
- Par entregado por el motor
- Velocidad de giro del eje motor
- Fuerza de tracción entregada por el prototipo

Asimismo se incluye en la aplicación un icono de control que permite establecer la consigna deseada de velocidad de giro del eje motor.

5.3 Ensayo en tanque

Se realizan los ensayos de tracción a tiro fijo en el tanque de pruebas del laboratorio de fibra de la EUP

Fig. 114 Imagen correspondiente a ensayo de tracción a punto fijo



Al realizar las experiencias se constató la existencia de un fenómeno que, sin duda, tiene influencia notable en los resultados que se pueden medir, ya que disminuye considerablemente la fuerza impulsora que se produciría si no existiese este fenómeno.

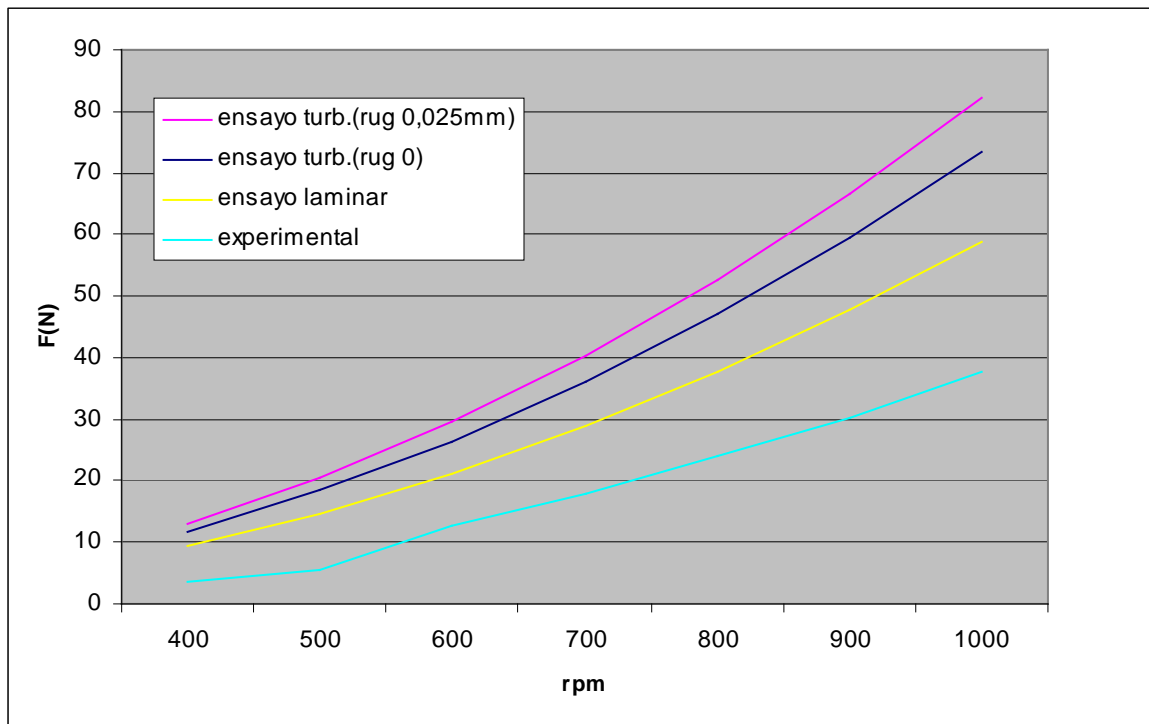
Se trata de que la perturbación producida por el avance de la onda en la aleta, pese a estar ésta totalmente sumergida, alcanza de forma ostensible la superficie libre de líquido, produciendo un tren de olas superficiales que inciden de forma negativa en los resultados que se habrían podido obtener en el caso de que dicha perturbación no llegase de forma apreciable a dicha superficie libre.

Para evitar esto, la profundidad de inmersión de la aleta tendría que ser bastante mayor, y esto obligaría a concebir y construir un nuevo prototipo, que se hará en un futuro, pero para ello se requiere un presupuesto adicional, ya que el actual está agotado, causando además el retraso *sine-die* de la presentación de los resultados de la investigación, de la que entendemos que los objetivos principales establecidos, como son la construcción de un

5. ENSAYOS EN TANQUE

prototipo experimental y el desarrollo de un modelo CFD para predecir su comportamiento han sido ya alcanzados

Fig. 115 Curva correspondiente a ensayo de tracción a punto fijo



En la tabla y gráfica adjuntas se representan los valores medios de fuerza de tracción obtenida para cada régimen de rpm, tanto con los modelos CFD como en ensayos de tracción a punto fijo en tanque de pruebas.

Por encima de 500rpm la curva de fuerza de tracción extraída de los ensayos en tanque se aproxima a una parábola de segundo orden ($F = K \cdot \text{rpm}^2$)

Es evidente la diferencia en los resultados obtenidos entre las simulaciones CFD y los ensayos efectuados en el tanque, aunque se van correspondiendo de forma lógica. Siendo ésta, en su mayor parte, achacables a que en el modelo CFD-2D empleado no existen pérdidas de empuje por efecto de flujos transversales aparte de la gran pérdida de eficiencia, tanto en las fuerzas obtenidas como consecuentemente en el rendimiento esperado, por la formación de olas en la superficie libre debido a la perturbación que provocan las ondas generadas por la aleta, que sí tienen lugar en los ensayos en tanque con el prototipo

6. CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones

6.1.1. Modelo CFD

Ha sido elaborado un modelo 2D que trata de reproducir el comportamiento del propulsor ondulatorio diseñado.

Ha sido comprobado, mediante análisis CFD, que la fuerza calculada de empuje del propulsor varía con su frecuencia de funcionamiento según una ley que sigue una curva parabólica de la forma $F = K \times \text{rpm}^2$. Asimismo, ha sido verificado que esta fuerza de empuje también aumenta proporcionalmente con la amplitud de la forma de onda, reforzando con ello la teoría del Dr. González.

Ha sido construida la curva de *coeficiente de empuje* (K_T en el diagrama de propulsor aislado) en función del grado de avance (J), siendo posible con ella predecir el empuje que calculará el modelo CFD para diversas velocidades de avance y para diversas frecuencias de funcionamiento, para una misma geometría de superficie propulsora.

6.1.2. Prototipo

Ha sido diseñado, construido y ensayado un prototipo innovador de propulsor ondulatorio para medio acuático. Las innovaciones incorporadas han sido protegidas mediante patente de invención.

Ha sido diseñada y construida una plataforma flotante para ensayo de tracción a punto fijo de dicho propulsor, así como un sistema de adquisición de datos del ensayo

6.1.3. Pruebas en tanque

Mediante pruebas en tanque ha sido obtenida una curva de ensayo de tracción a punto fijo (obteniéndose, como cabía esperar, para la fuerza de tiro en función de las rpm, una figura aproximada a una parábola de 2º grado, excepto en los puntos de ensayo por debajo de 600 rpm, probablemente debido a un defecto en el procedimiento de calibración de la celda de carga.) Los resultados que se obtienen son inferiores a los que predice el modelo CFD-2D. Esta desviación en dichos resultados se debe a pérdidas:

- Principalmente por flujos transversales en los ensayos con el prototipo (no contemplados en el modelo 2D)

6. CONCLUSIONES

- Por generación de olas. Los ensayos fueron realizados con la intención de que el propulsor trabajara totalmente sumergido y sin tener en cuenta las olas que se generan en la superficie. El propulsor trabaja sumergido, sin embargo, para que no se formaran olas en la superficie, tendría que construirse un prototipo de propulsor y un tanque de ensayo en el que aquél estuviera situado a gran profundidad, lo cual no es posible con los medios disponibles.
- Por efecto pared
- Por cortocircuitos hidráulicos entre ambas caras de la superficie ondulante del prototipo (huelgos en las articulaciones de los segmentos)

Las fuerzas axiales en sentido de propulsión de la onda que produce la aleta, tanto calculadas con CFD como medidas con el prototipo son considerablemente menores que las que se estiman en el procedimiento ideal de cálculo que se presenta en el Cap. Objetivos, de la presente tesis, en el cual no se tiene en cuenta la viscosidad del fluido y además se realiza la hipótesis de que todo el flujo queda confinado en un conducto cerrado de sección $2a \times b$, en el cual el caudal saliente únicamente tiene componente axial de velocidad.

6.1.4. Se fijan los cimientos de una nueva línea de investigación

La forma de onda de la superficie propulsora deberá ser evolucionada, por medio de su estudio, con el objeto de conocer la topología de forma de onda que se correspondería con una mayor fuerza propulsora, así como la topología que se correspondería con un rendimiento óptimo, tanto para el caso de flujo confinado como de flujo libre.

El modelo elaborado sobre código comercial FLUENT va a servir en el futuro para predecir la influencia que, sobre el rendimiento y fuerza propulsora, tendrían hipotéticas modificaciones realizadas sobre la forma de onda. De este modo se podrán evitar los sucesivos ensayos en tanque de las configuraciones de propulsor correspondientes a cada estado de evolución del mismo.

6.2. Aportaciones originales

Se diseña, construye y ensaya un prototipo de propulsor ondulatorio el cual sirve de base para ser escalado para la propulsión de buques de diversos portes y otras aplicaciones, así como para el estudio de las modificaciones convenientes para su optimización.

- Se inventa un mecanismo de conversión de movimiento de rotación del eje motriz en un movimiento ondulante que se patenta, con nº registro: P200500384
- Se diseña una superficie ondulante impulsora compuesta exclusivamente por sólidos rígidos. Se patenta, con nº registro: P200803079
- El empuje, que es generado mediante la ondulación de la superficie propulsora, se transmite a la plataforma de ensayo mediante una interacción mecánica distribuida entre todas las articulaciones de la superficie. En este caso los 18 rodamientos lineales actúan como chumaceras, recibiendo la fuerza de propulsión generada por la forma de onda y transmitiéndola a la estructura de soporte.

Ha sido elaborado un modelo, mediante el empleo del código comercial FLUENT, que predice el comportamiento como propulsor del prototipo construido y es aplicable a sucesivos ensayos (incluido 3D) en la búsqueda de la configuración óptima. Se ha modelizado el movimiento del mallado del dominio computacional mediante dos formas alternativas, empleando las macros:

1. DEFINE_CG_MOTION: la cual aplica las expresiones obtenidas en el apartado 5.2.1.4:
 - *velocidad lineal de la corredera en el eslabonamiento de tres barras manivela-corredera a la corredera nº 1*
 - *velocidad angular del segmento de membrana a cada segmento de membrana*
2. DEFINE_GRID_MOTION: la cual aplica las expresiones obtenidas en el apartado 5.2.1.4:
 - *velocidad lineal de la corredera en el eslabonamiento de tres barras manivela-corredera a todas las correderas*

6. CONCLUSIONES

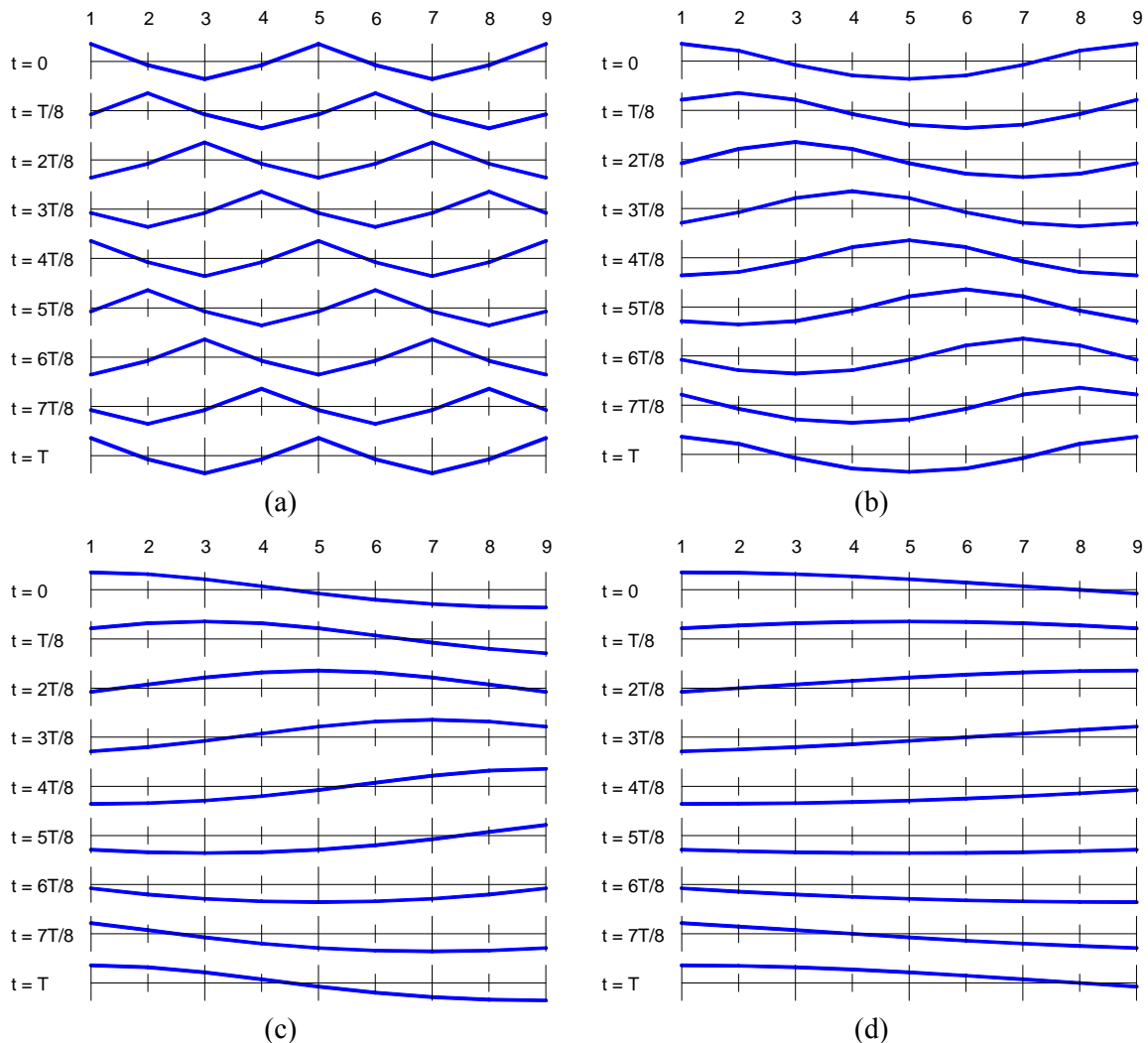
6.3. Trabajo futuro

<p>Determinación de método para obtener la eficiencia del propulsor en el experimento:</p> <p>Proporción entre la energía del fluido desplazado en sentido positivo del eje X y la energía del fluido (desplazado en sentido negativo del eje X + desplazado en sentido positivo del eje Y + desplazado en sentido negativo eje Y + desplazado en sentido positivo del eje Z + desplazado en sentido negativo eje Z)</p>		
<p>Empleo de modelos más precisos (mallados estructurados) para flujo turbulento</p>	<p>Empleo de cluster de ordenadores</p>	<p>Determinación de la variación de las prestaciones (fuerza, rendimiento) del propulsor con:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Amplitud del movimiento armónico lineal de los segmentos • Amplitud del movimiento armónico angular de los segmentos • Desfase entre ambos movimientos armónicos <p>Exploración del comportamiento de nuevas formas de superficie ondulante/oscilante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Superficies con forma de fracción de onda (figs. 116-c, d) • Superficies con forma de un número 'n' de ondas (fig.116-a) • Superficies que se ondulan con una amplitud creciente desde el leading edge hasta el trailing edge (fig 117)
	<p>Trabajo empleando los recursos del Centro de Supercomputación de Galicia (CESGA)</p>	<p>Modelado 3D</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejora del rendimiento de propulsión mediante el confinado del flujo de impulsión en un ducto rectangular. • Exploración del comportamiento de formas de superficie ondulante/oscilante con formas próximas a las aletas caudales de los peces que emplean el modo de nado tuniforme (fig. 118)

Construcción de una nueva plataforma para ensayo del propulsor en aguas libres, de tal manera que sea capaz de soportar también el peso del variador de frecuencia, de un grupo electrógeno de 4 KV y de una persona que opere el conjunto

Construcción de un mecanismo robusto de accionamiento de la superficie ondulante de tal manera que permita variar, en marcha, la amplitud del movimiento armónico lineal de cada par de vástagos de modo independiente, así como la frecuencia de funcionamiento del conjunto, de tal manera que permita variar la forma de la onda sin detener la marcha del propulsor. Una opción de elementos accionadores podría ser tal vez la del empleo de músculos neumáticos.

Fig. 116 Formas de onda objeto de estudio: (a) múltiple (b) unidad, estudiada en el presente trabajo (c) media onda (d) un cuarto de onda

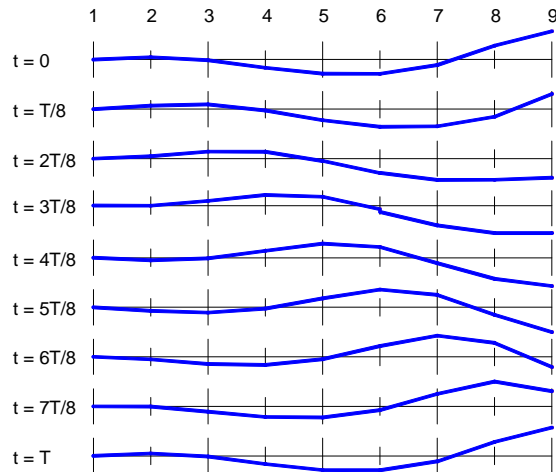


Las formas de onda a, c, d, se pueden generar fácilmente con el actual prototipo sin otra modificación que la de reemplazar el eje de excéntricas inicialmente construido (9 chaveteros decalados cubriendo 360° , de tal manera que el primero esté en fase con el

6. CONCLUSIONES

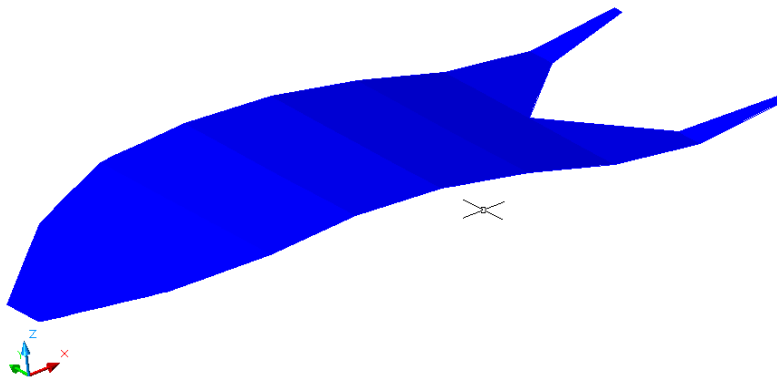
último) por uno nuevo en el cual los nueve chaveteros cubran 720° (a), 180° (c) o 90° (d). Para generar la forma de onda representada en fig. 116-a sería necesario, además, el diseño de nuevos segmentos de onda, puesto que los que están incorporados en el actual prototipo no son compatibles con el incremento de distancia entre ejes articuladores contiguos que tendría lugar en una ondulación de la forma representada en esquema a.

Fig. 117 Forma de onda cuya amplitud se incrementa desde el leading edge hasta el trailing edge (futuro objeto de estudio)



La forma de onda representada en fig. 117 se generaría con excéntricas de respectivos radios equivalentes de manivela de: 0, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32 mm. Por tanto, para poder implementar una forma similar en el prototipo sería necesario rediseñar las excéntricas: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, así como los tres últimos segmentos.

Fig. 118 Superficie propulsora diseñada sobre la base de la superficie actualmente existente en el prototipo, tratando de aproximarse a la forma de la aleta caudal de un pez



7. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

1. Adkins, D., Yan, Y.Y., CFD simulation of fish-like body moving in viscous liquid, 2006, *Journal of Bionic Engineering*, vol. 3, number 3, pp. 147-153.
2. Anderson, J.M. and Kerrebrock, P.A., "The Vorticity Control Unmanned Undersea Vehicle (VCUUV) Performance Results," Proc. 11th Int. Symp. on Unmanned Untethered Submersible Technology, Durham, NH, August 1999. Also, Draper Report no. P-3747.
3. Au, Chingy, Au Lawrence, Patent ref.: US 5611666 A (18/03/1997)
4. Ayers, J., Wilbur, C., Olcott, C. (2000) Lamprey Robots. Proceedings of the International Symposium on Aqua Biomechanisms. T. Wu and N, Kato, [eds]. Tokai University
5. Barret, D.S., Triantafyllou, M.S., Yue, D.K.P., Grosenbaugh, M.A., and Wolfgang, M.J. (1999) Drag reduction in fish-like locomotion. *Journal of Fluid Mechanics* 392, 183-212.
6. Bastero J.M., Casellas J.; *Curso de Mecánica*; EUNSA; 1.982
7. Bethenod, MM.J., Nouveau Propulseur, Patent ref. FR 743951 A (10/04/1933)
8. Borazjani, I. and Sotiropoulos, F., 2008, Numerical investigation of the hydrodynamics of carnguiform in the transitional and inertial flow regimes, *The Journal of Experimental Biology*, vol. 211, pp 1541-1558.
9. Borazjani, I. and Sotiropoulos, F., 2009, Numerical investigation of the hydrodynamics of an anguilliform swimming in the transitional and inertial flow regimes, *The Journal of Experimental Biology*, vol. 212, pp 577-592.
10. Bordner, G.L. (1978) Non linear analysis of laminar boundary layer flow over a periodic wavy wall, *Physics of Fluids* 21, 1471.
11. Bozkurttas, M., Tangorra, J., Lauder, G., Mittal, R., 2008, Undersanding the hydrodynamics of swimming: from fish fins to flexible propulsors for autonomous underwater vehicles, *Advances in Science and Technology*, vol. 58, pp. 193-202.
12. C.M. Breder. *The locomotion of fishes*; *Zoologica* 1926, vol 4, 159-297
13. Caponi, E.A., Fornberg, B., Knight, D.D., McLean, J.W., Saffman, P.G. and Yuen, H.C. (1982) Calculations of laminar viscous flow over a moving wavy surface. *Journal of Fluid Mechanics* 124, 347-362.
14. Carling, J., Williams, T.L. and Bowtell, G., 1998, Self-propelled anguilliform swimming: Simultaneous solution of the two-dimensional Navier-Stokes equations and Newton's laws of motion, *Journal of Experimental Biology*, vol. 201, pp. 3143-3166.
15. Chen Xin, Lu Chuang-jing. Numerical simulation of ventilated cavitation flow around a 2D foil. *Journal of Hydrodynamics*, 2005, 15(5):607-614
16. Chen Ying, Lu Chuan-jing and Wu Lei. Modelling and computation of unsteady turbulent cavitation flows. *Journal of Hydrodynamics*, 2006, 18(5):559-566
17. Cherukat, P., Na, Y., Hanratty, T.J., McLaughlin, J.B. (1998). Direct numerical simulation of a fully developed turbulent flor over a wavy wall. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, 11, 109-134.

7. BIBLIOGRAFIA

18. Chico y Gárate J. Algunas ideas sobre propulsión ondulatoria; Ingeniería Naval num. 240 (jun1955)
19. De Juan J.M. Principios de Teoría del Buque; Ed. Universidad de A Coruña.
20. Dillon, R.H. and Fauci, L.J., 2000, An integrative model of internal axoneme mechanics and external fluid dynamics in ciliary beating, *Journal of Theoretical Biology*, vol. 207, pp. 415-430.
21. Doormal J.P. et al. Enhancement of the SIMPLE method for predicting incompressible fluid flows. *Numerical Heat Transfer*, 1984, 7(2): 147-163
22. Eldredge J. Numerical simulation of the fluid dynamics of 2D rigid body motion with the vortex particle method, *J Comp Phys* 221(2007) 626-648
23. Eldredge J. Numerical simulation of undulatory swimming at moderate Reynolds number; 2006 *Bioinspir. Biomim.* 1 S19-S24
24. Eldredge J.D. Numerical simulation of the fluid dynamics of 2D rigid body motion with the vortex particle method; *J Computational Physics* 221 (2007) 626-648
25. EMEC. EMECRid research strategy (2006). Available from http://www.emec-marine-equipment.org/emecrid/research_strategy.asp
26. Erdman A.G., Sandor G.N. *Diseño de Mecanismos. Análisis y Síntesis* 3ª edición, Prentice Hall, México, 1998
27. Fauci, L.J., 1996, A computational model of the fluid dynamics of undulatory and flagellar swimming, *American Zoologist*, vol. 36, pp. 599-607.
28. Fish F. E. Effect of angle of attack profiles in flapping foil propulsion; *Journal of Fluids and Structures*, Volume 19, Issue 1, January 2004, Pages 37-47
29. Flinn y Trojan, *Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones*. Ed. Mc Graw-Hill
30. FLUENT 6.3 Documentation, 2006, FLUENT Inc.
31. Glyn James, E., Apparatus for the propulsion of watercraft, Patent ref. GB 564018 A (08/09/1944)
32. González P.B. Sistema de impulsión ondulante; Patente de invención ref. P200002012 (08/10/2003) E
33. González P.B., Rodríguez J.D. Sistema de impulsión ondulante, Patente de invención ref P200500384 (24/02/2005) E
34. González P.B., Rodríguez J.D., Fernández M.V. Superficie ondulante, Documento de solicitud de Patente de invención ref P200803079 (24/11/2008) E
35. González P.B., Rodríguez, J.D., Rodríguez C.G., Lamas I. Numerical modeling and experimental investigation of a biologically-inspired undulating marine propeller. HEFAT2010. 7th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics. Antalya, Turkey
36. Hirata, K., Development of Experimental Fish Robot, Sixth International Symposium On Marine Engineering (2000), p.711-714.
37. Hoo E., Do K. An investigation on the lift force of a wing pitching in dynamic stall for a control vessel. *Journal of Fluids and Structures*, 2000, 14(6): 757-777
38. Hufton et al., Fluid Flow Apparatus, Patent ref. US 3620651 A (16/11/1971)

39. Jindong L., Huosheng H Building a 3D simulator for autonomous navigation of robotic fishes; (IEEE) IROS 2004 proceedings, vol.1, 613- 618
40. Jindong Liu, Ian Dukes, Huosheng Hu Novel Mechatronics Design for a Robotic Fish 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems
41. Kern, S., Koumoutsakos, P., 2006, Simulations of optimized anguilliform swimming, *The Journal of Experimental Biology*, 209, pp. 4841-4857.
42. Lamas I., Rodríguez J.D., Rodríguez C.G., González P.B. Design aspects and two-dimensional CFD simulation of a marine propellant based on a biologically-inspired undulating movement. *Journal of Maritime Research* Volume 7, Number 2. (2010)
43. Launder B.E. et al. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1974, 3(2): 269-289
44. Lewin, G.C. and Haj-Hariri, H., 2003, Modelling thrust generation of a two-dimensional heaving airfoil in a viscous flow, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 492, pp. 339-362.
45. Li Dan-yong, Liu Nan-xeng, Lu Xi-yun et al. Force characteristics and vortex shedding of a pitching foil in shear flows. *Journal of Hydrodynamics*, 2005, 17(1): 27-33
46. Lighthill J., *Mathematical biofluidynamics*. Society for Industrial for Applied Mathematics. Philadelphia. 1975.
47. Liu Zhen, Hyun Beom-soo, Kim Moo-rong, Jin Ji-yuan, (2008) Experimental and numerical study for hydrodynamic characteristics of an oscillating hydrofoil. *Journal of Hydrodynamics* 2008,20(3): 280-287
48. Liu, H. and Kawachi, K., 1999, A numerical study of undulatory swimming, *Journal of Computational Physics*, vol. 155, pp. 223-247.
49. Liu, H., Wassersug, R. and Kawachi, K., 1997, The three dimensional hydrodynamics of tadpole locomotion, *Journal of Experimental Biology*, vol. 200, pp. 2807-2819.
50. Liu, H., Wassersug, R.J., and Kawachi, K., 1996, A computational fluid dynamics study of tadpole swimming, *Journal of Experimental Biology*, vol. 199, pp. 1245-1260.
51. Low K H Mechatronics and buoyancy implementation of robotic fish swimming with modular fin mechanisms Proc. IMechE Vol. 221 Part I: J. Systems and Control Engineering
52. Low K. H., Yu Junzhi, Development of Modular and Reconfigurable Biomimetic Robotic Fish with Undulating Fins Proceedings of the 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics December 15 -18, 2007, Sanya, China
53. Low, K.H. (2008) Locomotion simulation and system integration of robotic fish with modular undulating fin. *International Journal of Simulation* 7 (8), 64-77.
54. Low. K.H Modelling and parametric study of modular undulating fin rays for fish robots. *Mechanism and Machine Theory* 44 (2009) 615–632
55. Markatos, N.C.G. (1978) Heat mass and momentum transfer across a wavy boundary. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 14, 323-376.

7. BIBLIOGRAFIA

56. McLean, J.W. (1983) Computations of turbulent flow over a moving wavy boundary. *Physics of Fluids* 26, 2065-2073.
57. MIT AUV Laboratory; Available from: <http://auvlab.mit.edu/>.
58. MIT Towing Tank. Robo-Pike; Available from: <http://web.mit.edu/towtank/www/Pike/pike.html>.
59. MIT Towing Tank. Robo-Tuna; Available from: <http://web.mit.edu/towtank/www/Tuna/tuna.html>.
60. Norton R. Diseño de maquinaria; Mc Graw Hill, 2005
61. Ortiz L. Curso de Elasticidad y Resistencia de Materiales; Universidad Politécnica de Madrid; 1.985
62. Patel, V.C., Chon, J.T. and Yoon, J.Y. (1991) Laminar flow over wavy walls. *Journal of Fluids Engineering* 113, 574.
63. Patel, V.C., Chon, J.T. and Yoon, J.Y., (1991) Turbulent flow in a channel with a wavy wall. *Journal of Fluids Engineering* 113, 579.
64. Perez G. Detailed Design of Ship Propellers; Fondo Editorial del Colegio Oficial de Ingenieros Navales
65. Pérez Rojas L., Abad R. Prácticas de Teoría del Buque (volumen II); Canal de Ensayos Hidrodinámicos ETSIN
66. Pesenti A. Tutorial de creación de UDF para mallado dinámico. Available from: <http://adrienpesenti.perso.cegetel.net/maillage%20dynamique.html>
67. Punning A., Anton M., Kruusmaa M. and Aabloo A., A biologically inspired ray-like underwater robot with electroactive polymer pectoral fins, *Proceedings of the International IEEE Conference Mechatronics and Robotics 2004 (MechRob'04)*, vol. 2 13–15 September, Aachen, Germany (2004), pp. 241–245.
68. Read, D.A., F.S. Hover, Triantafyllou M.S. Forces on oscillating foils for propulsion and maneuvering; *Journal of Fluids and Structures, Volume 17, Issue 1, January 2003, Pages 163-183*
69. Rodríguez J.D., Gonzalez P.B., Couce A., González G. Undulating propulsion system design. Selected Proceedings XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Badajoz (2009)
70. Rodríguez C.G., Gonzalez P.B., Rodriguez J.D., Fernández M.V., Estimación de las prestaciones de un propulsor ondulatorio marino mediante CFD y comprobación experimental. XIV International Congress on Project Engineering (1st Latin American Conference on Project Engineering) Madrid (2010)
71. Schouveiler L., Hover F.S., Triantafyllou M.S. Performance of flapping foil propulsion; *Journal of Fluids and Structures, Volume 20, Issue 7, October 2005, Pages 949-959*
72. Sfakiotakis, M. Laue, D.M. Davies, B.C. An experimental undulating-fin device using the parallel bellows actuator (IEEE) ICRA 2001, Volume: 3, 2356- 2362
73. Shen, L., Zhang, X., Yue, D.K.P. and Triantafyllou, M.S., 2003, Turbulent flow over a flexible wall undergoing a streamwise travelling wave motion, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 484, pp. 197-221.

74. Shih T. H. et al. A new $k - \epsilon$ eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows. *Computer and Fluids*, 1995, 24(3): 227-238
75. Simons D.G., Bergers M., Henrion S., A highly versatile autonomous underwater vehicle with biomechanical propulsion. IEEE OCEANS 2009 paper (galatea Project)
76. Song Hong-jun, Wang Zhao and Yin Xie-zhen. Numerical simulation on unsteady motion of 2D airfoil. *Journal of Hydrodynamics*, 2004, 19:896-903
77. Soueid H., Guglielmini L., Airiau C., Bottaro A., Optimization of the motion of a flapping airfoil using sensitivity functions. *Computers & Fluids* 38 (2009) 861-874
78. Stafiotakis M, Lane D M, Davies B C. Review of fish swimming modes for aquatic locomotion; *IEEE J Oceanic Eng*, 1999, vol. 24, n°2, pp. 237-252
79. Streitlien, K.G. S. Triantafyllou G.S. On thrust estimates for flapping foils; *Journal of Fluids and Structures*, Volume 12, Issue 1, January 1998, Pages 47-55
80. Tian-jinag, H., Lin-cheng, S. and Pei-ling, G., 2006, CFD validation of the optimal arrangement of the propulsive dorsal fin of *gymnarchus niloticus*, *Journal of Bionic Engineering*, vol. 3, pp. 139-146.
81. Triantafyllou M.S., Triantafyllou G. S. An efficient swimming machine; *Scientific American*. 1995; 272: 64-70.
82. Triantafyllou G. S., Triantafyllou M.S., Grosenbaugh M.A. Optimal Thrust Development in Oscillating Foils with Application to Fish Propulsion; *Journal of Fluids and Structures*, Volume 7, Issue 2, February 1993, Pages 205-224
83. Versteeg H. K., Malalasekera W. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Ed Pearson; 2.007
84. WATERBORNE. Strategic research agenda, (03.05.2008) Available from <http://www.waterborne-tp.org/index.php/documents>
85. Webb P. Maneuverability – General Issues; *IEEE J. Oceanic Eng*, vol. 29, 547 -555
86. Willy, A. Low, K.H. Initial experimental investigation of undulating fin; (IEEE) IROS 2005 proceedings, 1600- 1605
87. Willy, A. Low, K.H. Development and initial experimental of modular undulating fin for untethered biorobotic AUVs ; (IEEE) ROBIO 2005 proceedings, 45-50
88. Yang Yan, Lu Xi-yun and Yin Xie-zhen. Propulsive performance and vortex shedding of a foil in flapping motion. *Journal of Hydrodynamics*, Ser. B, 15(5):7-12 (2003)
89. Yong-hua Zhang, Lai-bing Jia, Shi-wu Zhang, Jie Yang, Low, K.H. (2007) Computational research on modular undulating fin for biorobotic underwater propulsor. *Journal of Bionic Engineering* 4, 25-32.
90. Zhang, D., Hu, D., Shen, L., Xie, H. (2007) Design of an artificial bionic neural network to control fish-robot's locomotion. *Neurocomputing*, 71, 648-654.

7. BIBLIOGRAFIA

APÉNDICE 1

UDF segmento 1

```

/*****
* Programa que gobierna el movimiento del sólido rígido SEGMENTO1
*****/
#include "udf.h"
#include "dynamesh_tools.h"
static real theta2 = 0.0;

/* 'a' longitud de la manivela (m) */
static real a= 0.02;

/* 'b' longitud de la biela (m) */
static real b= 0.08;

/* 'rpm' velocidad de giro del eje (rpm) */
static real rpm= 600;

/* 'x' distancia entre excéntricas (m) */
static real x= 0.065;

DEFINE_CG_MOTION(perfil12_600rpm,dt,vel,omega,time,dttime)
{
Thread *t;

real theta2, gradostheta2, dv, domega, reveje;

real u1, du1, theta31, dtheta31, d1, dd1;

real u2, du2, theta32, dtheta32, d2, dd2;

real ganma12, dganma12;

NV_S(vel, =, 0.0);

NV_S(omega, =, 0.0);

/* get the thread pointer for which this motion is defined */
t = DT_THREAD(dt);

/* cálculo de velocidad lineal (m / s)*/

/* cálculo de la velocidad del eje motiz "reveje" (rad / seg) */

reveje = (rpm/60)*(2*3.14159);

```

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

/ cálculo del avance (grados) del eje motriz como parámetro de control durante el cálculo */*

$\text{gradostheta2} = \text{rpm} * 360 * \text{time} / 60;$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 1 */*

$u1 = (a/b) * \sin(\text{reveje} * \text{time});$

$du1 = (a/b) * \text{reveje} * \cos(\text{reveje} * \text{time});$

$\text{theta31} = -\text{asin}(u1) + 3.1415;$

$d\text{theta31} = -du1 / \sqrt{1 - \text{pow}(u1, 2)};$

$d1 = a * \cos(\text{reveje} * \text{time}) - b * \cos(\text{theta31});$

$dd1 = -(a * \text{reveje} * \sin(\text{reveje} * \text{time}) + b * \sin(\text{theta31}) * d\text{theta31});$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 2 */*

$u2 = (a/b) * \sin(\text{reveje} * \text{time} - 3.1415/4);$

$du2 = (a/b) * \text{reveje} * \cos(\text{reveje} * \text{time} - 3.1415/4);$

$\text{theta32} = -\text{asin}(u2) + 3.1415;$

$d\text{theta32} = -du2 / \sqrt{1 - \text{pow}(u2, 2)};$

$d2 = a * \cos(\text{reveje} * \text{time} - 3.1415/4) - b * \cos(\text{theta32});$

$dd2 = -(a * \text{reveje} * \sin(\text{reveje} * \text{time} - 3.1415/4) + b * \sin(\text{theta32}) * d\text{theta32});$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del segmento 12 */*

$\text{ganma12} = \text{atan}((d2 - d1) / x);$

$d\text{ganma12} = 1/x * (dd2 - dd1) / (1 + \text{pow}(((d2 - d1) / x), 2));$

/ establece componente y de la velocidad del deslizador 1 */*

$\text{vel}[1] = dd1;$

/ establece componente z de la velocidad angular del segmento 12 */*

$\text{omega}[2] = d\text{ganma12};$

```
Message ("time = %f, gradostheta2 = %f, y_vel1 = %f, omega12 = %f, ", time,  
gradostheta2, vel[1], omega[2]);
```

```
}
```

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

UDF segmento 2

```
/* *****  
* Programa que gobierna el movimiento del sólido rígido SEGMENTO2  
* *****/  
# include "udf.h"  
# include "dynamesh_tools.h"  
static real theta2 = 0.0;  
  
/* 'a' longitud de la manivela (m) */  
static real a= 0.02;  
  
/* 'b' longitud de la biela (m) */  
static real b= 0.08;  
  
/* 'rpm' velocidad de giro del eje (rpm) */  
static real rpm= 600;  
  
/* 'x' distancia entre excéntricas (m) */  
static real x= 0.065;  
  
DEFINE_CG_MOTION(perfil23_600rpm,dt,vel2,omega2,time,dtime)  
{  
Thread *t;  
  
real theta2, gradostheta2, dv, domega, reveje;  
  
real u1, du1, theta31, dtheta31, d1, dd1;  
  
real u2, du2, theta32, dtheta32, d2, dd2;  
  
real u3, du3, theta33, dtheta33, d3, dd3;  
  
real ganma12, dganma12;  
  
real ganma23, dganma23;  
  
NV_S(vel2, =, 0.0);  
  
NV_S(omega2, =, 0.0);  
  
/* get the thread pointer for which this motion is defined */  
  
t = DT_THREAD(dt);
```

/ cálculo de velocidad lineal (m / s)*/*

/ cálculo de la velocidad del eje motiz "reveje" (rad / seg) */*

$$\text{reveje} = (\text{rpm}/60)*(2*3.14159);$$

/ cálculo del avance (grados) del eje motriz como parámetro de control durante el cálculo */*

$$\text{gradostheta2} = \text{rpm}*360*\text{time}/60;$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 1 */*

$$u1 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time});$$

$$du1 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time});$$

$$\text{theta31} = -\text{asin}(u1)+3.1415;$$

$$d\text{theta31} = - du1/\sqrt{1-\text{pow}(u1, 2)};$$

$$d1 = a*\cos(\text{reveje}*\text{time})-b*\cos(\text{theta31});$$

$$dd1 = -(a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}) + b*\sin(\text{theta31})*d\text{theta31});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 2 */*

$$u2 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/4);$$

$$du2 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/4);$$

$$\text{theta32} = -\text{asin}(u2)+3.1415;$$

$$d\text{theta32} = - du2/\sqrt{1-\text{pow}(u2, 2)};$$

$$d2 = a*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/4)-b*\cos(\text{theta32});$$

$$dd2 = -(a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/4) + b*\sin(\text{theta32})*d\text{theta32});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 3 */*

$$u3 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/2);$$

$$du3 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/2);$$

$$\text{theta33} = -\text{asin}(u3)+3.1415;$$

$$d\text{theta33} = - du3/\sqrt{1-\text{pow}(u3, 2)};$$

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

```
d3 = a*cos(reveje*time-3.1415/2)-b*cos(theta33);  
dd3 = -(a*reveje*sin(reveje*time-3.1415/2) +b*sin(theta33)*dtheta33);  
  
/* realiza cálculos previos para determinar la oscilación del segmento 12 */  
ganma12 = atan((d2-d1)/x);  
dganma12 = 1/x*(dd2-dd1)/(1+pow(((d2-d1)/x), 2));  
  
/* realiza cálculos previos para determinar la oscilación del segmento 23 */  
ganma23 = atan((d3-d2)/x);  
dganma23 = 1/x*(dd3-dd2)/(1+pow(((d3-d2)/x), 2));  
  
/* establece componente x de la velocidad del cg perfil2 */  
vel2[0] = dganma12*x*sin(ganma12);  
  
/* establece componente y de la velocidad del cg perfil2 */  
vel2[1] = dd1+dganma12*x*cos(ganma12);  
  
/* establece componente z de la velocidad angular del perfil2 */  
omega2[2] = dganma23;  
  
Message ("time = %f, gradostheta2 = %f, x_vel2 = %f, y_vel2 = %f,omega23 = %f, ",  
time, gradostheta2, vel2[0], vel2[1],omega2[2]);  
  
}
```

UDF segmento 3

```

/*****
* Programa que gobierna el movimiento del sólido rígido SEGMENTO3
*****/
#include "udf.h"
#include "dynamesh_tools.h"
static real theta2 = 0.0;

/* 'a' longitud de la manivela (m) */
static real a= 0.02;

/* 'b' longitud de la biela (m) */
static real b= 0.08;

/* 'rpm' velocidad de giro del eje (rpm) */
static real rpm= 600;

/* 'x' distancia entre excéntricas (m) */
static real x= 0.065;

DEFINE_CG_MOTION(perfil34_600rpm,dt,vel34,omega34,time,dttime)
{
Thread *t;

real theta2, gradostheta2, dv, domega, reveje;

real u1, du1, theta31, dtheta31, d1, dd1;

real u2, du2, theta32, dtheta32, d2, dd2;

real u3, du3, theta33, dtheta33, d3, dd3;

real u4, du4, theta34, dtheta34, d4, dd4;

real ganma12, dganma12;

real vcg23x, vcg23y;

real ganma23, dganma23;

real vcg34x, vcg34y;

real ganma34, dganma34;

NV_S(vel34, =, 0.0);

NV_S(omega34, =, 0.0);

```


APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

```
/* get the thread pointer for which this motion is defined */  
t = DT_THREAD(dt);  
  
/* cálculo de velocidad lineal (m / s)*/  
  
    /* cálculo de la velocidad del eje motiz "reveje" (rad / seg) */  
    reveje = (rpm/60)*(2*3.14159);  
  
    /* cálculo del avance (grados) del eje motriz como parámetro de control durante el  
    cálculo */  
    gradostheta2 = rpm*360*time/60;  
  
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 1 */  
  
    u1 = (a/b)*sin(reveje*time);  
    du1 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time);  
    theta31 = -asin(u1)+3.1415;  
    dtheta31 = - du1/sqrt(1-pow(u1, 2));  
    d1 = a*cos(reveje*time)-b*cos(theta31);  
    dd1 = -(a*reveje*sin(reveje*time) +b*sin(theta31)*dtheta31);  
  
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 2 */  
  
    u2 = (a/b)*sin(reveje*time-3.1415/4);  
    du2 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time-3.1415/4);  
    theta32 = -asin(u2)+3.1415;  
    dtheta32 = - du2/sqrt(1-pow(u2, 2));  
    d2 = a*cos(reveje*time-3.1415/4)-b*cos(theta32);  
    dd2 = -(a*reveje*sin(reveje*time-3.1415/4) +b*sin(theta32)*dtheta32);  
  
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 3 */  
  
    u3 = (a/b)*sin(reveje*time-3.1415/2);  
    du3 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time-3.1415/2);
```

```

theta33 = -asin(u3)+3.1415;
dtheta33 = - du3/sqrt(1-pow(u3, 2));
d3 = a*cos(reveje*time-3.1415/2)-b*cos(theta33);
dd3 = -(-a*reveje*sin(reveje*time-3.1415/2) +b*sin(theta33)*dtheta33);
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 4 */
u4 = (a/b)*sin(reveje*time-3*3.1415/4);
du4 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time-3*3.1415/4);
theta34 = -asin(u4)+3.1415;
dtheta34 = - du4/sqrt(1-pow(u4, 2));
d4 = a*cos(reveje*time-3*3.1415/4)-b*cos(theta34);
dd4 = -(-a*reveje*sin(reveje*time-3*3.1415/4) +b*sin(theta34)*dtheta34);
/* realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 12 */
ganma12 = atan((d2-d1)/x);
dganma12 = 1/x*(dd2-dd1)/(1+pow(((d2-d1)/x), 2));
/* realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 23 */
ganma23 = atan((d3-d2)/x);
dganma23 = 1/x*(dd3-dd2)/(1+pow(((d3-d2)/x), 2));
/* realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 34 */
ganma34 = atan((d4-d3)/x);
dganma34 = 1/x*(dd4-dd3)/(1+pow(((d4-d3)/x), 2));
/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 23 */
vcg23x = dganma12*x*sin(ganma12);
vcg23y = dd1+dganma12*x*cos(ganma12);
/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 34 */

```

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

```
vcg34x = vcg23x+dganma23*x*sin(ganma23);
```

```
vcg34y = vcg23y+dganma23*x*cos(ganma23);
```

```
/* establece componentes x,y de la velocidad angular del perfil 34 */
```

```
vel34[0] = vcg34x;
```

```
vel34[1] = vcg34y;
```

```
/* establece componente z de la velocidad angular del perfil 34 */
```

```
omega34[2] = dganma34;
```

```
}
```

UDF segmento 4

```

/*****
* Programa que gobierna el movimiento del sólido rígido SEGMENTO4
*****/
#include "udf.h"
#include "dynamesh_tools.h"
static real theta2 = 0.0;

/* 'a' longitud de la manivela (m) */
static real a= 0.02;

/* 'b' longitud de la biela (m) */
static real b= 0.08;

/* 'rpm' velocidad de giro del eje (rpm) */
static real rpm= 600;

/* 'x' distancia entre excéntricas (m) */
static real x= 0.065;

DEFINE_CG_MOTION(perfil45_600rpm,dt,vel45,omega45,time,dttime)
{
Thread *t;

real theta2, gradostheta2, dv, domega, reveje;

real u1, du1, theta31, dtheta31, d1, dd1;

real u2, du2, theta32, dtheta32, d2, dd2;

real u3, du3, theta33, dtheta33, d3, dd3;

real u4, du4, theta34, dtheta34, d4, dd4;

real u5, du5, theta35, dtheta35, d5, dd5;

real ganma12, dganma12;

real vcg23x, vcg23y;

real ganma23, dganma23;

real vcg34x, vcg34y;

real ganma34, dganma34;

real vcg45x, vcg45y;

```

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

```
real ganma45, dganma45;
```

```
NV_S(vel45, =, 0.0);
```

```
NV_S(omega45, =, 0.0);
```

```
/* get the thread pointer for which this motion is defined */
```

```
t = DT_THREAD(dt);
```

```
/* cálculo de velocidad lineal (m / s)*/
```

```
/* cálculo de la velocidad del eje motiz "reveje" (rad / seg) */
```

```
reveje = (rpm/60)*(2*3.14159);
```

```
/* cálculo del avance (grados) del eje motriz como parámetro de control durante el cálculo */
```

```
gradostheta2 = rpm*360*time/60;
```

```
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 1 */
```

```
u1 = (a/b)*sin(reveje*time);
```

```
du1 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time);
```

```
theta31 = -asin(u1)+3.1415;
```

```
dtheta31 = - du1/sqrt(1-pow(u1, 2));
```

```
d1 = a*cos(reveje*time)-b*cos(theta31);
```

```
dd1 = -(-a*reveje*sin(reveje*time) +b*sin(theta31)*dtheta31);
```

```
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 2 */
```

```
u2 = (a/b)*sin(reveje*time-3.1415/4);
```

```
du2 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time-3.1415/4);
```

```
theta32 = -asin(u2)+3.1415;
```

```
dtheta32 = - du2/sqrt(1-pow(u2, 2));
```

```
d2 = a*cos(reveje*time-3.1415/4)-b*cos(theta32);
```

```
dd2 = -(-a*reveje*sin(reveje*time-3.1415/4) +b*sin(theta32)*dtheta32);
```

```
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 3 */
```

$$u3 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-3.1415/2);$$

$$du3 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-3.1415/2);$$

$$\text{theta33} = -\text{asin}(u3)+3.1415;$$

$$d\text{theta33} = -du3/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u3, 2));$$

$$d3 = a*\cos(\text{reveje*time}-3.1415/2)-b*\cos(\text{theta33});$$

$$dd3 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}-3.1415/2) + b*\sin(\text{theta33})*d\text{theta33});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 4 */*

$$u4 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-3*3.1415/4);$$

$$du4 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-3*3.1415/4);$$

$$\text{theta34} = -\text{asin}(u4)+3.1415;$$

$$d\text{theta34} = -du4/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u4, 2));$$

$$d4 = a*\cos(\text{reveje*time}-3*3.1415/4)-b*\cos(\text{theta34});$$

$$dd4 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}-3*3.1415/4) + b*\sin(\text{theta34})*d\text{theta34});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 5 */*

$$u5 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-3.1415);$$

$$du5 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-3.1415);$$

$$\text{theta35} = -\text{asin}(u5)+3.1415;$$

$$d\text{theta35} = -du5/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u5, 2));$$

$$d5 = a*\cos(\text{reveje*time}-3.1415)-b*\cos(\text{theta35});$$

$$dd5 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}-3.1415) + b*\sin(\text{theta35})*d\text{theta35});$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 12 */*

$$\text{ganma12} = \text{atan}((d2-d1)/x);$$

$$d\text{ganma12} = 1/x*(dd2-dd1)/(1+\text{pow}(((d2-d1)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 23 */*

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

```
ganma23 = atan((d3-d2)/x);
dganma23 = 1/x*(dd3-dd2)/(1+pow(((d3-d2)/x), 2));
/* realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 34 */
ganma34 = atan((d4-d3)/x);
dganma34 = 1/x*(dd4-dd3)/(1+pow(((d4-d3)/x), 2));
/* realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 45 */
ganma45 = atan((d5-d4)/x);
dganma45 = 1/x*(dd5-dd4)/(1+pow(((d5-d4)/x), 2));
/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 23 */
vcg23x = dganma12*x*sin(ganma12);
vcg23y = dd1+dganma12*x*cos(ganma12);
/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 34 */
vcg34x = vcg23x+dganma23*x*sin(ganma23);
vcg34y = vcg23y+dganma23*x*cos(ganma23);
/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 45 */
vcg45x = vcg34x+dganma34*x*sin(ganma34);
vcg45y = vcg34y+dganma34*x*cos(ganma34);
/* establece componentes x,y de la velocidad angular del perfil 45 */
vel45[0] = vcg45x;
vel45[1] = vcg45y;
/* establece componente z de la velocidad angular del perfil 45 */
omega45[2] = dganma45;
Message ("time = %f, gradostheta2 = %f, x_vel45 = %f, y_vel45 = %f,omega45 = %f, ",
time, gradostheta2, vel45[0], vel45[1],omega45[2]);
}
```

UDF segmento 5

```

/*****
* Programa que gobierna el movimiento del sólido rígido SEGMENTO5
*****/
#include "udf.h"
#include "dynamesh_tools.h"
static real theta2 = 0.0;

/* 'a' longitud de la manivela (m) */
static real a= 0.02;

/* 'b' longitud de la biela (m) */
static real b= 0.08;

/* 'rpm' velocidad de giro del eje (rpm) */
static real rpm= 600;

/* 'x' distancia entre excéntricas (m) */
static real x= 0.065;

DEFINE_CG_MOTION(perfil56_600rpm,dt,vel56,omega56,time,dttime)
{
Thread *t;

real theta2, gradostheta2, dv, domega, reveje;

real u1, du1, theta31, dtheta31, d1, dd1;

real u2, du2, theta32, dtheta32, d2, dd2;

real u3, du3, theta33, dtheta33, d3, dd3;

real u4, du4, theta34, dtheta34, d4, dd4;

real u5, du5, theta35, dtheta35, d5, dd5;

real u6, du6, theta36, dtheta36, d6, dd6;

real ganma12, dganma12;

real vcg23x, vcg23y;

real ganma23, dganma23;

real vcg34x, vcg34y;

real ganma34, dganma34;

```


APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

```
real vcg45x, vcg45y;
```

```
real ganma45, dganma45;
```

```
real vcg56x, vcg56y;
```

```
real ganma56, dganma56;
```

```
NV_S(vel56, =, 0.0);
```

```
NV_S(omega56, =, 0.0);
```

```
/* get the thread pointer for which this motion is defined */
```

```
t = DT_THREAD(dt);
```

```
/* cálculo de velocidad lineal (m / s)*/
```

```
/* cálculo de la velocidad del eje motiz "reveje" (rad / seg) */
```

```
reveje = (rpm/60)*(2*3.14159);
```

```
/* cálculo del avance (grados) del eje motriz como parámetro de control durante el cálculo */
```

```
gradostheta2 = rpm*360*time/60;
```

```
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 1 */
```

```
u1 = (a/b)*sin(reveje*time);
```

```
du1 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time);
```

```
theta31 = -asin(u1)+3.1415;
```

```
dtheta31 = - du1/sqrt(1-pow(u1, 2));
```

```
d1 = a*cos(reveje*time)-b*cos(theta31);
```

```
dd1 = -(-a*reveje*sin(reveje*time) +b*sin(theta31)*dtheta31);
```

```
/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 2 */
```

```
u2 = (a/b)*sin(reveje*time-3.1415/4);
```

```
du2 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time-3.1415/4);
```

```
theta32 = -asin(u2)+3.1415;
```

$$dtheta32 = - du2/sqrt(1-pow(u2, 2));$$

$$d2 = a*cos(reveje*time-3.1415/4)-b*cos(theta32);$$

$$dd2 = -(-a*reveje*sin(reveje*time-3.1415/4) +b*sin(theta32)*dtheta32);$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 3 */*

$$u3 = (a/b)*sin(reveje*time-3.1415/2);$$

$$du3 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time-3.1415/2);$$

$$theta33 = -asin(u3)+3.1415;$$

$$dtheta33 = - du3/sqrt(1-pow(u3, 2));$$

$$d3 = a*cos(reveje*time-3.1415/2)-b*cos(theta33);$$

$$dd3 = -(-a*reveje*sin(reveje*time-3.1415/2) +b*sin(theta33)*dtheta33);$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 4 */*

$$u4 = (a/b)*sin(reveje*time-3*3.1415/4);$$

$$du4 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time-3*3.1415/4);$$

$$theta34 = -asin(u4)+3.1415;$$

$$dtheta34 = - du4/sqrt(1-pow(u4, 2));$$

$$d4 = a*cos(reveje*time-3*3.1415/4)-b*cos(theta34);$$

$$dd4 = -(-a*reveje*sin(reveje*time-3*3.1415/4) +b*sin(theta34)*dtheta34);$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 5 */*

$$u5 = (a/b)*sin(reveje*time-3.1415);$$

$$du5 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time-3.1415);$$

$$theta35 = -asin(u5)+3.1415;$$

$$dtheta35 = - du5/sqrt(1-pow(u5, 2));$$

$$d5 = a*cos(reveje*time-3.1415)-b*cos(theta35);$$

$$dd5 = -(-a*reveje*sin(reveje*time-3.1415) +b*sin(theta35)*dtheta35);$$

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 6 */*

$$u6 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-5*3.1415/4);$$

$$du6 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-5*3.1415/4);$$

$$\text{theta36} = -\text{asin}(u6)+3.1415;$$

$$d\text{theta36} = -du6/\sqrt{1-\text{pow}(u6, 2)};$$

$$d6 = a*\cos(\text{reveje}*\text{time}-5*3.1415/4)-b*\cos(\text{theta36});$$

$$dd6 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}-5*3.1415/4) + b*\sin(\text{theta36})*d\text{theta36});$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 12 */*

$$\text{ganma12} = \text{atan}((d2-d1)/x);$$

$$d\text{ganma12} = 1/x*(dd2-dd1)/(1+\text{pow}(((d2-d1)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 23 */*

$$\text{ganma23} = \text{atan}((d3-d2)/x);$$

$$d\text{ganma23} = 1/x*(dd3-dd2)/(1+\text{pow}(((d3-d2)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 34 */*

$$\text{ganma34} = \text{atan}((d4-d3)/x);$$

$$d\text{ganma34} = 1/x*(dd4-dd3)/(1+\text{pow}(((d4-d3)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 45 */*

$$\text{ganma45} = \text{atan}((d5-d4)/x);$$

$$d\text{ganma45} = 1/x*(dd5-dd4)/(1+\text{pow}(((d5-d4)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 56 */*

$$\text{ganma56} = \text{atan}((d6-d5)/x);$$

$$d\text{ganma56} = 1/x*(dd6-dd5)/(1+\text{pow}(((d6-d5)/x), 2));$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 23 */*

$$\text{vcg23x} = d\text{ganma12}*x*\sin(\text{ganma12});$$

```

vcg23y = dd1+dganma12*x*cos(ganma12);

/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 34 */

vcg34x = vcg23x+dganma23*x*sin(ganma23);

vcg34y = vcg23y+dganma23*x*cos(ganma23);

/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 45 */

vcg45x = vcg34x+dganma34*x*sin(ganma34);

vcg45y = vcg34y+dganma34*x*cos(ganma34);

/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 56 */

vcg56x = vcg45x+dganma45*x*sin(ganma45);

vcg56y = vcg45y+dganma45*x*cos(ganma45);

/* establece componentes x,y de la velocidad angular del perfil 56 */

vel56[0] = vcg56x;

vel56[1] = vcg56y;

/* establece componente z de la velocidad angular del perfil 56 */

omega56[2] = dganma56;

Message ("time = %f, gradostheta2 = %f, x_vel56 = %f, y_vel56 = %f,omega56 = %f, ",
time, gradostheta2, vel56[0], vel56[1],omega56[2]);

}

```

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

UDF segmento 6

```
/* *****  
* Programa que gobierna el movimiento del sólido rígido SEGMENTO6  
* *****/  
# include "udf.h"  
# include "dynamesh_tools.h"  
static real theta2 = 0.0;  
  
/* 'a' longitud de la manivela (m) */  
static real a= 0.02;  
  
/* 'b' longitud de la biela (m) */  
static real b= 0.08;  
  
/* 'rpm' velocidad de giro del eje (rpm) */  
static real rpm= 600;  
  
/* 'x' distancia entre excéntricas (m) */  
static real x= 0.065;  
  
DEFINE_CG_MOTION(perfil67_600rpm,dt,vel67,omega67,time,dtime)  
{  
Thread *t;  
  
real theta2, gradostheta2, dv, domega, reveje;  
  
real u1, du1, theta31, dtheta31, d1, dd1;  
  
real u2, du2, theta32, dtheta32, d2, dd2;  
  
real u3, du3, theta33, dtheta33, d3, dd3;  
  
real u4, du4, theta34, dtheta34, d4, dd4;  
  
real u5, du5, theta35, dtheta35, d5, dd5;  
  
real u6, du6, theta36, dtheta36, d6, dd6;  
  
real u7, du7, theta37, dtheta37, d7, dd7;  
  
real ganma12, dganma12;  
  
real vcg23x, vcg23y;  
  
real ganma23, dganma23;  
  
real vcg34x, vcg34y;
```

```

real ganma34, dganma34;

real vcg45x, vcg45y;

real ganma45, dganma45;

real vcg56x, vcg56y;

real ganma56, dganma56;

real vcg67x, vcg67y;

real ganma67, dganma67;

NV_S(vel67, =, 0.0);

NV_S(omega67, =, 0.0);

/* get the thread pointer for which this motion is defined */
t = DT_THREAD(dt);

/* cálculo de velocidad lineal (m / s)*/

    /* cálculo de la velocidad del eje motiz "reveje" (rad / seg) */
    reveje = (rpm/60)*(2*3.14159);

    /* cálculo del avance (grados) del eje motriz como parámetro de control durante el
    cálculo */

    gradostheta2 = rpm*360*time/60;

/* realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 1 */

    u1 = (a/b)*sin(reveje*time);

    du1 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time);

    theta31 = -asin(u1)+3.1415;

    dtheta31 = - du1/sqrt(1-pow(u1, 2));

    d1 = a*cos(reveje*time)-b*cos(theta31);

    dd1 = -(-a*reveje*sin(reveje*time) +b*sin(theta31)*dtheta31);

```

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 2 */*

$$u2 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/4);$$

$$du2 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/4);$$

$$\text{theta32} = -\text{asin}(u2)+3.1415;$$

$$d\text{theta32} = - du2/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u2, 2));$$

$$d2 = a*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/4)-b*\cos(\text{theta32});$$

$$dd2 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/4) + b*\sin(\text{theta32})*d\text{theta32});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 3 */*

$$u3 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/2);$$

$$du3 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/2);$$

$$\text{theta33} = -\text{asin}(u3)+3.1415;$$

$$d\text{theta33} = - du3/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u3, 2));$$

$$d3 = a*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/2)-b*\cos(\text{theta33});$$

$$dd3 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3.1415/2) + b*\sin(\text{theta33})*d\text{theta33});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 4 */*

$$u4 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3*3.1415/4);$$

$$du4 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3*3.1415/4);$$

$$\text{theta34} = -\text{asin}(u4)+3.1415;$$

$$d\text{theta34} = - du4/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u4, 2));$$

$$d4 = a*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3*3.1415/4)-b*\cos(\text{theta34});$$

$$dd4 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3*3.1415/4) + b*\sin(\text{theta34})*d\text{theta34});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 5 */*

$$u5 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-3.1415);$$

$$du5 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-3.1415);$$

$$\theta_{35} = -\sin(u_5) + 3.1415;$$

$$d\theta_{35} = -du_5 / \sqrt{1 - \text{pow}(u_5, 2)};$$

$$d_5 = a \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 3.1415) - b \cdot \cos(\theta_{35});$$

$$dd_5 = -(-a \cdot \text{reveje} \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 3.1415) + b \cdot \sin(\theta_{35}) \cdot d\theta_{35});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 6 */*

$$u_6 = (a/b) \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 5 \cdot 3.1415/4);$$

$$du_6 = (a/b) \cdot \text{reveje} \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 5 \cdot 3.1415/4);$$

$$\theta_{36} = -\sin(u_6) + 3.1415;$$

$$d\theta_{36} = -du_6 / \sqrt{1 - \text{pow}(u_6, 2)};$$

$$d_6 = a \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 5 \cdot 3.1415/4) - b \cdot \cos(\theta_{36});$$

$$dd_6 = -(-a \cdot \text{reveje} \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 5 \cdot 3.1415/4) + b \cdot \sin(\theta_{36}) \cdot d\theta_{36});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 7 */*

$$u_7 = (a/b) \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 6 \cdot 3.1415/4);$$

$$du_7 = (a/b) \cdot \text{reveje} \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 6 \cdot 3.1415/4);$$

$$\theta_{37} = -\sin(u_7) + 3.1415;$$

$$d\theta_{37} = -du_7 / \sqrt{1 - \text{pow}(u_7, 2)};$$

$$d_7 = a \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 6 \cdot 3.1415/4) - b \cdot \cos(\theta_{37});$$

$$dd_7 = -(-a \cdot \text{reveje} \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 6 \cdot 3.1415/4) + b \cdot \sin(\theta_{37}) \cdot d\theta_{37});$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 12 */*

$$\gamma_{12} = \text{atan}((d_2 - d_1)/x);$$

$$d\gamma_{12} = 1/x \cdot (dd_2 - dd_1) / (1 + \text{pow}(((d_2 - d_1)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 23 */*

$$\gamma_{23} = \text{atan}((d_3 - d_2)/x);$$

$$d\gamma_{23} = 1/x \cdot (dd_3 - dd_2) / (1 + \text{pow}(((d_3 - d_2)/x), 2));$$

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 34 */*

$$\text{ganma34} = \text{atan}((d4-d3)/x);$$

$$\text{dganma34} = 1/x*(dd4-dd3)/(1+\text{pow}(((d4-d3)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 45 */*

$$\text{ganma45} = \text{atan}((d5-d4)/x);$$

$$\text{dganma45} = 1/x*(dd5-dd4)/(1+\text{pow}(((d5-d4)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 56 */*

$$\text{ganma56} = \text{atan}((d6-d5)/x);$$

$$\text{dganma56} = 1/x*(dd6-dd5)/(1+\text{pow}(((d6-d5)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 67 */*

$$\text{ganma67} = \text{atan}((d7-d6)/x);$$

$$\text{dganma67} = 1/x*(dd7-dd6)/(1+\text{pow}(((d7-d6)/x), 2));$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 23 */*

$$\text{vcg23x} = \text{dganma12}*x*\sin(\text{ganma12});$$

$$\text{vcg23y} = \text{dd1}+\text{dganma12}*x*\cos(\text{ganma12});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 34 */*

$$\text{vcg34x} = \text{vcg23x}+\text{dganma23}*x*\sin(\text{ganma23});$$

$$\text{vcg34y} = \text{vcg23y}+\text{dganma23}*x*\cos(\text{ganma23});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 45 */*

$$\text{vcg45x} = \text{vcg34x}+\text{dganma34}*x*\sin(\text{ganma34});$$

$$\text{vcg45y} = \text{vcg34y}+\text{dganma34}*x*\cos(\text{ganma34});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 56 */*

$$\text{vcg56x} = \text{vcg45x}+\text{dganma45}*x*\sin(\text{ganma45});$$

$$\text{vcg56y} = \text{vcg45y}+\text{dganma45}*x*\cos(\text{ganma45});$$

```

/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 67 */
vcg67x = vcg56x+dganma56*x*sin(ganma56);
vcg67y = vcg56y+dganma56*x*cos(ganma56);
/* establece componentes x,y de la velocidad angular del perfil 56 */
vel67[0] = vcg67x;
vel67[1] = vcg67y;
/* establece componente z de la velocidad angular del perfil 56 */
omega67[2] = dganma67;
}

```

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

UDF segmento 7

```
/* *****  
* Programa que gobierna el movimiento del sólido rígido SEGMENTO7  
* *****/  
# include "udf.h"  
# include "dynamesh_tools.h"  
static real theta2 = 0.0;  
  
/* 'a' longitud de la manivela (m) */  
static real a= 0.02;  
  
/* 'b' longitud de la biela (m) */  
static real b= 0.08;  
  
/* 'rpm' velocidad de giro del eje (rpm) */  
static real rpm= 600;  
  
/* 'x' distancia entre excéntricas (m) */  
static real x= 0.065;  
  
DEFINE_CG_MOTION(perfil78_600rpm,dt,vel78,omega78,time,dtime)  
{  
Thread *t;  
  
real theta2, gradostheta2, dv, domega, reveje;  
  
real u1, du1, theta31, dtheta31, d1, dd1;  
  
real u2, du2, theta32, dtheta32, d2, dd2;  
  
real u3, du3, theta33, dtheta33, d3, dd3;  
  
real u4, du4, theta34, dtheta34, d4, dd4;  
  
real u5, du5, theta35, dtheta35, d5, dd5;  
  
real u6, du6, theta36, dtheta36, d6, dd6;  
  
real u7, du7, theta37, dtheta37, d7, dd7;  
  
real u8, du8, theta38, dtheta38, d8, dd8;  
  
real ganma12, dganma12;  
  
real vcg23x, vcg23y;  
  
real ganma23, dganma23;
```

real vcg34x, vcg34y;

real ganma34, dganma34;

real vcg45x, vcg45y;

real ganma45, dganma45;

real vcg56x, vcg56y;

real ganma56, dganma56;

real vcg67x, vcg67y;

real ganma67, dganma67;

real vcg78x, vcg78y;

real ganma78, dganma78;

NV_S(vel78, =, 0.0);

NV_S(omega78, =, 0.0);

/ get the thread pointer for which this motion is defined */*

t = DT_THREAD(dt);

/ cálculo de velocidad lineal (m / s)*/*

/ cálculo de la velocidad del eje motiz "reveje" (rad / seg) */*

reveje = (rpm/60)*(2*3.14159);

/ cálculo del avance (grados) del eje motriz como parámetro de control durante el cálculo */*

gradostheta2 = rpm*360*time/60;

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 1 */*

u1 = (a/b)*sin(reveje*time);

du1 = (a/b)*reveje*cos(reveje*time);

theta31 = -asin(u1)+3.1415;

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

$$d\theta_{31} = -du_1/\sqrt{1-\text{pow}(u_1, 2)};$$

$$d1 = a*\cos(\text{reveje}*time)-b*\cos(\theta_{31});$$

$$dd1 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*time) + b*\sin(\theta_{31})*d\theta_{31});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 2 */*

$$u_2 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*time-3.1415/4);$$

$$du_2 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*time-3.1415/4);$$

$$\theta_{32} = -\text{asin}(u_2)+3.1415;$$

$$d\theta_{32} = -du_2/\sqrt{1-\text{pow}(u_2, 2)};$$

$$d2 = a*\cos(\text{reveje}*time-3.1415/4)-b*\cos(\theta_{32});$$

$$dd2 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*time-3.1415/4) + b*\sin(\theta_{32})*d\theta_{32});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 3 */*

$$u_3 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*time-3.1415/2);$$

$$du_3 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*time-3.1415/2);$$

$$\theta_{33} = -\text{asin}(u_3)+3.1415;$$

$$d\theta_{33} = -du_3/\sqrt{1-\text{pow}(u_3, 2)};$$

$$d3 = a*\cos(\text{reveje}*time-3.1415/2)-b*\cos(\theta_{33});$$

$$dd3 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*time-3.1415/2) + b*\sin(\theta_{33})*d\theta_{33});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 4 */*

$$u_4 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*time-3*3.1415/4);$$

$$du_4 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*time-3*3.1415/4);$$

$$\theta_{34} = -\text{asin}(u_4)+3.1415;$$

$$d\theta_{34} = -du_4/\sqrt{1-\text{pow}(u_4, 2)};$$

$$d4 = a*\cos(\text{reveje}*time-3*3.1415/4)-b*\cos(\theta_{34});$$

$$dd4 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*time-3*3.1415/4) + b*\sin(\theta_{34})*d\theta_{34});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 5 */*

$$u5 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-3.1415);$$

$$du5 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-3.1415);$$

$$\text{theta35} = -\text{asin}(u5)+3.1415;$$

$$d\text{theta35} = -du5/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u5, 2));$$

$$d5 = a*\cos(\text{reveje*time}-3.1415)-b*\cos(\text{theta35});$$

$$dd5 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}-3.1415) + b*\sin(\text{theta35})*d\text{theta35});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 6 */*

$$u6 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-5*3.1415/4);$$

$$du6 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-5*3.1415/4);$$

$$\text{theta36} = -\text{asin}(u6)+3.1415;$$

$$d\text{theta36} = -du6/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u6, 2));$$

$$d6 = a*\cos(\text{reveje*time}-5*3.1415/4)-b*\cos(\text{theta36});$$

$$dd6 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}-5*3.1415/4) + b*\sin(\text{theta36})*d\text{theta36});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 7 */*

$$u7 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-6*3.1415/4);$$

$$du7 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-6*3.1415/4);$$

$$\text{theta37} = -\text{asin}(u7)+3.1415;$$

$$d\text{theta37} = -du7/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u7, 2));$$

$$d7 = a*\cos(\text{reveje*time}-6*3.1415/4)-b*\cos(\text{theta37});$$

$$dd7 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}-6*3.1415/4) + b*\sin(\text{theta37})*d\text{theta37});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 8 */*

$$u8 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-7*3.1415/4);$$

$$du8 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-7*3.1415/4);$$

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

$$\theta_{38} = -\arcsin(u_8) + 3.1415;$$

$$d\theta_{38} = -du_8 / \sqrt{1 - \text{pow}(u_8, 2)};$$

$$d_8 = a \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 7 \cdot 3.1415/4) - b \cdot \cos(\theta_{38});$$

$$dd_8 = -(-a \cdot \text{reveje} \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 7 \cdot 3.1415/4) + b \cdot \sin(\theta_{38}) \cdot d\theta_{38});$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 12 */*

$$\gamma_{12} = \arctan((d_2 - d_1)/x);$$

$$d\gamma_{12} = 1/x \cdot (dd_2 - dd_1) / (1 + \text{pow}(((d_2 - d_1)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 23 */*

$$\gamma_{23} = \arctan((d_3 - d_2)/x);$$

$$d\gamma_{23} = 1/x \cdot (dd_3 - dd_2) / (1 + \text{pow}(((d_3 - d_2)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 34 */*

$$\gamma_{34} = \arctan((d_4 - d_3)/x);$$

$$d\gamma_{34} = 1/x \cdot (dd_4 - dd_3) / (1 + \text{pow}(((d_4 - d_3)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 45 */*

$$\gamma_{45} = \arctan((d_5 - d_4)/x);$$

$$d\gamma_{45} = 1/x \cdot (dd_5 - dd_4) / (1 + \text{pow}(((d_5 - d_4)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 56 */*

$$\gamma_{56} = \arctan((d_6 - d_5)/x);$$

$$d\gamma_{56} = 1/x \cdot (dd_6 - dd_5) / (1 + \text{pow}(((d_6 - d_5)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 67 */*

$$\gamma_{67} = \arctan((d_7 - d_6)/x);$$

$$d\gamma_{67} = 1/x \cdot (dd_7 - dd_6) / (1 + \text{pow}(((d_7 - d_6)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 78 */*

$$\gamma_{78} = \arctan((d_8 - d_7)/x);$$

$$d\text{ganma78} = 1/x * (dd8 - dd7) / (1 + \text{pow}(((d8 - d7)/x), 2));$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 23 */*

$$\text{vcg23x} = d\text{ganma12} * x * \sin(\text{ganma12});$$

$$\text{vcg23y} = dd1 + d\text{ganma12} * x * \cos(\text{ganma12});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 34 */*

$$\text{vcg34x} = \text{vcg23x} + d\text{ganma23} * x * \sin(\text{ganma23});$$

$$\text{vcg34y} = \text{vcg23y} + d\text{ganma23} * x * \cos(\text{ganma23});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 45 */*

$$\text{vcg45x} = \text{vcg34x} + d\text{ganma34} * x * \sin(\text{ganma34});$$

$$\text{vcg45y} = \text{vcg34y} + d\text{ganma34} * x * \cos(\text{ganma34});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 56 */*

$$\text{vcg56x} = \text{vcg45x} + d\text{ganma45} * x * \sin(\text{ganma45});$$

$$\text{vcg56y} = \text{vcg45y} + d\text{ganma45} * x * \cos(\text{ganma45});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 67 */*

$$\text{vcg67x} = \text{vcg56x} + d\text{ganma56} * x * \sin(\text{ganma56});$$

$$\text{vcg67y} = \text{vcg56y} + d\text{ganma56} * x * \cos(\text{ganma56});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 78 */*

$$\text{vcg78x} = \text{vcg67x} + d\text{ganma67} * x * \sin(\text{ganma67});$$

$$\text{vcg78y} = \text{vcg67y} + d\text{ganma67} * x * \cos(\text{ganma67});$$

/ establece componentes x,y de la velocidad angular del perfil 78 */*

$$\text{vel78}[0] = \text{vcg78x};$$

$$\text{vel78}[1] = \text{vcg78y};$$

/ establece componente z de la velocidad angular del perfil 78 */*

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

```
omega78[2] = dganma78;
```

```
}
```

UDF segmento 8

```

/*****
* Programa que gobierna el movimiento del sólido rígido SEGMENTO8
*****/
#include "udf.h"
#include "dynamesh_tools.h"
static real theta2 = 0.0;

/* 'a' longitud de la manivela (m) */
static real a= 0.02;

/* 'b' longitud de la biela (m) */
static real b= 0.08;

/* 'rpm' velocidad de giro del eje (rpm) */
static real rpm= 600;

/* 'x' distancia entre excéntricas (m) */
static real x= 0.065;

DEFINE_CG_MOTION(perfil89_600rpm,dt,vel89,omega89,time,dttime)
{
Thread *t;

real theta2, gradostheta2, dv, domega, reveje;

real u1, du1, theta31, dtheta31, d1, dd1;

real u2, du2, theta32, dtheta32, d2, dd2;

real u3, du3, theta33, dtheta33, d3, dd3;

real u4, du4, theta34, dtheta34, d4, dd4;

real u5, du5, theta35, dtheta35, d5, dd5;

real u6, du6, theta36, dtheta36, d6, dd6;

real u7, du7, theta37, dtheta37, d7, dd7;

real u8, du8, theta38, dtheta38, d8, dd8;

real u9, du9, theta39, dtheta39, d9, dd9;

real ganma12, dganma12;

real vcg23x, vcg23y;

```

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

real ganma23, dganma23;

real vcg34x, vcg34y;

real ganma34, dganma34;

real vcg45x, vcg45y;

real ganma45, dganma45;

real vcg56x, vcg56y;

real ganma56, dganma56;

real vcg67x, vcg67y;

real ganma67, dganma67;

real vcg78x, vcg78y;

real ganma78, dganma78;

real vcg89x, vcg89y;

real ganma89, dganma89;

NV_S(vel89, =, 0.0);

NV_S(omega89, =, 0.0);

/ get the thread pointer for which this motion is defined */*

t = DT_THREAD(dt);

/ cálculo de velocidad lineal (m / s)*/*

/ cálculo de la velocidad del eje motiz "reveje" (rad / seg) */*

reveje = (rpm/60)*(2*3.14159);

/ cálculo del avance (grados) del eje motriz como parámetro de control durante el cálculo */*

gradostheta2 = rpm*360*time/60;

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 1 */*

$$u1 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time});$$

$$du1 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time});$$

$$\text{theta31} = -\text{asin}(u1)+3.1415;$$

$$d\text{theta31} = -du1/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u1, 2));$$

$$d1 = a*\cos(\text{reveje*time})-b*\cos(\text{theta31});$$

$$dd1 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}) + b*\sin(\text{theta31})*d\text{theta31});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 2 */*

$$u2 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-3.1415/4);$$

$$du2 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-3.1415/4);$$

$$\text{theta32} = -\text{asin}(u2)+3.1415;$$

$$d\text{theta32} = -du2/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u2, 2));$$

$$d2 = a*\cos(\text{reveje*time}-3.1415/4)-b*\cos(\text{theta32});$$

$$dd2 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}-3.1415/4) + b*\sin(\text{theta32})*d\text{theta32});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 3 */*

$$u3 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-3.1415/2);$$

$$du3 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-3.1415/2);$$

$$\text{theta33} = -\text{asin}(u3)+3.1415;$$

$$d\text{theta33} = -du3/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u3, 2));$$

$$d3 = a*\cos(\text{reveje*time}-3.1415/2)-b*\cos(\text{theta33});$$

$$dd3 = -(-a*\text{reveje*sin}(\text{reveje*time}-3.1415/2) + b*\sin(\text{theta33})*d\text{theta33});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 4 */*

$$u4 = (a/b)*\sin(\text{reveje*time}-3*3.1415/4);$$

$$du4 = (a/b)*\text{reveje*cos}(\text{reveje*time}-3*3.1415/4);$$

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

$$\theta_{34} = -\sin(u_4) + 3.1415;$$

$$d\theta_{34} = -du_4 / \sqrt{1 - \text{pow}(u_4, 2)};$$

$$d_4 = a \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 3 \cdot 3.1415/4) - b \cdot \cos(\theta_{34});$$

$$dd_4 = -(-a \cdot \text{reveje} \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 3 \cdot 3.1415/4) + b \cdot \sin(\theta_{34}) \cdot d\theta_{34});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 5 */*

$$u_5 = (a/b) \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 3.1415);$$

$$du_5 = (a/b) \cdot \text{reveje} \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 3.1415);$$

$$\theta_{35} = -\sin(u_5) + 3.1415;$$

$$d\theta_{35} = -du_5 / \sqrt{1 - \text{pow}(u_5, 2)};$$

$$d_5 = a \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 3.1415) - b \cdot \cos(\theta_{35});$$

$$dd_5 = -(-a \cdot \text{reveje} \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 3.1415) + b \cdot \sin(\theta_{35}) \cdot d\theta_{35});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 6 */*

$$u_6 = (a/b) \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 5 \cdot 3.1415/4);$$

$$du_6 = (a/b) \cdot \text{reveje} \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 5 \cdot 3.1415/4);$$

$$\theta_{36} = -\sin(u_6) + 3.1415;$$

$$d\theta_{36} = -du_6 / \sqrt{1 - \text{pow}(u_6, 2)};$$

$$d_6 = a \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 5 \cdot 3.1415/4) - b \cdot \cos(\theta_{36});$$

$$dd_6 = -(-a \cdot \text{reveje} \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 5 \cdot 3.1415/4) + b \cdot \sin(\theta_{36}) \cdot d\theta_{36});$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 7 */*

$$u_7 = (a/b) \cdot \sin(\text{reveje} \cdot \text{time} - 6 \cdot 3.1415/4);$$

$$du_7 = (a/b) \cdot \text{reveje} \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 6 \cdot 3.1415/4);$$

$$\theta_{37} = -\sin(u_7) + 3.1415;$$

$$d\theta_{37} = -du_7 / \sqrt{1 - \text{pow}(u_7, 2)};$$

$$d_7 = a \cdot \cos(\text{reveje} \cdot \text{time} - 6 \cdot 3.1415/4) - b \cdot \cos(\theta_{37});$$

$$dd7 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}-6*3.1415/4) + b*\sin(\text{theta}37)*d\text{theta}37);$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 8 */*

$$u8 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-7*3.1415/4);$$

$$du8 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-7*3.1415/4);$$

$$\text{theta}38 = -\text{asin}(u8)+3.1415;$$

$$d\text{theta}38 = - du8/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u8, 2));$$

$$d8 = a*\cos(\text{reveje}*\text{time}-7*3.1415/4)-b*\cos(\text{theta}38);$$

$$dd8 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}-7*3.1415/4) + b*\sin(\text{theta}38)*d\text{theta}38);$$

/ realiza cálculos previos para determinar el movimiento del deslizador 9 */*

$$u9 = (a/b)*\sin(\text{reveje}*\text{time}-2*3.1415);$$

$$du9 = (a/b)*\text{reveje}*\cos(\text{reveje}*\text{time}-2*3.1415);$$

$$\text{theta}39 = -\text{asin}(u9)+3.1415;$$

$$d\text{theta}39 = - du9/\text{sqrt}(1-\text{pow}(u9, 2));$$

$$d9 = a*\cos(\text{reveje}*\text{time}-2*3.1415)-b*\cos(\text{theta}39);$$

$$dd9 = -(-a*\text{reveje}*\sin(\text{reveje}*\text{time}-2*3.1415) + b*\sin(\text{theta}39)*d\text{theta}39);$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 12 */*

$$\text{ganma}12 = \text{atan}((d2-d1)/x);$$

$$d\text{ganma}12 = 1/x*(dd2-dd1)/(1+\text{pow}(((d2-d1)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 23 */*

$$\text{ganma}23 = \text{atan}((d3-d2)/x);$$

$$d\text{ganma}23 = 1/x*(dd3-dd2)/(1+\text{pow}(((d3-d2)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 34 */*

$$\text{ganma}34 = \text{atan}((d4-d3)/x);$$

$$d\text{ganma}34 = 1/x*(dd4-dd3)/(1+\text{pow}(((d4-d3)/x), 2));$$

APÉNDICE 1: UDF's SÓLIDOS RÍGIDOS

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 45 */*

$$\text{ganma45} = \text{atan}((d5-d4)/x);$$

$$\text{dganma45} = 1/x*(dd5-dd4)/(1+\text{pow}(((d5-d4)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 56 */*

$$\text{ganma56} = \text{atan}((d6-d5)/x);$$

$$\text{dganma56} = 1/x*(dd6-dd5)/(1+\text{pow}(((d6-d5)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 67 */*

$$\text{ganma67} = \text{atan}((d7-d6)/x);$$

$$\text{dganma67} = 1/x*(dd7-dd6)/(1+\text{pow}(((d7-d6)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 78 */*

$$\text{ganma78} = \text{atan}((d8-d7)/x);$$

$$\text{dganma78} = 1/x*(dd8-dd7)/(1+\text{pow}(((d8-d7)/x), 2));$$

/ realiza cálculos previos para determinar la oscilación del perfil 89 */*

$$\text{ganma89} = \text{atan}((d9-d8)/x);$$

$$\text{dganma89} = 1/x*(dd9-dd8)/(1+\text{pow}(((d9-d8)/x), 2));$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 23 */*

$$\text{vcg23x} = \text{dganma12}*x*\sin(\text{ganma12});$$

$$\text{vcg23y} = \text{dd1}+\text{dganma12}*x*\cos(\text{ganma12});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 34 */*

$$\text{vcg34x} = \text{vcg23x}+\text{dganma23}*x*\sin(\text{ganma23});$$

$$\text{vcg34y} = \text{vcg23y}+\text{dganma23}*x*\cos(\text{ganma23});$$

/ calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 45 */*

$$\text{vcg45x} = \text{vcg34x}+\text{dganma34}*x*\sin(\text{ganma34});$$

$$\text{vcg45y} = \text{vcg34y}+\text{dganma34}*x*\cos(\text{ganma34});$$

```

/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 56 */
vcg56x = vcg45x+dganma45*x*sin(ganma45);
vcg56y = vcg45y+dganma45*x*cos(ganma45);
/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 67 */
vcg67x = vcg56x+dganma56*x*sin(ganma56);
vcg67y = vcg56y+dganma56*x*cos(ganma56);
/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 78 */
vcg78x = vcg67x+dganma67*x*sin(ganma67);
vcg78y = vcg67y+dganma67*x*cos(ganma67);
/* calcula componentes x,y de la velocidad del cg perfil 89 */
vcg89x = vcg78x+dganma78*x*sin(ganma78);
vcg89y = vcg78y+dganma78*x*cos(ganma78);
/* establece componentes x,y de la velocidad angular del perfil 89 */
vel89[0] = vcg89x;
vel89[1] = vcg89y;
/* establece componente z de la velocidad angular del perfil 89 */
omega89[2] = dganma89;
}

```


APÉNDICE 2

UDF FORMA ONDA CONTINUA

```

/*****
* Programa que gobierna el movimiento de la FORMA DE ONDA
*****/

#include "udf.h"

DEFINE_GRID_MOTION (moving_arc, domain, dt, time, dtime)
{

real a = 0.02; //m
real b = 0.075; //m
real w = -157.08; //velocidad angular, rad/s, que son 1500 rpm EMPEZAMOS CON
ESTO
real L = 0.52; //m
real tramo = L/8; //longitud de cada tramo suponiendo 8 tramos
real x;
real desplazamiento;
int n;

//real time;

real theta2, theta20, theta21, theta22, theta23, theta24, theta25, theta26, theta27, theta28;
//real theta2 = w*time;

real theta3, theta30, theta31, theta32, theta33, theta34, theta35, theta36, theta37, theta38; //
= -asin((a/b)*sin(theta2)) + 3.1415;

real y0, y1, y2, y3, y4, y5, y6, y7, y8;

real x0 = 0*0.065;
real x1 = 1*0.065;
real x2 = 2*0.065;
real x3 = 3*0.065;
real x4 = 4*0.065;
real x5 = 5*0.065;
real x6 = 6*0.065;
real x7 = 7*0.065;
real x8 = 8*0.065;

//real x[ND_ND];
//real x_coord;

face_t f;
Thread *tf = DT_THREAD (dt);
Node *node_p;

```

APÉNDICE 2: UDF FORMA ONDA CONTINUA

```
SET_DEFORMING_THREAD_FLAG (THREAD_T0 (tf));

//time = CURRENT_TIME;
//theta2 = w*CURRENT_TIME + (x_coord/L)*2*3.1415;    //M_PI;
//theta3 = -asin((a/b)*sin(theta2)) + 3.1415;

begin_f_loop (f, tf)
{
  f_node_loop (f, tf, n)
  {
    node_p = F_NODE (f, tf, n);

    if (NODE_POS_NEED_UPDATE (node_p))
    {
      NODE_POS_UPDATED (node_p);

      x = NODE_X (node_p);
      //theta2 = w*CURRENT_TIME + (x/L)*2*3.1415;    //sumando un thetainicial
      //variamos el angulo de inicio //M_PI;
      //theta3 = -asin((a/b)*sin(theta2)) + 3.1415;
      //desplazamiento = a*cos(theta2)-b*cos(theta3) - b; //siendo b la
      //ordenada en el origen

      theta20 = w*time + (x0/L)*2*3.1415;
      theta30 = -asin((a/b)*sin(theta20)) + 3.1415;
      y0 = a*cos(theta20)-b*cos(theta30) - b;

      theta21 = w*time + (x1/L)*2*3.1415;
      theta31 = -asin((a/b)*sin(theta21)) + 3.1415;
      y1 = a*cos(theta21)-b*cos(theta31) - b;

      theta22 = w*time + (x2/L)*2*3.1415;
      theta32 = -asin((a/b)*sin(theta22)) + 3.1415;
      y2 = a*cos(theta22)-b*cos(theta32) - b;

      theta23 = w*time + (x3/L)*2*3.1415;
      theta33 = -asin((a/b)*sin(theta23)) + 3.1415;
      y3 = a*cos(theta23)-b*cos(theta33) - b;

      theta24 = w*time + (x4/L)*2*3.1415;
      theta34 = -asin((a/b)*sin(theta24)) + 3.1415;
      y4 = a*cos(theta24)-b*cos(theta34) - b;

      theta25 = w*time + (x5/L)*2*3.1415;
      theta35 = -asin((a/b)*sin(theta25)) + 3.1415;
```

y5 = a*cos(theta25)-b*cos(theta35) - b;

theta26 = w*time + (x6/L)*2*3.1415;
 theta36 = -asin((a/b)*sin(theta26)) + 3.1415;
 y6 = a*cos(theta26)-b*cos(theta36) - b;

theta27 = w*time + (x7/L)*2*3.1415;
 theta37 = -asin((a/b)*sin(theta27)) + 3.1415;
 y7 = a*cos(theta27)-b*cos(theta37) - b;

theta28 = w*time + (x8/L)*2*3.1415;
 theta38 = -asin((a/b)*sin(theta28)) + 3.1415;
 y8 = a*cos(theta28)-b*cos(theta38) - b;

```

if (x<x1) //if (x>=x0 && x<x1)
desplazamiento = y0 + (x-x0)*(y1-y0)/tramo;
if (x>=x1 && x<x2)
desplazamiento = y1 + (x-x1)*(y2-y1)/tramo;
if (x>=x2 && x<x3)
desplazamiento = y2 + (x-x2)*(y3-y2)/tramo;
if (x>=x3 && x<x4)
desplazamiento = y3 + (x-x3)*(y4-y3)/tramo;
if (x>=x4 && x<x5)
desplazamiento = y4 + (x-x4)*(y5-y4)/tramo;
if (x>=x5 && x<x6)
desplazamiento = y5 + (x-x5)*(y6-y5)/tramo;
if (x>=x6 && x<x7)
desplazamiento = y6 + (x-x6)*(y7-y6)/tramo;
if (x>x7) //if (x>=x7 && x<=x8)
desplazamiento = y7 + (x-x7)*(y8-y7)/tramo;
    
```

NODE_Y (node_p) = desplazamiento;

```

    }
}
}
end_f_loop (f, tf);
}
    
```

APÉNDICE 3

CONFIGURACIÓN DE AJUSTES DEL TACÓMETRO

Selección del voltaje de alimentación (220Vac)	1	2	3	4	5
	0	0	0	0	0

Selección del nivel de acceso a programación	DIP-switch	
	1	2
	OF	OF

Selección de la señal de entrada (PNP)	SW1				
	A1	A2	A3	A4	A5
	OF	ON	OF	ON	OF

Programación del tacómetro:

Conf. de la entrada

Tipo de medida: tACH
 Modo: RPM
 N° impulsos/rev: 1
 Punto decimal: 000.00

Conf. del display:

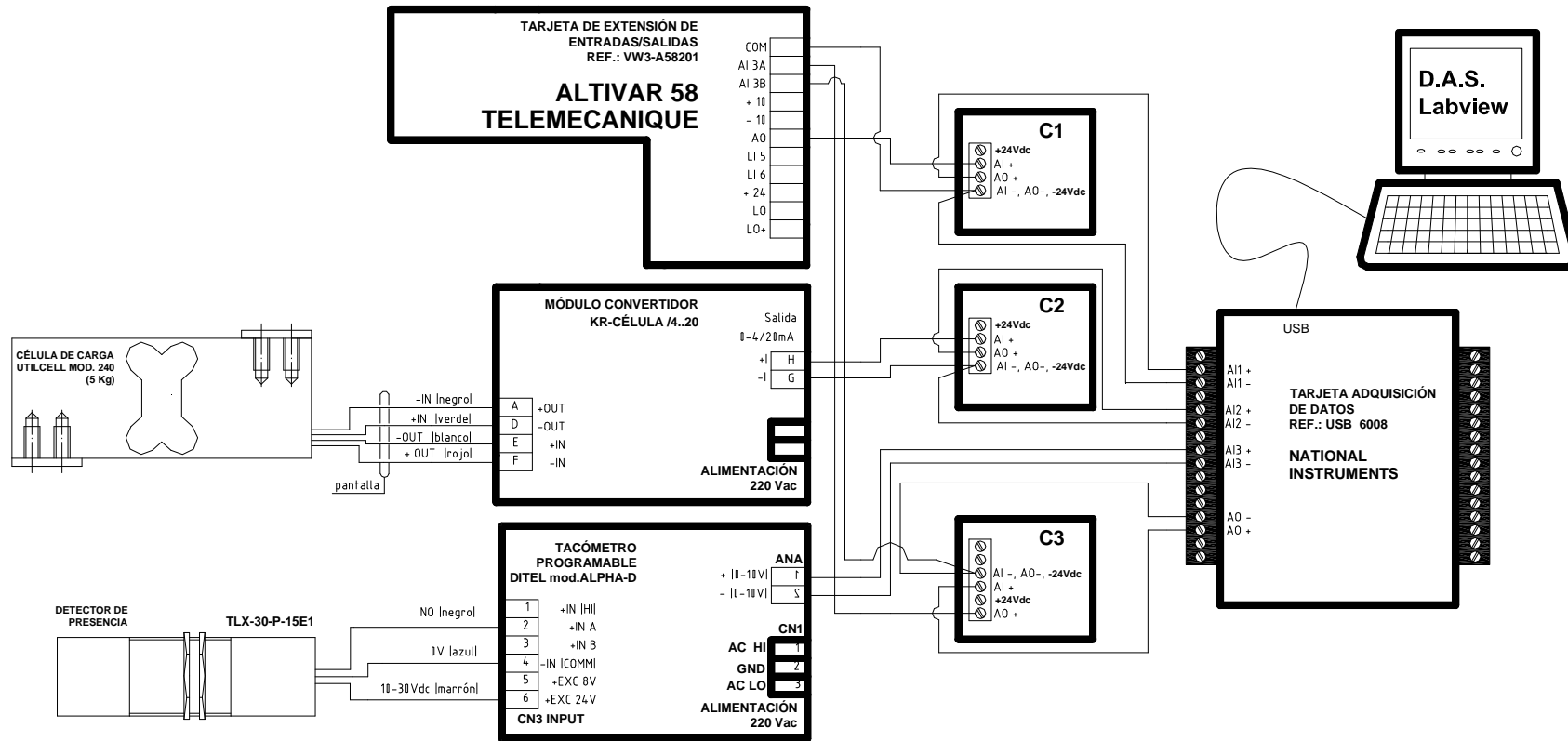
Factor multiplicador: 1
 Decimales del fact. Mult.: 0000.
 Tiempo máximo: 0,1 seg.
 Tiempo límite: 10 seg.
 Impulsos/ciclo: 1
 Tiempo promedio: 0,1 seg.

Conf de la salida analógica:

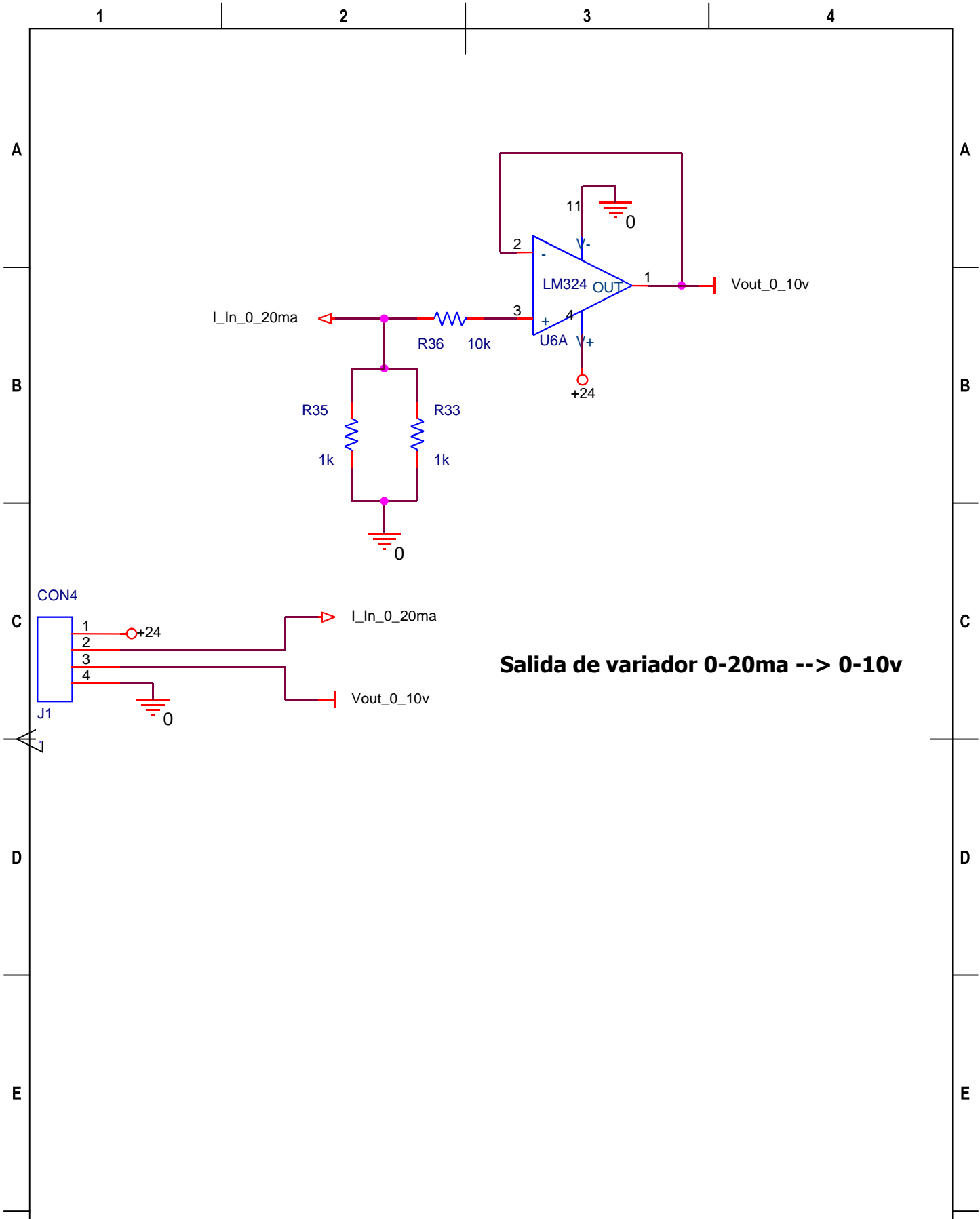
Tipo: 0-10V
 Escala: 0 rpm 0V
 1.500rpm 10V

APÉNDICE 4

ESQUEMA CONEXIONADO INSTRUMENTACIÓN

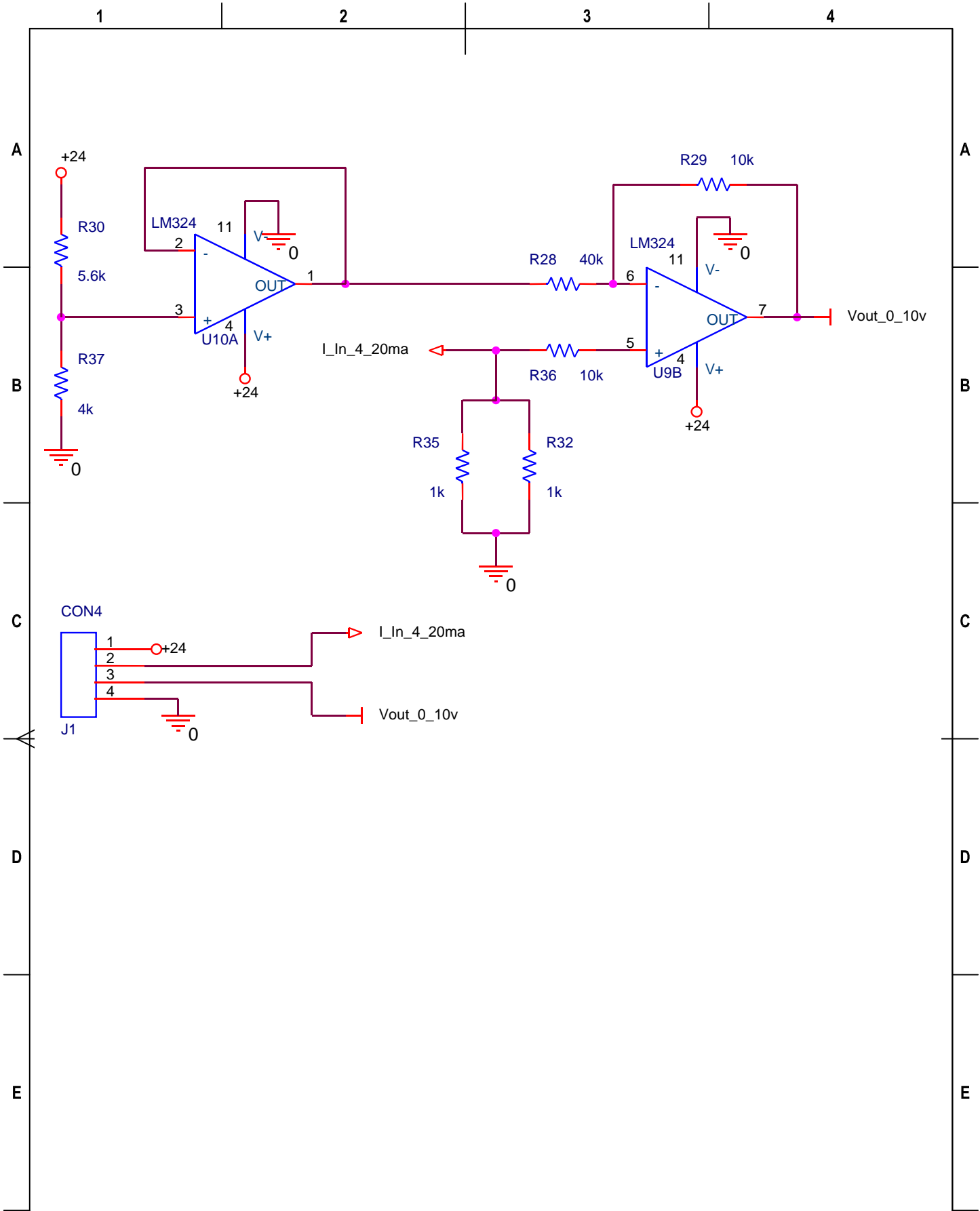


APÉNDICE 5



Salida de variador 0-20ma --> 0-10v

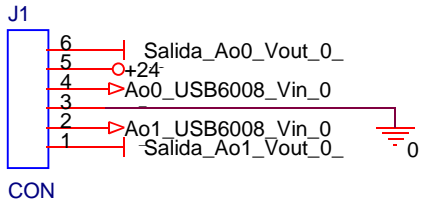
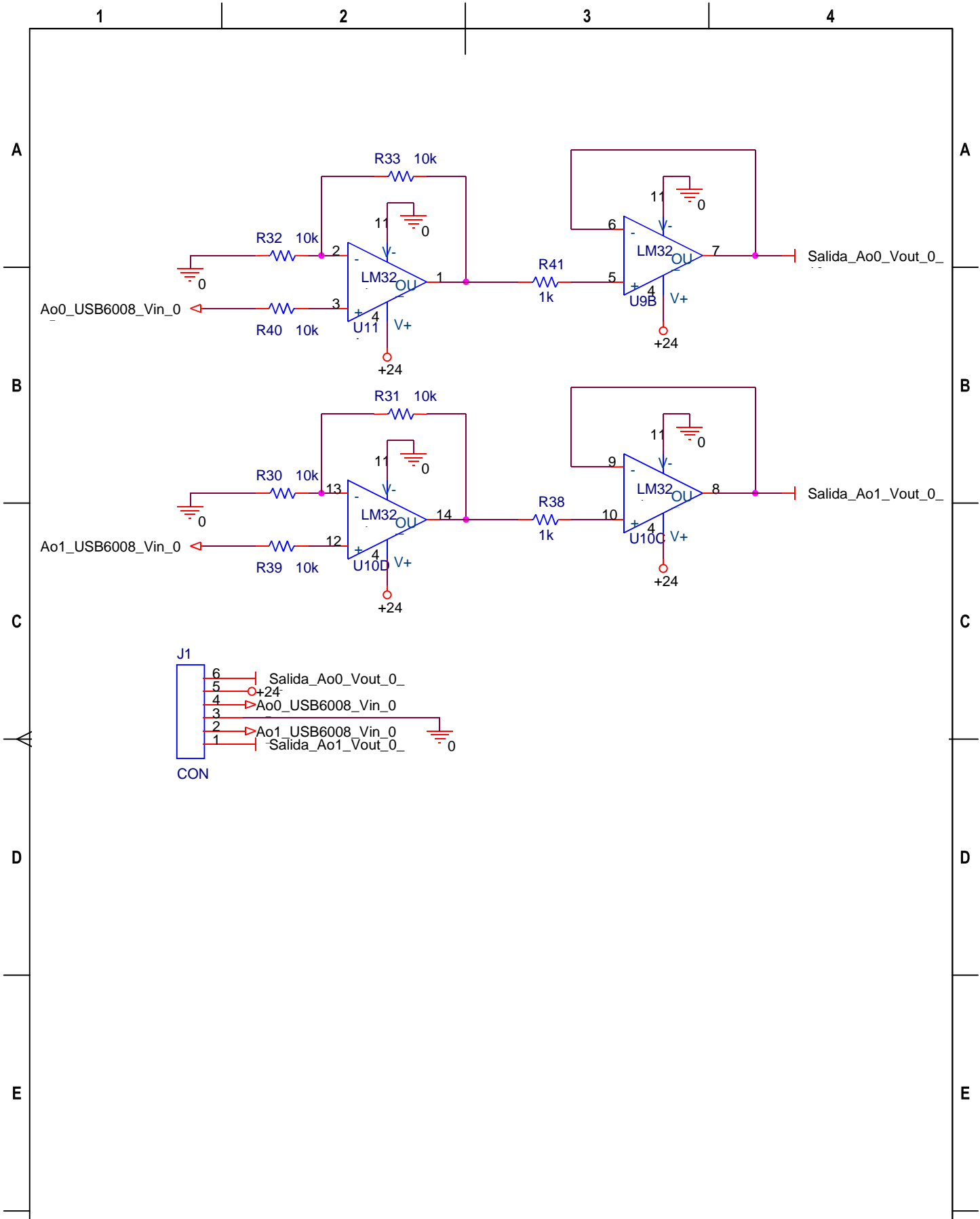
Ref.	Cantidad	Título/Nombre, designación, material, dimensión, etc.				Nº de artículo/Referencia	
	1						
F	Diseñado por	Fecha	Revisado por	Fecha	Aprobado por	Fecha	Escala
	J de Dios Rodriguez	FECHA		FECHA		FECHA	.
SISTEMA DE IMPULSIÓN ONDULANTE				Título			
				C1. Circuito conversión 0 - 20 mA a 0 - 10 V			
				Nº dibujo	Edición	Lámina	
				1		1	



Ref.	Cantidad	Título/Nombre, designación, material, dimensión, etc.	Nº de artículo/Referencia
	1		

Diseñado por	Fecha	Revisado por	Fecha	Aprobado por	Fecha	Escala
J de Dios Rodriguez	FECHA		FECHA		FECHA	.

SISTEMA DE IMPULSIÓN ONDULANTE	Título C2. Circuito conversión 4 - 20 mA a 0 - 10 V		
	Nº dibujo 1	Edición	Lámina 2



Ref.	Cantidad	Título/Nombre, designación, material, dimensión, etc.			Nº de artículo/Referencia			
	1							
F	Diseñado por J de Dios Rodriguez		Fecha FECHA	Revisado por	Fecha FECHA	Aprobado por	Fecha FECHA	Escala .
	SISTEMA DE IMPULSIÓN ONDULANTE				Título C3. Circuito conversión 0 - 5 V a 0 - 10 V			
					Nº dibujo 1		Edición	Lámina 3

APÉNDICE 6

PANTALLA DE EXPLOTACIÓN

