

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

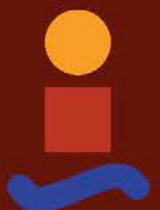
Modelado y recreación virtual con CATIA V5 del
motor de vapor bicilíndrico del buque Léchalas

Autor: Jesús Prian Baena

Tutor: Francisco Andrés Valderrama Gual

Dep. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2017



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Modelado y recreación virtual con CATIA V5 del motor de vapor bicilíndrico del buque Léchalas

Autor:
Jesús Prian Baena

Tutor:
Francisco Andrés Valderrama Gual
Profesor titular

Dep. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2017

Proyecto Fin de Carrera: Modelado y recreación virtual con CATIA V5 del motor de vapor bicilíndrico del
buque Léchalas

Autor: Jesús Prian Baena

Tutor: Francisco Andrés Valderrama Gual

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

*A quienes se fueron, a quienes
están, a quienes vendrán*

Resumen

En este trabajo se realizará un modelado en CATIA V5 de un motor de vapor bicilíndrico correspondiente al buque Léchalas. Se mostrará el proceso de modelado de todas las piezas que componen su conjunto con una recreación virtual de su cinemática.

Además, se hará un breve repaso histórico desde los inicios de la revolución industrial hasta nuestros días y la importancia que supuso la máquina de vapor como avance en los primeros motores.

Resumen	ix
Índice	xi
Índice de Figuras	xiii
1 Introducción	1
1.1 Propósito y objetivos	1
1.2 Diseño y fabricación asistidos por ordenador (CAD - CAM)	1
1.3 Metodología empleada	3
2 Estado del arte	
2.1 La máquina de vapor	7
2.2 El barco de vapor	10
2.3 El Léchalas	12
3 Proceso de modelado en CATIA	13
3.1 <i>TwinCylinder</i>	14
3.2 <i>Engine Head y Engine Head Sym</i>	22
3.3 <i>AdmissionTube y ExhaustTube</i>	28
3.4 <i>CrankShaft</i>	31
3.5 <i>Distribution</i>	37
3.6 Funcionamiento del motor	48
4 Resultado final	53
5 Conclusiones	59
6 Anejo: planos	61
Referencias	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Diseño de una turbina de avión en CATIA V5	2
Figura 1-2. Proceso de simulación de fresado en SolidWorks	3
Figura 1-3. Árbol de operaciones del conjunto global	4
Figura 2-1. Primera máquina de vapor, llamada la eolípila	8
Figura 2-2. La máquina de vapor de Newcomen	9
Figura 2-3. La máquina de vapor de James Watt	10
Figura 2-4. Planos del Léchalas procedentes de una revista francesa	12
Figura 3-1. Numeración de todas las piezas del conjunto	13
Figura 3-2. Subconjunto TwinCylinder	14
Figura 3-3. Pieza número 1, llamada <i>Bati Peint</i>	14
Figura 3-4. Bati Peint. Operación Pad	15
Figura 3-5. Bati Peint. Operación Pocket	15
Figura 3-6. Bati Peint. Operación Pocket	16
Figura 3-7. Bati Peint. Operación Hole	16
Figura 3-8. Bati Peint. Operación Mirror	16
Figura 3-9. Palier Exterieur. Operación Chamfer	17
Figura 3-10. Palier Exterieur. Operación Edge Fillet	17
Figura 3-11. Palier Exterieur + árbol de operaciones	18
Figura 3-12. Palier intérieur Supérieur + árbol de operaciones	18
Figura 3-13. Palier intérieur inférieur + árbol de operaciones	18
Figura 3-14. Glissiare + árbol de operaciones	19
Figura 3-15. Usinee. Operación de sketch	19
Figura 3-16. Usinee. Operación de sketch	20
Figura 3-17. Flasque y Corps con sus árboles de operaciones	20
Figura 3-18. Vis HM2 – 06. Operación Groove	21
Figura 3-19. Vis HM2 – 06. Operación Thread	21
Figura 3-20. Subconjunto Engine Head	22
Figura 3-21. Subconjunto Engine Head + Pistón	22
Figura 3-22. Vistas de la pieza Cylindre. Pieza número 11	23
Figura 3-23. Cylindre. Operación circular pattern	23
Figura 3-24. Cylindre. Operación Hole con counterbored	24
Figura 3-25. Cylindre. Operación plane	24
Figura 3-26. Cylindre. Operación mirror	24
Figura 3-27. Cylindre. Operación Hole con v-bottom	25
Figura 3-28. Boite Vapeur. Operación shaft	25
Figura 3-29. Boite Vapeur. Operación Hole con Counterbored	26

Figura 3-25, Cylindre. Operación plane	24
Figura 3-26. Cylindre. Operación mirror	24
Figura 3-27. Cylindre. Operación Hole con v-bottom	25
Figura 3-28. Boite Vapeur. Operación shaft	25
Figura 3-29. Boite Vapeur. Operación Hole con Counterbored	26
Figura 3-30. Boite Vapeur + árbol de operaciones	26
Figura 3-31. Bride Tube 4x3 + árbol de operaciones	27
Figura 3-32. Couvercle + árbol de operaciones	27
Figura 3-33. Piezas 41, 42 y 24 con los árboles de operaciones	27
Figura 3-34. Subconjuntos AdmissionTube y ExhaustTube, respectivamente	28
Figura 3-35. TubeAdmission. Operación Rib	28
Figura 3-36. Bride Mouteur y Bride Tube 3x4 + árbol de operaciones	29
Figura 3-37. Collecteur Admission. Operación Pad	29
Figura 3-38. Collecteur Admission. Operación Hole	29
Figura 3-39. Collecteur Admission + árbol de operaciones	30
Figura 3-40. Raccord D6. Operación Thread	30
Figura 3-41. Raccord D6. Operación Hole	30
Figura 3-42. Subconjunto CrankShaft	31
Figura 3-43. Vibrequin. Operación Pad	32
Figura 3-44. Vibrequin. Operación Pocket	32
Figura 3-45. Bielle. Operación Shaft	33
Figura 3-46. Bielle. Operación Pad	33
Figura 3-47. Bielle. Operación Hole	34
Figura 3-48. Pied de Bielle +	34
Figura 3-49. Axe Tete de Bielle y Coulisseau + árbol de operaciones	35
Figura 3-50. Piston. Operación Shaft	35
Figura 3-51. Piston. Operación Hole	36
Figura 3-52. Tige Piston + árbol de operaciones	36
Figura 3-53. Volant. Operación Shaft	37
Figura 3-54. Subconjunto Distribution	37
Figura 3-55. Excentrique. Operación Pocket	38
Figura 3-56. Excentrique. Operación Hole	38
Figura 3-57. Excentrique + árbol de operaciones	39
Figura 3-58. Bielle Distribution. Operación Pad	39
Figura 3-59. Bielle Distribution. Operación Draft	40
Figura 3-60. Bielle Distribution. Operación Hole	40
Figura 3-61. Secuencia de operaciones en Bielle Distribution	41
Figura 3-62. Coulise. Operación Sketch	41
Figura 3-63. Coulise + árbol de operaciones	42

Figura 3-64. Secuencia de operaciones en Tige Distribution	42
Figura 3-65. Tiroir Bague + árbol de operaciones	43
Figura 3-66. Tiroir + árbol de operaciones	43
Figura 3-67. Commande Distribution + árbol de operaciones	44
Figura 3-68. Commande Distribution. Operación Shaft	44
Figura 3-69. Bielle Commande. Operación Pad	45
Figura 3-70. Bielle Commande + árbol de operaciones	45
Figura 3-71. Bielle Coulissine + árbol de operaciones	46
Figura 3-72. Ecrou HM1_6 + árbol de operaciones	46
Figura 3-73. Axe Coulisse + árbol de operaciones	47
Figura 3-74. Pieza 47 + árbol de operaciones	47
Figura 3-75. Entrada (en azul) y salida al exterior del vapor (en rojo)	48
Figura 3-76. Entrada (en azul) y salida al exterior del vapor (en rojo)	49
Figura 3-77. Motor parado	49
Figura 3-78. Entrada de vapor al cilindro por el conducto superior	50
Figura 3-79. Entrada de vapor al pistón (Azul) y salida del mismo (Rojo)	50
Figura 3-80. Entrada de vapor al pistón (Azul) y salida del mismo (Rojo)	51
Figura 4-1. Vista en 3D del motor de vapor proporcionada por los planos	53
Figura 4-2. Vista en 3D del motor de vapor en CATIA V5	54
Figura 4-3. Vistas de planta (izquierda) y alzado (derecha) del motor	54
Figura 4-4. Vista de planta del motor en CATIA	55
Figura 4-5. Vista de alzado del motor en CATIA	55
Figura 4-6. Parte superior del conjunto + corte en XZ	56
Figura 4-7. Vista explosionada de la parte superior del motor	56
Figura 4-8. Vista en 3D de la parte posterior del motor	57

1 INTRODUCCIÓN

El proyecto que a continuación se presenta consiste en la recreación virtual de un motor a vapor bicilíndrico procedente a *El Léchalas*, un buque Francés diseñado por el ingeniero Mederic Clement Léchalas en 1912. Para la realización de todos los componentes del motor se dispone de todos los planos, con su respectivo ensamblaje de todas las piezas, y que se mostrarán paulatinamente en apartados posteriores.

Asimismo, se realizará un repaso a la historia de las máquinas y mecanismos para llegar hacia donde estamos hoy en día y de la importancia que supuso la máquina de vapor para la revolución industrial.

1.1 Propósito y objetivos

El motor de vapor supuso una gran revolución para los seres humanos ya que permitió poder transportar a personas de unas ciudades a otras sin necesidad de emplear a ciertos animales para ello. Además de ser utilizados en industrias para poder fabricar más rápido y con mayor eficiencia. Por consiguiente, resulta de gran interés un repaso histórico de los avances realizados por los humanos desde los inicios de la edad moderna para poder llegar así al motor de vapor.

Así pues, resulta muy importante recobrar vida a un patrimonio histórico que ha servido de mucho a nuestros antepasados y que supuso un gran paso para llegar hacia donde hoy estamos.

Asimismo, la importancia de poder realizar este proyecto en el software comercial más significativo en términos de *Diseño asistido por computador*, resulta de gran provecho para cualquier ingeniero, y sobre todo para el mundo de la ingeniería mecánica.

1.2 Diseño y fabricación asistidos por ordenador (CAD - CAM)

El diseño y la fabricación asistidos por ordenador (CAD-CAM) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y fabricación de cualquier tipo de producto. El diseño asistido por ordenador (*Computer-Aided Design*, de ahí sus siglas en Inglés), además de la fabricación asistida por ordenador (*Computer-Aided Manufacturing*), juegan un papel fundamental a la hora de desarrollar o fabricar productos en la industria hoy en día.

El proceso convencional que se llevaba a cabo antes de la llegada del CAD para el desarrollo de un producto en una fábrica consistía en la elaboración de planos de ese artículo con su respectiva fabricación de un modelo para comprobar que tanto el diseño, como la fabricación de éste eran idóneos para su producción en masa. Entonces, resulta lógico pensar que cualquier cambio que se quiera llevar a cabo en el diseño de cualquier producto necesita de una modificación en el diseño del modelo. Por lo que es evidente que, cualquier cambio de diseño en la producción acarrea gastos y pérdidas de tiempo tanto en la fabricación de nuevos modelos como en retrasos de la manufactura.

Por otra parte, los defectos de diseño normalmente son descubiertos después del proceso de fabricación de la pieza, ya que es en esa etapa cuando se descubren los fallos por los ensayos mecánicos sometidos al producto final. Ésto resultan unos sobrecostes y pérdidas de tiempo aún mayores en todo el proceso de producción de una pieza o un producto.

El diseño asistido por computador trata de diseñar el producto de manera virtual con la mayor precisión posible, valiéndose de los axiomas de la geometría básica, con unos sobrecostos mínimos de diseño y con la capacidad de realizar una simulación de los ensayos mecánicos. Esto posibilita el hecho de poder cambiar el diseño de un producto o pieza tantas veces como se desee en una computadora a través de un software de CAD y poder observar si el diseño es óptimo para la fabricación antes de llevarse a cabo el proceso de producción

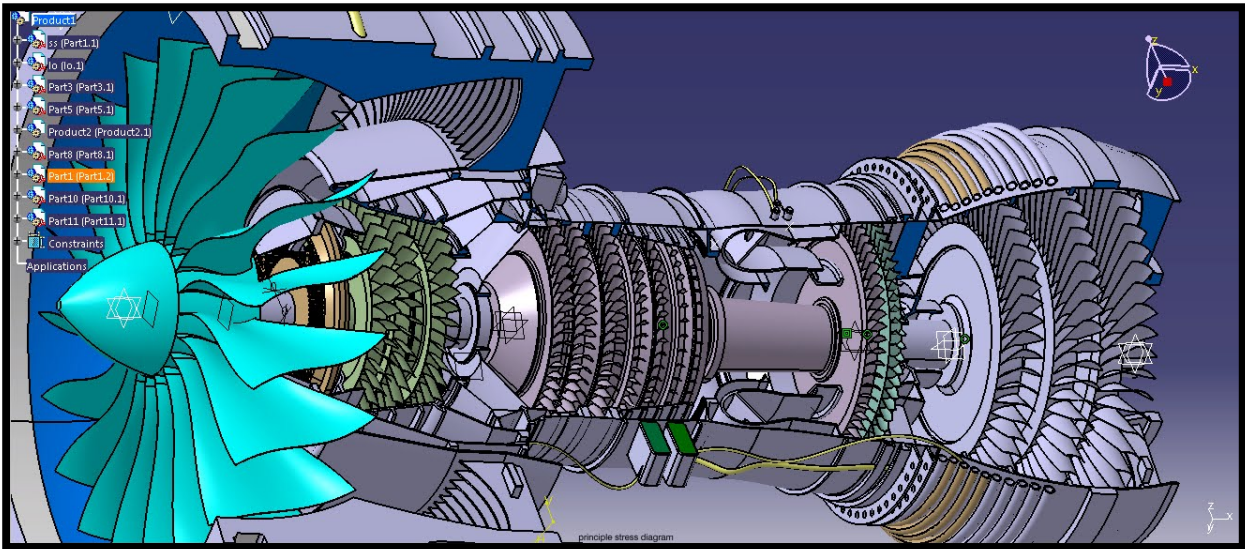


Figura 1-1. Diseño de una turbina de avión en CATIA V5

<http://25-1ima03s-mecanismos.blogspot.com.es/>

Por lo que, como resulta lógico, esto ha supuesto una revolución en el mundo del diseño en las últimas décadas. Tanto es así que todas las grandes factorías del sector aeronáutico y automovilístico, como EADS, Grupo Volkswagen, General motors, etc. precisan de algún software para el desarrollo del diseño de cualquier producto.

Adicionalmente, las últimas versiones de los *software* de diseño disponen de la capacidad de parametrizar las dimensiones de todas las piezas de un producto o ensamblaje, haciéndose aún más eficiente el desarrollo de un modelo de cara a futuros cambios de diseño de un conjunto de piezas. Esto es posible, ya que las piezas de un conjunto pueden ser parametrizadas del tal forma que estén gobernadas por ecuaciones que cumplen las leyes básicas de la trigonometría y que por ende, cualquier medida puede ser cambiada por pantalla sin necesidad de entrar en el boceto de cada pieza. Aunque, cabe destacar que en el presente proyecto no se realizarán medidas parametrizadas ya que la realización de este modelo no está pensada para un cambio continuo de diseño.

Una vez obtenido el diseño de cualquier pieza mediante CAD, la fabricación asistida por computadora (CAM) sirve de nexo de unión entre el diseño y el lenguaje de programación de las máquinas herramientas con una intervención mínima del operario. La combinación entre el diseño y la fabricación asistidos por computadora resulta ser muy positiva para la eficiencia en producción ya que, permite la transferencia de información desde la etapa de diseño a la etapa de fabricación del producto, sin necesidad de volver a capturar manualmente los datos geométricos de la pieza. Además, el software de CAM permite realizar una simulación de la trayectoria de la herramienta, ya sea en fresado, torneado, taladrado, etc. Pudiéndose modificar la trayectoria para así optimizarla.

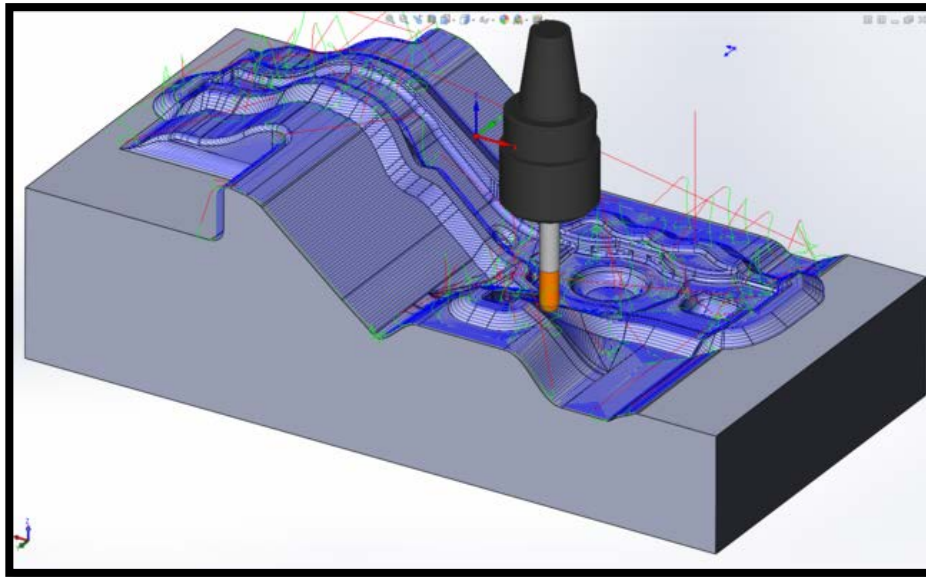


Figura 1-2. Proceso de simulación de fresado en SolidWorks

<http://www.solidcam.com>

1.3 Metodología empleada

En este capítulo se hará una referencia al software utilizado para llevar a cabo este proyecto y la razón por la cual se ha elegido. Además de una visión global de cómo se realizará el ensamblaje del motor de vapor.

El software comercial CATIA surge tras la necesidad de realizar modelos tridimensionales en el campo de la aeronáutica en la década de los 70. Un grupo de ingenieros de la empresa Francesa *Dassault Aviation* crean *Dassault System*, una empresa dedicada a desarrollar y vender el software. En 1981, sale la primera versión de CATIA y ese mismo año se inició la colaboración con grandes empresas de la industria de la automoción como son BMW, Mercedes-Benz y Honda.

En 1984, la compañía aeronáutica Boeing utiliza CATIA como software principal para la elaboración de diseños tridimensionales. Además, es en ese año cuando se convierte en líder mundial de diseño en la industria aeroespacial.

En 1988, CATIA se convierte en el líder mundial de diseño en la industria de automoción y rápidamente se iniciaron más colaboraciones con el sector aeronáutico.

En 1994, el grupo se expande a siete sectores industriales, añadiendo la fabricación y ensamblaje, los bienes de consumo, la alta tecnología, la construcción naval y la energía.

Por tanto, uno de los principales motivos que ha llevado a realizar este proyecto en CATIA es su uso extendido por parte de destacadas empresas en ingeniería. Además, CATIA es considerado el producto más potente a la hora de realizar diseños tridimensionales, al ser muy preciso y con una sencillez de uso que cualquier usuario agradece.

Para su mejor comprensión, se ha realizado el ensamblaje de tal modo que se organice por grupos de pequeños ensamblajes o *subensamblajes*, los cuales serán explicados en capítulos posteriores. Por otra parte, los planos se irán mostrando paulatinamente a medida que se muestren los modelos tridimensionales de cada pieza en siguientes apartados.

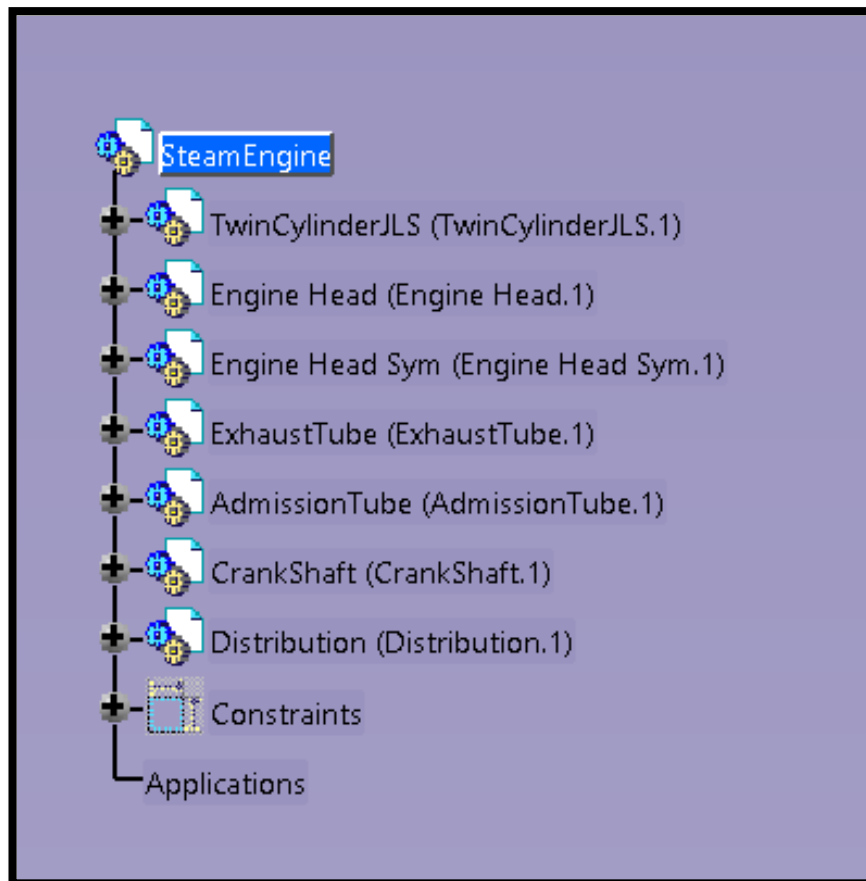



























Figura 1-3. Árbol de operaciones del conjunto global

Cabe destacar las funciones principales que se han utilizado para la realización del modelaje del conjunto motor. Éstas son:

-  **Sketch:** Conexión de curvas o rectas que forman un perfil plano y normalmente cerrado.
-  **Pad:** Extrusión de perfiles cerrados según una dirección.
-  **Pocket:** Vaciado por extrusión de un sólido ya creado.
-  **Shaft:** Generación de sólidos mediante revolución de perfil alrededor de un eje de revolución.
-  **Hole:** Taladrado de superficies. `_a\resources\graphic\icons\normal`
-  **Rib:** Extrusión de perfil sobre una curva y una guía.
-  **Slot:** Vaciado de perfil sobre una curva y una guía
- **Multi-sections Solid:** Creación de sólidos de acuerdo a un patrón de secciones variables.
- **Removed Multi-sections Solid:** Vaciado de sólidos de acuerdo a un patrón de secciones variables.
-  **Edge Fillet:** Realiza redondeos en aristas.
-  **Chamfer:** Realiza chaflanes en aristas.
-  **Threat/Tap:** Realiza roscado interno o externo alrededor de una superficie cilíndrica.
-  **Split:** Recorte de sólidos con superficies auxiliares.
-  **Thick Surface:** Da espesor a una superficie.

-  **Circular Pattern:** Repetición de elementos según un patrón circular.
-  **Shell:** Vaciado de sólidos por selección de la cara a eliminar y grosor resultante de pared deseado.
-  **Mirror:** Operación de simetría con respecto a un plano.
-  **Add:** Operación booleana de suma.
-  **Remove:** Operación booleana de resta.
-  **Union trim:** Operación booleana de ensamblaje que elimina la parte sobrante.
-  **Constraint y Constraint Defined in Dialog Box:** Relación entre geometrías en 2D.

Además de las funciones principales utilizadas para la realización de los subconjuntos y su posterior conjunto total.

-  **Fix:** Fija un elemento y en torno a este se van fijando los grados de libertad de los demás.
-  **Coincidence:** Coincidencia entre ejes.
-  **Contact:** Contacto entre caras.
-  **Offset:** Distancia entre caras.
-  **Fix together:** permite fijar un elemento a otro.
-  **Angle:** Ángulo entre caras.

2 ESTADO DEL ARTE

El hombre, desde la más remota antigüedad, se ha servido de diversos artefactos con la finalidad de facilitar su existencia y, en último extremo, garantizar su supervivencia. Desde los trozos de piedra rudamente tallados del Paleolítico hasta cualquier refinado producto electrónico del siglo XXI se ha recorrido un largo camino que es preciso conocer para entender la historia del progreso humano y, en definitiva, evitar repetir experiencias ya realizadas o errores cometidos.

Los primitivos cazadores-recolectores disponían de herramientas sencillas y primarias, como hachas, anzuelos, cuchillos, arpones y raspadores para la preparación de las pieles, pero también manejaban instrumentos dotados de cierta sofisticación.

Los lanzadores de venablos se fabricaban generalmente de madera o con huesos largos de animales convenientemente tallados, con una muesca en un extremo para alojar la punta roma del venablo. Al blandirse con la mano por el extremo opuesto permitían prolongar la longitud del brazo, aportando a un arma arrojadiza la suficiente energía cinética para que pudiera alcanzar y abatir un objetivo situado a cierta distancia.

El arco y las flechas suponen igualmente el perfeccionamiento de un diseño obtenido mediante la práctica, alcanzando un compromiso eficaz (igual que sucede en cualquier proyecto o diseño moderno) entre peso y manejabilidad del arma, resistencia mecánica a flexión, elasticidad, masa de la flecha para que cause efecto y su recorrido sea estable, alcance, esfuerzo a aplicar por el arquero y precisión del disparo.

Llama poderosamente la atención que muchos de los instrumentos de que se valían los hombres primitivos estuviesen directamente relacionados, bien con la guerra, o bien con la caza, su trasunto en tiempo de paz, que servía tanto como fuente de proteínas que como entrenamiento para la guerra, que en definitiva era el medio supremo para ejercer el dominio territorial y de los recursos, y por tanto alcanzar la conquista de la supervivencia.

2.1 La máquina de vapor

La primera máquina de la cual tenemos evidencia escrita fue descubierta por Hero de Alejandría (130 a.C.) y llamada la *eolípila*. Es una turbina de vapor primitiva que consiste de un globo hueco soportado por un pivote de manera que pueda girar alrededor de un par de muñones, uno de ellos hueco. Por dicho muñón se puede inyectar vapor de agua, el cual escapa del globo hacia el exterior por dos tubos doblados y orientados tangencialmente en direcciones opuestas y colocados en los extremos del diámetro perpendicular al eje del globo. Al ser expelido el vapor, el globo reacciona a esta fuerza y gira alrededor de su eje



Figura 2-1. Primera máquina de vapor, llamada la eolípila

<https://es.wikipedia.org/wiki/Eolipila>

Durante toda la Edad Media se habían aceptado como autoridades indiscutibles los escritos y teorías de los clásicos griegos. En el Renacimiento, debido a los cambios sociales experimentados, se empezaron a comparar los conocimientos clásicos con la observación directa de la naturaleza y con la realización de experimentos, dando lugar al método científico.

En el siglo XVII aparece una serie de gigantes de la Física y la Matemática, que impulsaron los conocimientos científicos teóricos, posibilitando posteriores desarrollos tecnológicos que no se hubiesen podido realizar sin contar previamente con esos instrumentos.

En el siglo XVIII, todavía sin más motores que la fuerza humana, la de los animales, la gravedad, rudimentarios motores de cuerda, la fuerza del viento, y la del agua aprovechando los desniveles en los cursos de los ríos y algunos tempranos molinos de marea, la mecanización estuvo muy limitada.

A mediados del siglo XVIII se dieron en Inglaterra una serie de circunstancias que permitieron la aparición de un fenómeno sin precedentes en la historia, conocido como la Revolución Industrial. Es interesante analizar los motivos por los que una potencia, que apenas un siglo antes era de segunda o tercera clase (salvo en lo que respecta a la marina, tanto mercante como de guerra), pudo alcanzar la hegemonía mundial mediante la implantación masiva del maquinismo. En primer lugar, Inglaterra gozaba de una situación de libertades personales, políticas y religiosas, como no se podía encontrar en ningún otro país europeo. Por otra parte, al ser una isla disponía de numerosos puertos abrigados y tenía una importante cultura marítima y de proyección internacional. Finalmente, la existencia de numerosos yacimientos superficiales de carbón mineral hizo posible su aplicación, primero para la metalurgia, y después para la alimentación de las máquinas de vapor.

La actividad minera, que se encontraba limitada por la imposibilidad de explotar vetas inundables, recibió un importantísimo impulso con la aparición de las primeras máquinas de vapor, concebidas especialmente para la extracción de agua de las minas, como la máquina de Newcomen, de 1712, que funcionaba por presión atmosférica y con un bajísimo rendimiento.

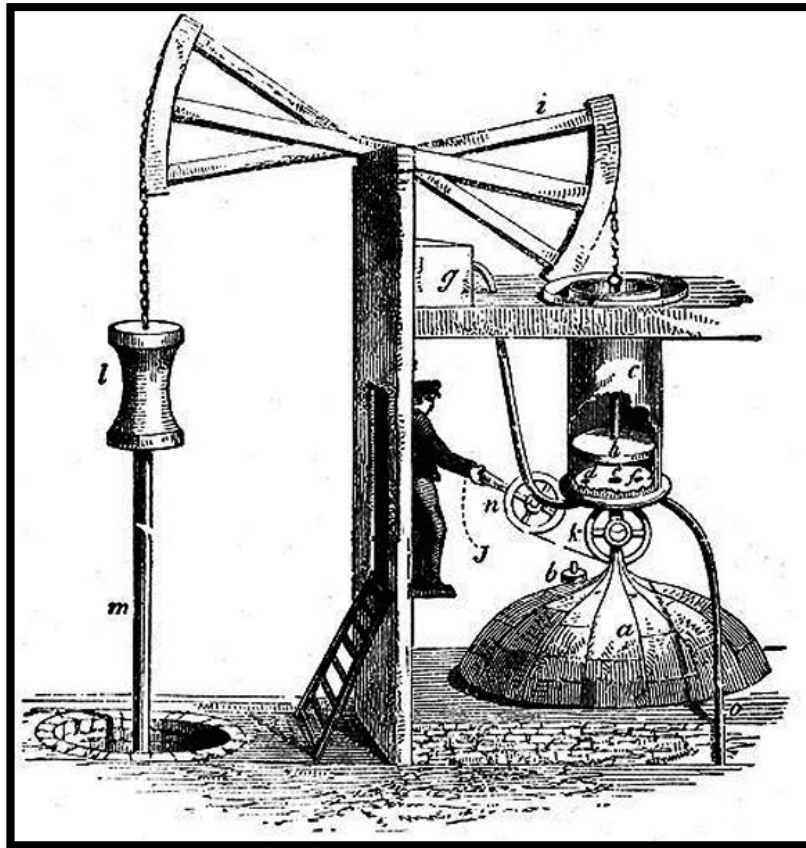


Figura 2-2. La máquina de vapor de Newcomen

<http://historico.oepm.es>

La tecnología mecánica comenzaba a estar madura para afrontar retos superiores, pero para ello era necesaria una revulsión generalizada y profunda, que efectivamente llegó hacia 1750. Aunque comúnmente se asocia el comienzo de la Revolución Industrial con la aparición de la máquina de vapor, lo cierto es que el acontecimiento que marcó una diferencia cualitativa fue la invención y posterior utilización masiva de las máquinas para la industria textil, como la Spinning Jenny de Hargreaves, la Water Frame o hiladora de agua de Arkwright, la Mule Jenny o hiladora de Crompton y la definitiva aportación del telar mecánico de Edmund Cartwright, hacia 1786.

La máquina de vapor de James Watt es relativamente tardía, 1769, y su aparición supuso la posibilidad de disponer de un motor fiable y predecible, que solamente requería aporte de agua y de combustible. Por primera vez en la Historia era posible la generación de energía mecánica donde y cuando se necesitaba, con total independencia de otros factores. La explotación minera impuso las ventajas del carbón como combustible en lugar de la madera, por lo que las industrias con necesidades energéticas importantes empezaron a emigrar desde los valles de los ríos, que antes proporcionaban energía hidráulica, a la proximidad de las cuencas mineras, buscando carbón barato sin gastos de transporte que lo gravaran.

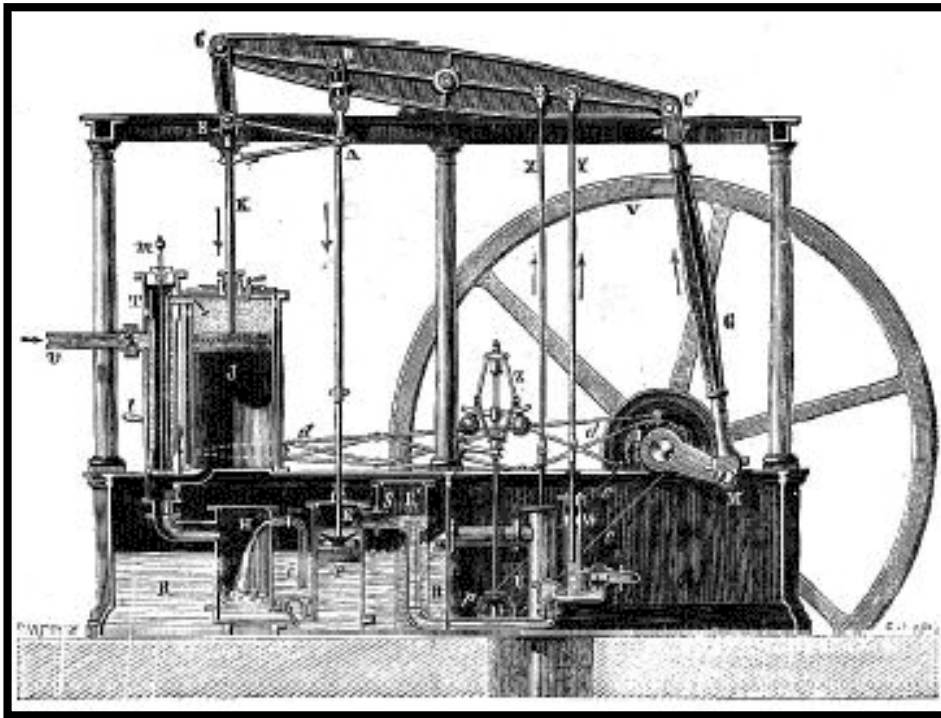


Figura 2-3. La máquina de vapor de James Watt

<http://www.hiru.eus>

Las principales aportaciones de Watt fueron la utilización de vapor a baja presión (con la consiguiente mejora del rendimiento en relación a las máquinas atmosféricas), el empleo del condensador, y la aplicación de su célebre paralelogramo para el guiado rectilíneo del vástago del cilindro, pero también destacó por la aplicación del regulador centrífugo para el control de la velocidad de giro de las máquinas. Richard Trevithick consiguió posteriores mejoras mediante la utilización del vapor a alta presión, lo que le requirió considerables perfeccionamientos en la tecnología constructiva de las calderas, además de pasar a la Historia como constructor de primigenios vehículos de vapor para raíl y carretera, y de alumbrar el concepto de la caja de cambios.

El primer vehículo autopropulsado conocido fue el carro de vapor (*fardier à vapeur*) construido en París en 1769 por Nicholas Joseph Cugnot, que después de algunos accidentes acabó siendo retirado de las calles por considerarse un peligro público.

La aparición del ferrocarril marcó un hito especial al introducir una innovación fundamental en el transporte terrestre. El ferrocarril permitió la comunicación entre regiones y países que antes apenas se conocían, facilitando el intercambio de productos y haciendo posible el movimiento de personas de una forma antes inimaginable, aunque sus comienzos fueron duros. Hay que tener en cuenta que nunca antes se había podido superar la velocidad de un caballo al galope, y que existía la creencia popular de que al viajar a más de treinta km/h morirían indefectiblemente los pasajeros por asfixia o de una fulminante apoplejía; que las cosechas se quemarían con las chispas que despedían las chimeneas, que las vacas dejarían de dar leche, y otros tantos argumentos de parecido jaez, que fueron interesadamente propagados por los enemigos del ferrocarril, hasta caer aplastados por la fuerza de los hechos.

A mediados del siglo XIX todas las ciudades avanzadas estaban dominadas por un auténtico bosque de chimeneas, y la potencia de las máquinas de vapor era un índice inequívoco de la capacidad industrial de un país. Entre 1840 y 1880 pasó la potencia instalada mundial de 2 millones a 28 millones de caballos de vapor.

2.2 El barco de vapor

Debido a que los elementos de propulsión primitivos que el hombre utilizó para mover sus embarcaciones, como la pértiga y el remo, que exigían demasiado esfuerzo, o bien la vela que dependía del caprichoso viento, no eran todo lo seguros que necesitaba, ya que en ocasiones no le permitían llegar con bien a su destino. El

hombre empezó a investigar durante mucho tiempo para tratar de encontrar un sistema mecánico o de propulsión de sus navíos con el fin de remplazar los que hasta entonces usaba.

Esto lo logró al diseñar los sistemas a base de vapor, que a su vez cambiaron por completo el diseño de los barcos, y se puede considerar que este hecho trajo consigo una modificación básica en el comportamiento de la humanidad.

En 1783 el francés D'Abbans, oficial de la marina, construyó el primer barco de vapor que consiguió remontar la corriente de un río, el Saona, aunque en una distancia corta. Dos escoceses, Miller y Symington, en 1789 diseñaron un barco de vapor que alcanzó la velocidad de 7 nudos. En Estados Unidos, en 1807, Fulton, recogiendo todas las experiencias anteriores, puso en servicio el *Clermont*, considerado como el primer barco de vapor completo, que demostró su utilidad durante varios años realizando el servicio entre Nueva York y Albany sobre el río Hudson, y fue al siguiente año cuando el norteamericano Stevens construyó un barco de vapor que realizó la primera travesía marítima utilizando este sistema.

En Inglaterra la construcción de buques de vapor se desarrolló con gran rapidez a partir de 1818, y el barco *Rob Roy* hizo la travesía entre Greenok y Belfast en Irlanda del Norte, que se puede considerar como la primera ruta marina cubierta con regularidad por los barcos de vapor. En el año de 1835, la flota mercante inglesa contaba ya con 500 vapores y los primeros que atravesaron el Atlántico fueron el *Sirus* y el *Great Western*, en 1838, barcos de escaso tonelaje, pero que utilizaron sólo el vapor en la travesía.

En Francia también se incrementó el uso de los barcos de vapor, y en los astilleros de los hermanos Bazin de Marsella se construyeron los primeros vapores, el *Henry IV* y el *Sully*; en 1836 la armada de guerra francesa poseía un buen número de barcos movidos a vapor y también contaba con doce vapores para transportar mercancías entre Argel y Levante. Estos navíos y los construidos más tarde, formaron la compañía naviera de Mensajerías Marítimas cuyos barcos tenían una eslora de 50 metros desplazando 380 toneladas, podían llevar a bordo 26 pasajeros y desarrollaban 7 nudos. El incremento de la flota francesa de vapor hizo necesarios los servicios de personal técnico capacitado; por ello se crea, en Tolón, la primera escuela para preparar a los técnicos en los sistemas de navegación por vapor.

Estos primeros barcos de vapor fueron movidos por grandes ruedas de paletas, colocadas en sus costados, pero debido a las dificultades que representaba accionarlas fueron sustituidas por la hélice de vapor, colocada en la popa de la embarcación, cuyo invento puede atribuirse tanto al inglés Smith, que la patentó en 1835, como al sueco Ericson o a los franceses Sauvage y Normand.

El problema que se presentó en los buques de ruedas y los de hélice era el enorme consumo de carbón, lo que ocasionaba que el vapor obtenido tuviera costos muy altos, ya que la energía se desperdiciaba; por ejemplo, el *Britania* de la Compañía Cunard, que desplazaba 1000 toneladas, con rueda de paletas consumía cerca de 40 toneladas de carbón por día, mientras el *Pereire*, paquebote trasatlántico de hélice de 3014 toneladas de desplazamiento, desarrollaba 13 nudos y consumía 80 toneladas cada 24 horas.

El equipo de vapor para los barcos se fue perfeccionando y se introdujeron progresivamente otro tipo de calderas, como las tubulares, parecidas a las que utilizan las locomotoras; después, las máquinas de vapor de retroceso y, más tarde, las de triple expansión, con las cuales se redujo considerablemente el gasto de carbón; por ejemplo, el barco *Uruguay*, de 3250 toneladas, quemaba 32 toneladas de carbón al día, y el *Córdoba*, de dimensiones parecidas, gracias al empleo de la máquina de triple expansión, redujo su gasto de carbón a 25 toneladas diarias.

Al mismo tiempo, las compañías navieras empezaron a construir los primeros vapores de carga, para poder transportar grandes cantidades de carbón, aumentando considerablemente su valor por la utilización de este importante medio de transporte. Los ingleses construyeron el vapor de hélice *John Bowes* con casco de hierro, ideado especialmente para el transporte de carbón, con una capacidad de bodega de 650 toneladas y una velocidad de marcha de 8 nudos. Este barco, aunque sufrió algunas modificaciones, estuvo en uso 72 años, y su solidez de construcción hizo que muchos armadores copiaran su diseño.

Los avances en las máquinas propulsoras de vapor también permitieron que se alcanzaran mayores velocidades de desplazamiento. Los trasatlánticos alemanes de la serie *Kaiser Wilhelm II*, construidos a principio del siglo y que contaban con dos máquinas de vapor, cada una de las cuales movía una hélice, desarrollaban una velocidad de 23 nudos.

2.3 El Léchalas

El *Léchalas* fue construido por Blass Sitio Chantenay en 1912, en Nantes (Francia). Un año más tarde, este buque de vapor es utilizado por los ingenieros de caminos responsables de los trabajos realizados en el río francés *Estuaire de la Loire* y sus afluentes (*l'Erdre* y *la Sèvre Nantaise*). Este barco se utilizó como oficina móvil por los ingenieros civiles.

El nombre de *Léchalas* fue atribuido por el ingeniero jefe de caminos, especialista en obras hidráulicas, Mederic Léchalas Clemente.

En 1950, la máquina de vapor se archiva y se conserva actualmente en la *Maison des Hommes et des Techniques*, Nantes. La máquina de vapor es sustituida por un motor diésel.

Una asociación llamada *SOS Lechalas*, que más tarde se convirtió en FNBOs, (*Association naviare fluvial à bénéficiier de Nantes*) se crea para trabajar por la restauración del navío.

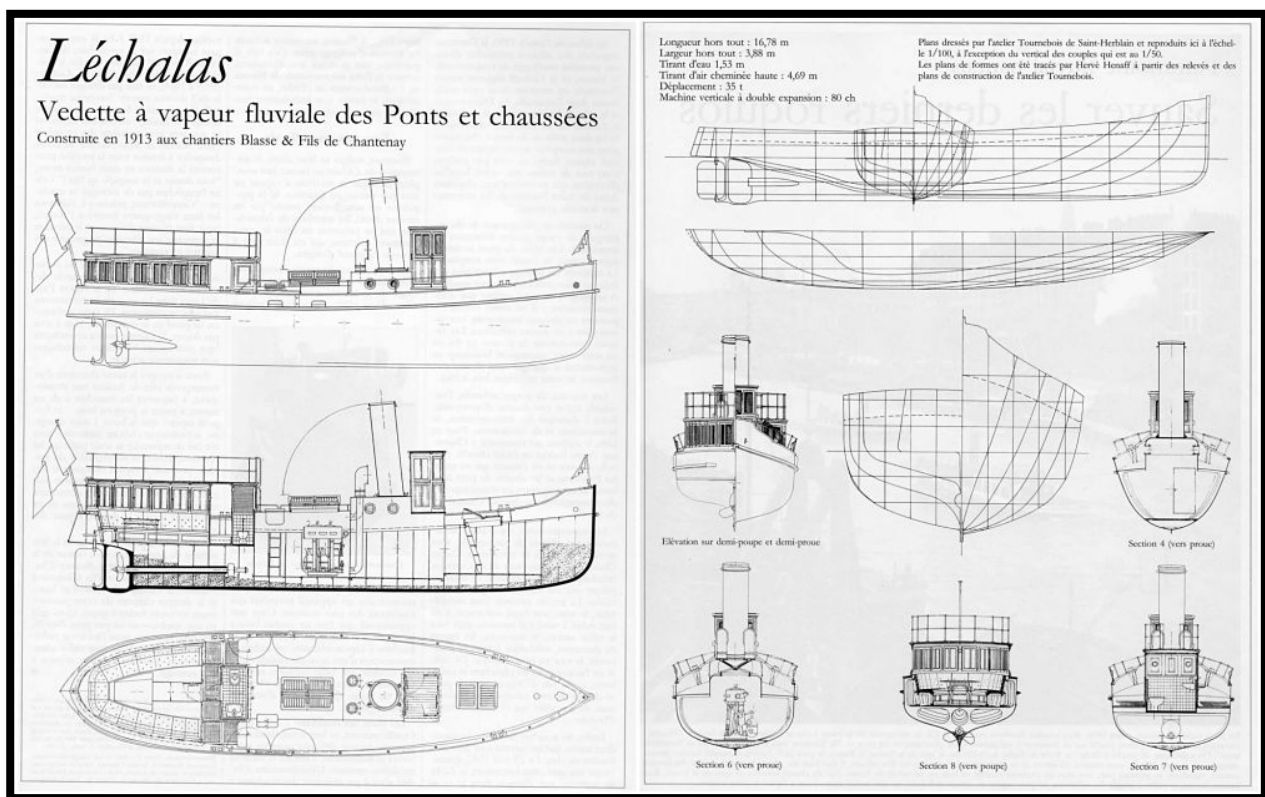


Figura 2-4. Planos del Léchalas procedentes de una revista francesa

3 PROCESO DE MODELADO EN CATIA

En este capítulo vamos a describir por partes el proceso de modelado del motor a vapor bicilíndrico, quedando dividido en subconjuntos que luego se irán ensamblando en un conjunto total. De esta forma, se podrá ir explicando cada subconjunto de manera más organizada y con una mejor comprensión.

Los planos, los cuales han sido obtenidos de una página web francesa, están organizados de tal manera para realizar la construcción de una maqueta del propio motor hecha a escala 1:10. Además, todos los planos serán mostrados en el último apartado.

Rep	Qty	Désignation	Matière	Observations	N°Plan
1	1	Bati Peint	Laiton	Peinture	MV-003
2	2	Glissiere Peinte	Laiton	Peinture	MV-006
3	2	Culasse Inferieure	Laiton		MV-004
4	2	Palier Exterieur	Bronze	Autolubrifiant	MV-009
5	1	Vilbrequin	Inox		MV-009
6	2	Bielle	Laiton		MV-008
7	2	Coulisseau	Bronze		MV-008
8	2	Piston	Bronze		MV-008
9	2	Tige Piston	Inox		MV-008
10	26	Vis HM2-06	Laiton		
11	1	Cylindre	Laiton		MV-002
12	1	Cylindre Sym	Laiton		MV-002
13	2	Boite Vapeur	Laiton		MV-004
14	2	Couvercle	Laiton	Gravure chimique	MV-004
15	1	Volant	Laiton		MV-009
16	2	Excentrique	Inox		MV-009
17	4	Bielle Distribution	Laiton		MV-007
18	2	Coulisse	Inox		MV-007
19	2	Culasse Superieure	Laiton		MV-004
20	2	Tige Distribution	Inox		MV-007
21	1	Commande Distribution	Inox		MV-007
22	2	Biellette Commande	Laiton		MV-007
23	4	Biellette Coulisse	Inox		MV-007
24	8	Vis HM2-16	Laiton		
25	16	Vis HM2-08	Laiton		
26	2	Tiroir Bague	Laiton		MV-007
27	2	Tiroir	Bronze		MV-007
28	1	Palier Interieur Sup	Bronze	Autolubrifiant	MV-009
29	6	Bride Moteur	Laiton		MV-005
30	2	Bride Tube 4x3	Laiton		MV-005
31	1	Tube Admission	Cuivre	Tube 4x3	MV-005
32	1	Collecteur Admission	Laiton		MV-005
33	3	Raccord D6	Laiton		MV-005
34	1	Tube Echappement	Cuivre	Tube 4x3	MV-005
35	1	Collecteur Echappement	Laiton		MV-005
36	12	Ecrou HM2	Laiton		
37	2	Pied de Bielle	Laiton		MV-008
38	1	Palier Interieur Inf	Bronze		MV-009
39	4	Axe Bielle	Inox		MV-007
40	10	Ecrou HM1_6	Laiton		
41	2	Presse Etoupe D3	Laiton		MV-004
42	2	Presse Etoupe D2	Laiton		MV-004
43	4	Tige M2-12	Inox	Pied de bielle	
44	2	Axe Tete de Bielle	Inox		MV-008
45	6	Axe Coulisse	Inox		MV-007
46	2	Calorifuge	Laiton + Bois		

Figura 3-1. Numeración de todas las piezas del conjunto

Los subconjuntos que se irán mostrando a continuación están formados por otros conjuntos y éstos por piezas. El primero de ellos, es el llamado *TwinCylinder*, seguido de *Engine head*, *Engine head sym*, *Crankshaft*,

Distribution, AdmissionTube, ExhaustTube.

2.1 TwinCylinder

En este subconjunto se presenta la base del motor junto con los cilindros “gemelos”, llamados *GLISSIARE*, además de los cojinetes (piezas número 4, 28 y 38) anclados en la base del motor (corresponde a la pieza número 1). Asimismo, todas estas piezas están ancladas con tornillos de métrica M2. (piezas número 10). Según corresponde a la Figura 3-1, cada pieza recoge un material distinto para su fabricación. Y, además se puede observar que casi todas las piezas del conjunto serán de latón (*laiton* en francés).

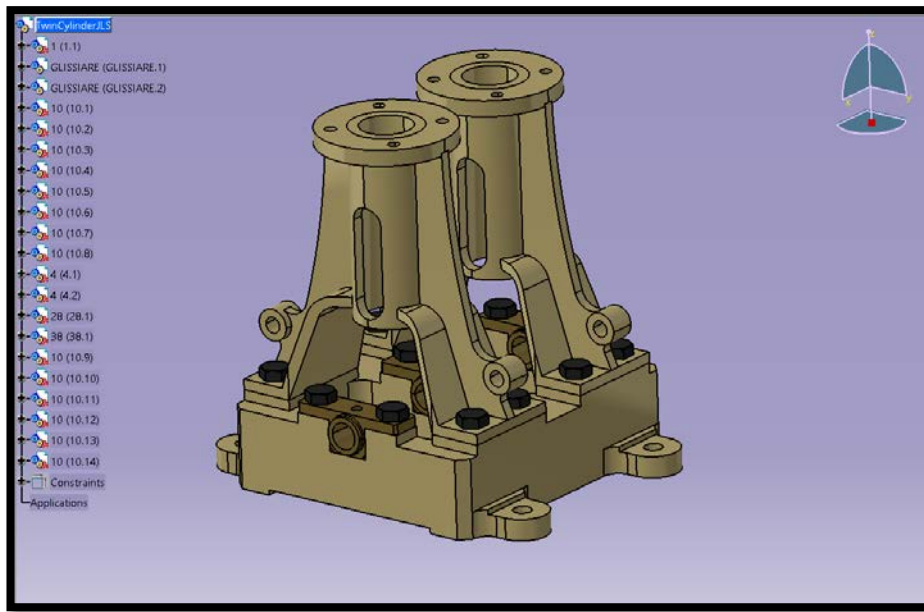


Figura 3-2. Subconjunto TwinCylinder

Las piezas de la base, los cilindros y todos los tornillos de métrica M2, vendrán modelados en latón, mientras que los cojinetes irán modelados en bronce, tal y como viene recogido en los planos. No obstante, a los tornillos se les ha cambiado el color del material para que hagan un mejor contraste en la imagen y resulte más bonito a la vista del lector. Además de haberse modificado ligeramente el color por defecto que venía asociado a cada material para favorecer las ilustraciones que se mostrarán en este capítulo.

En primer lugar, se mostrará la pieza número 1 (llamada *Bati Peint*) de este subconjunto. Corresponde a la base del motor y está compuesta de un bloque de metal (de 52x58 mm) con 14 agujeros roscados.

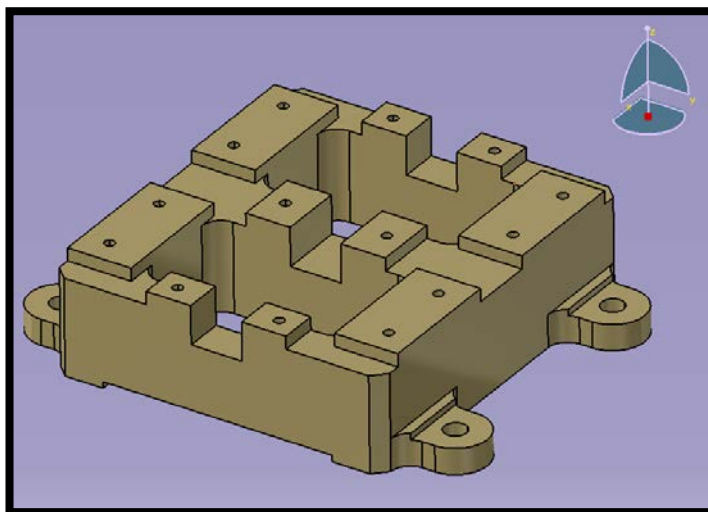


Figura 3-3. Pieza número 1, llamada *Bati Peint*

Para la extrusión de las diferentes superficies que conforman la pieza, se ha utilizado la función *Pad*. Además de *Pocket*, para la eliminación de material. Junto con *Hole*, para la realización de los agujeros roscados y pasantes. *Chamfer* y *Edge fillet* para chaflanes y redondeos en ciertas aristas. También *Mirror*, al ser la pieza simétrica en el plano XZ.

A continuación se mostrarán las secuencias de operaciones más importantes para la realización de la pieza.

1. *Pad*:

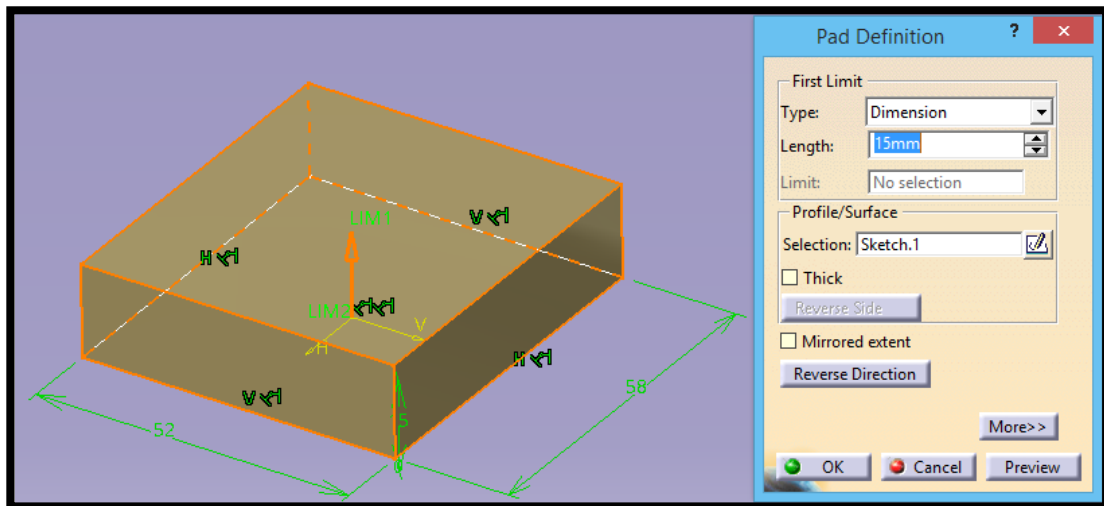


Figura 3-4. Bati Peint. Operación Pad

2. *Pocket*:

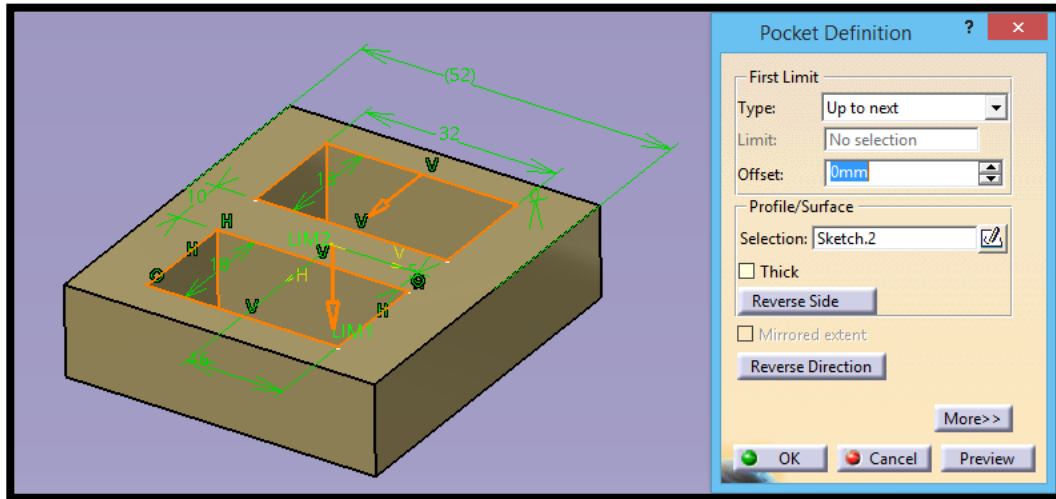


Figura 3-5. Bati Peint. Operación Pocket

3. *Hole*:

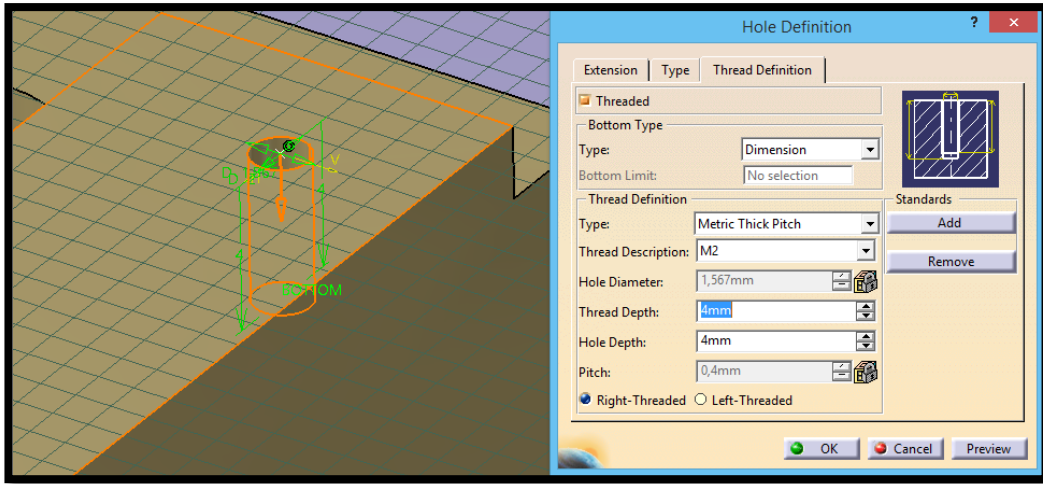


Figura 3-6. Bati Peint. Operación Pocket

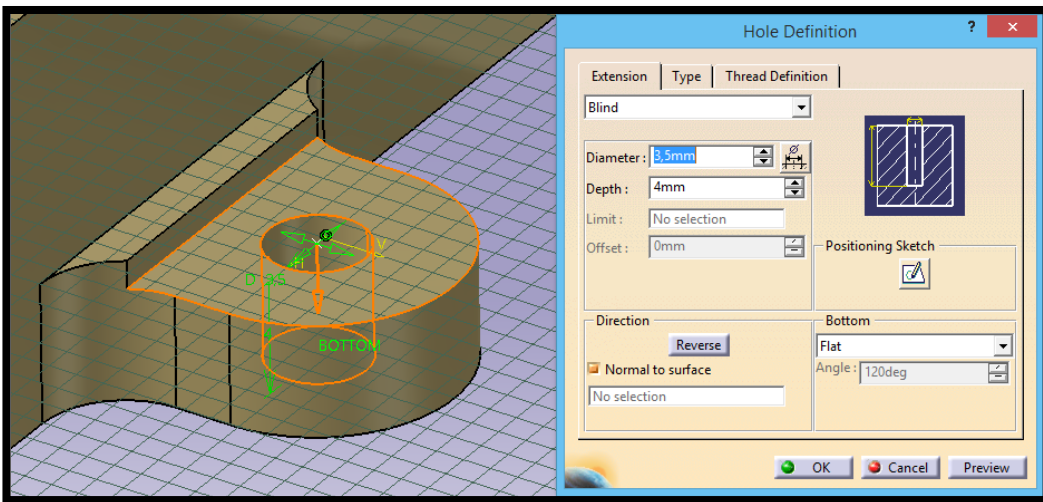


Figura 3-7. Bati Peint. Operación Hole

Por el cual, se puede observar que en la figura 3-6 se trata de un agujero roscado con métrica M2 y profundidad de 4 mm, y en la figura 3-7 se observa un agujero pasante de diámetro 3.5 mm.

4. *Mirror:*

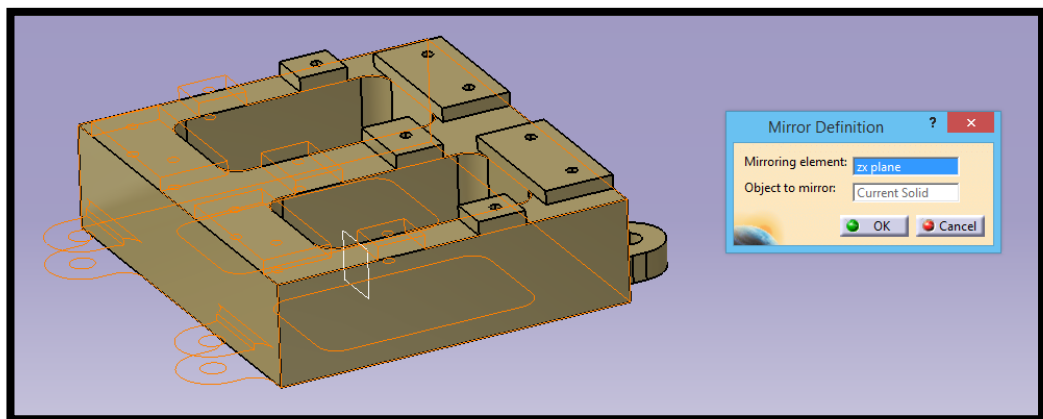


Figura 3-8. Bati Peint. Operación Mirror

En esta operación podemos observar que, efectivamente, la pieza es simétrica por el plano XZ y que por tanto podemos aplicar la función *mirror* para replicar la misma operación al otro lado del plano.

La siguiente pieza de este conjunto son los llamados cojinetes (piezas 4, 28 y 38), los cuales estarán sujetos mediante los tornillos de métrica M2 (piezas 10). Se mostrará el proceso de un solo cojinete, ya que su modelado es similar a los demás. Adicionalmente, al ser una pieza sencilla, sólo se mostrarán operaciones que pueden considerarse interesantes.

1. *Chamfer*:

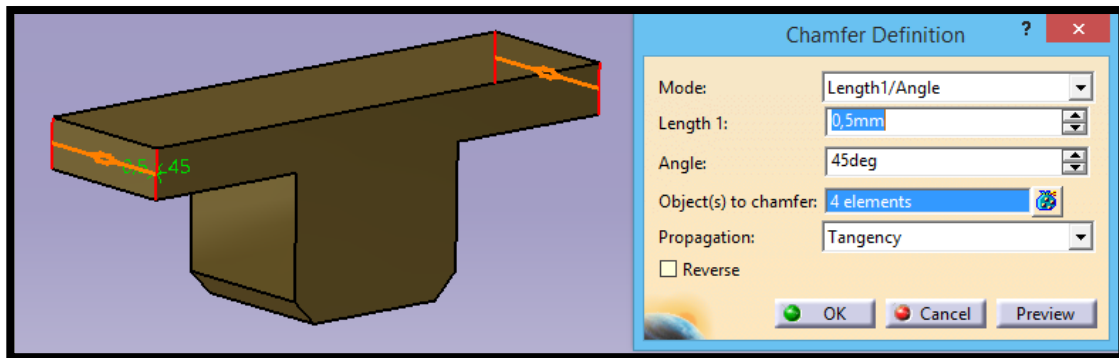


Figura 3-9. Palier Exterieur. Operación Chamfer

2. *Edge fillet*:

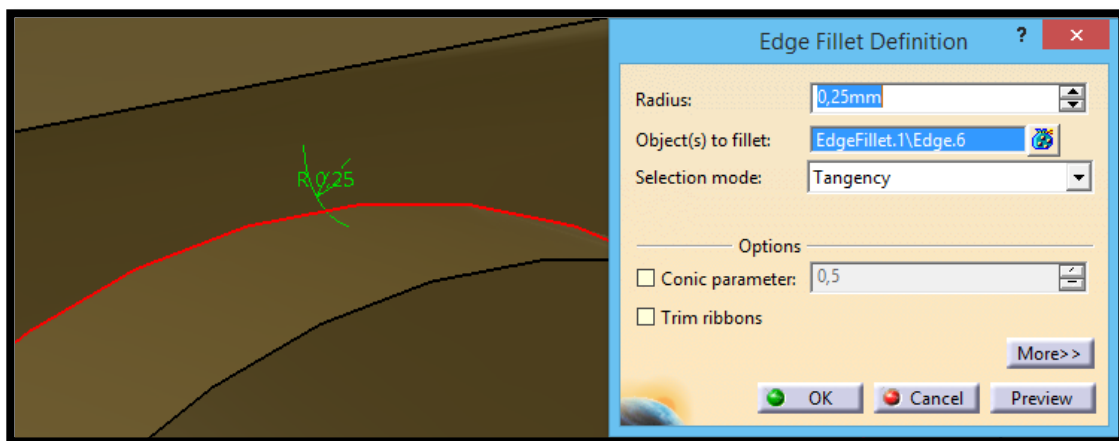


Figura 3-10. Palier Exterieur. Operación Edge Fillet

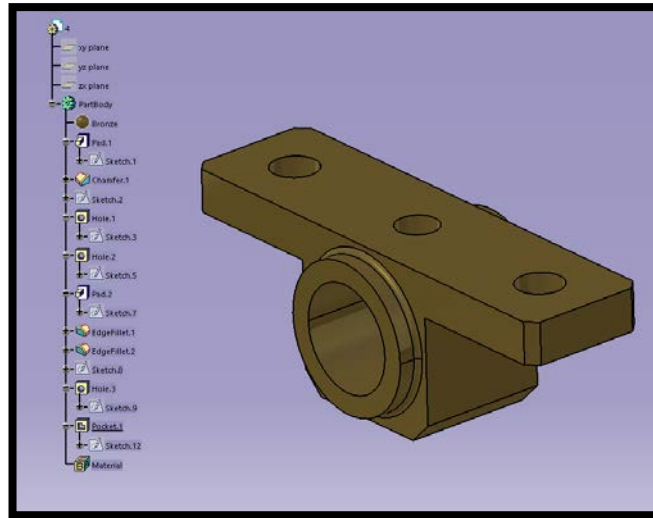


Figura 3-11. Palier Exterieur + árbol de operaciones

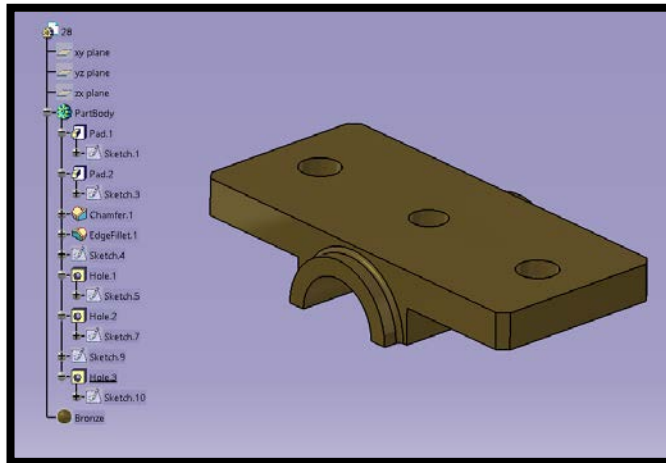


Figura 3-12. Palier intérieur Supérieur + árbol de operaciones

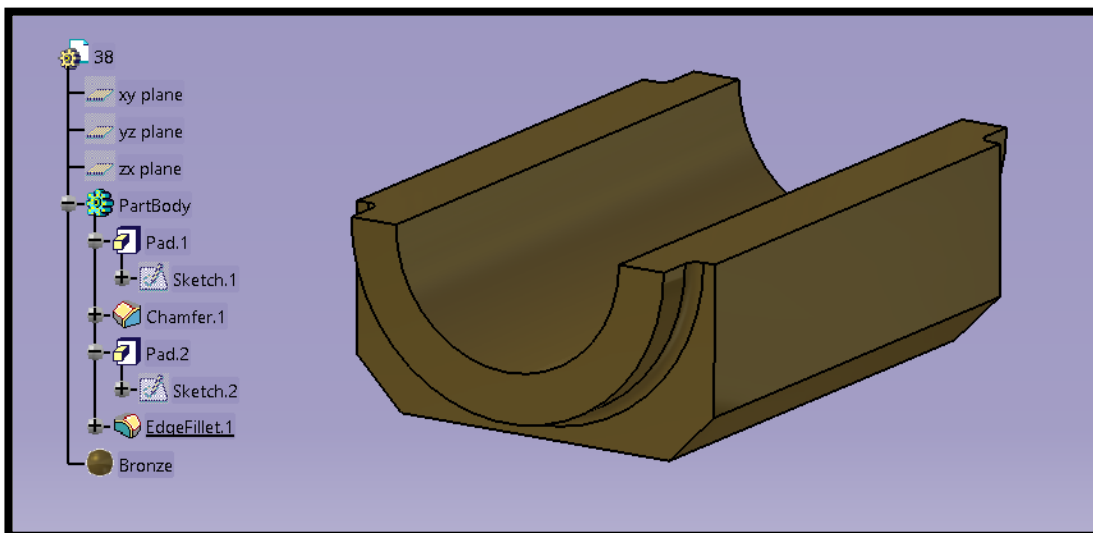


Figura 3-13. Palier intérieur inférieur + árbol de operaciones

Una parte fundamental del motor a vapor, son sus cilindros *gemelos*, los cuales son los encargados de guiar a los pistones para transmitir la potencia al cigüeñal. Éstos, a su vez, están modelados por un subconjunto de tres piezas llamadas: Usinee, Corps y Flasque (nombres en francés). Irán siendo mostradas respectivamente.

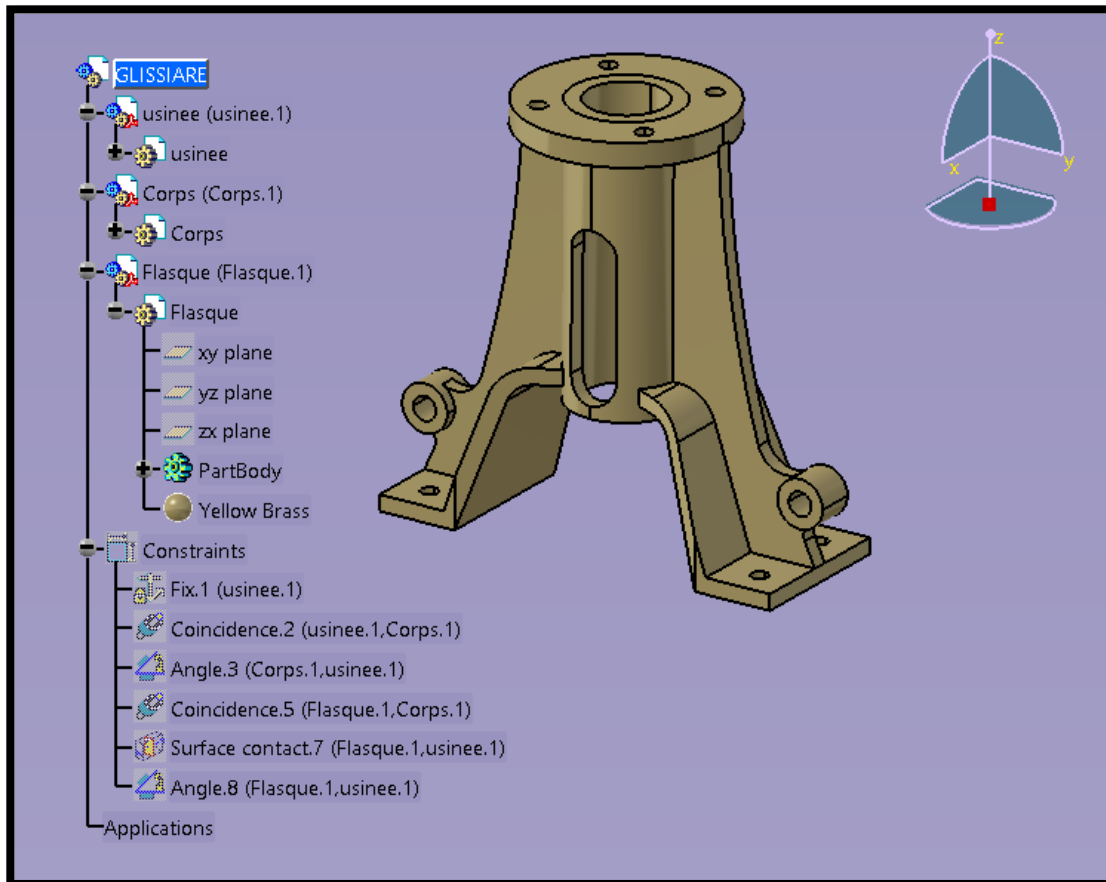


Figura 3-14. Glissiare + árbol de operaciones

En primer lugar, para el modelado de Usinee, éstas fueron las funciones utilizadas más importantes:

1. *Sketch*:

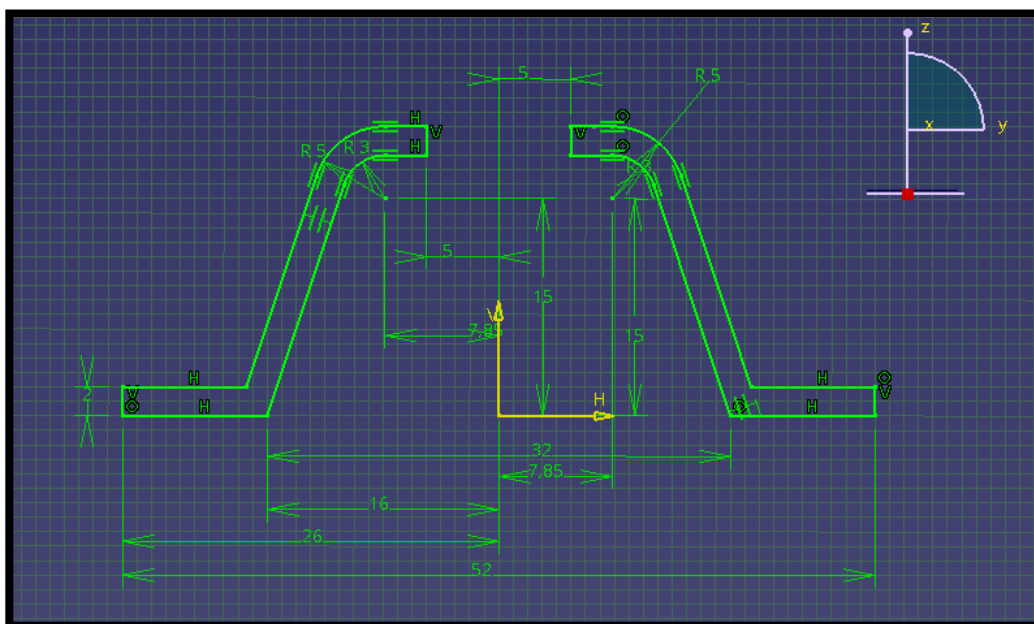


Figura 3-15. Usinee. Operación de sketch

Para una mejor visualización de las cotas en los diferentes *sketches* se ha considerado el color de fondo habitual de CATIA, ya que contrasta mejor al ser más oscuro.

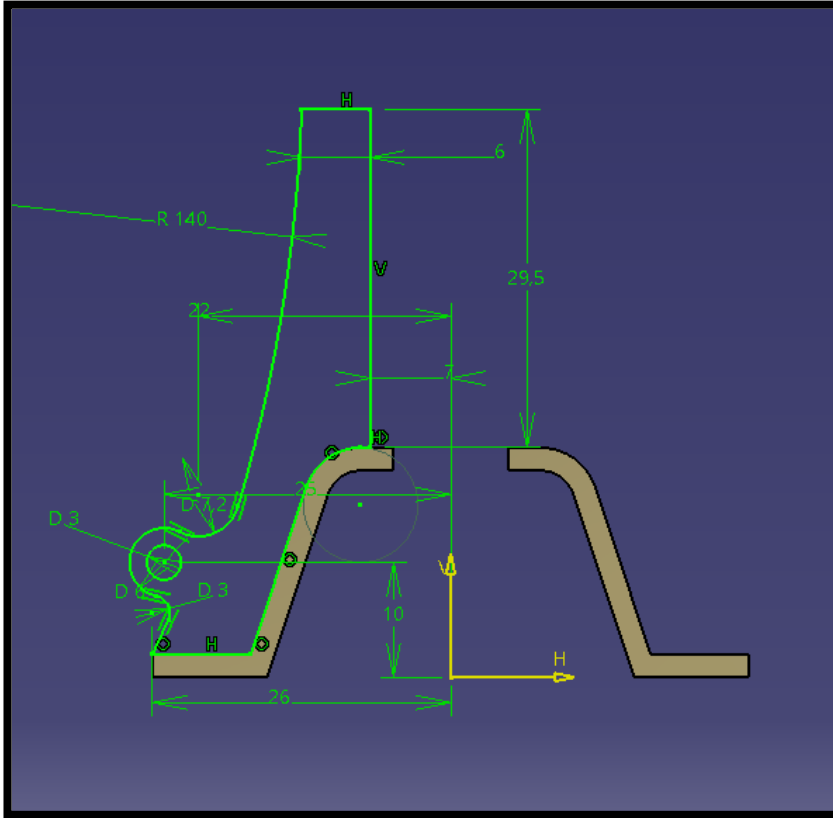


Figura 3-16. Usinee. Operación de sketch

Para *Corps* y *Flasque*, al ser piezas sencillas, solamente se mostrarán sus modelados con su respectivo árbol de operaciones en cada uno de ellos. Cabe destacar además que, las uniones en este subconjunto (*GLISSIARE*) se realizarían mediante soldadura, ya que no cabe la posibilidad de una unión atornillada.

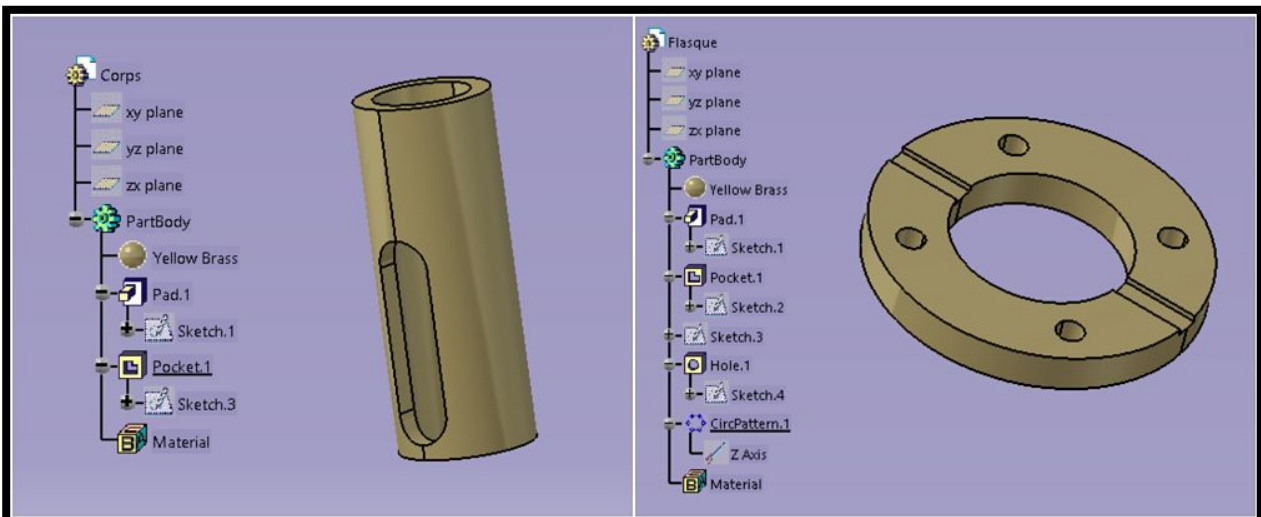


Figura 3-17. Flasque y Corps con sus árboles de operaciones

Tanto los cojinetes como los cilindros vendrán sujetos a la base mediante unos tornillos de métrica M2, correspondientes a la pieza número 10 de la figura 3-1 de este capítulo. Los tornillos corresponden a una métrica Vis HM2 – 06, los cuales no se encontraban en la librería estándar de CATIA, por lo que se ha optado por modelar unos tornillos estándares de métrica M2.

Resulta interesante mostrar algunas funciones importantes.

1. *Groove*:

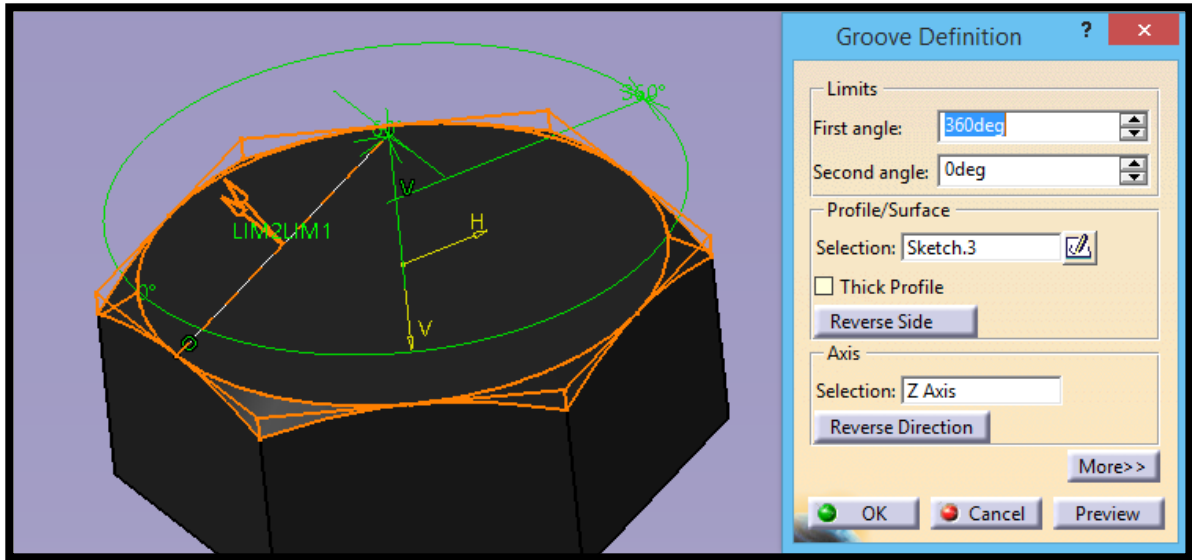


Figura 3-18. Vis HM2 – 06. Operación Groove

Como se puede observar en la ilustración, *Groove* es una herramienta que resta material al sólido mediante la revolución de un perfil alrededor de un eje. En este caso, el perfil es una línea recta formando 60° con el eje en un extremo y sujeta al cabezal del tornillo por el otro extremo.

2. Thread

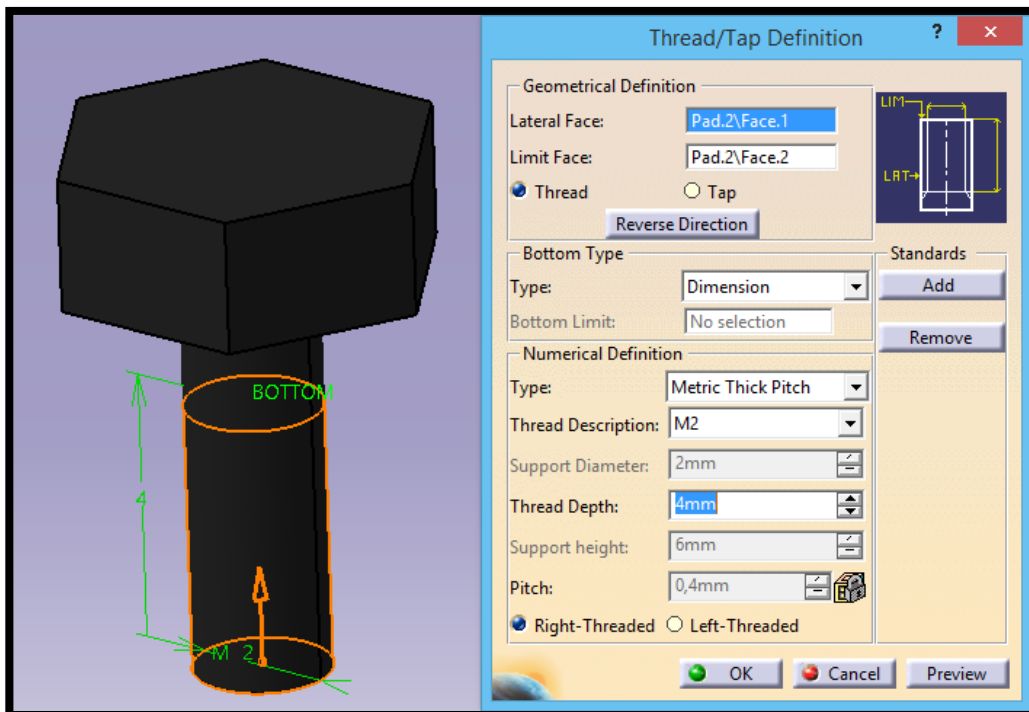


Figura 3-19. Vis HM2 – 06. Operación Thread

2.2 Engine Head y Engine Head Sym

En este subconjunto se muestra la culata correspondiente a cada cilindro y que por ende, estará situado justo arriba de cada uno de ellos. En el interior de la culata es donde se produciría los procesos termodinámicos para el movimiento de los pistones en cada cilindro.

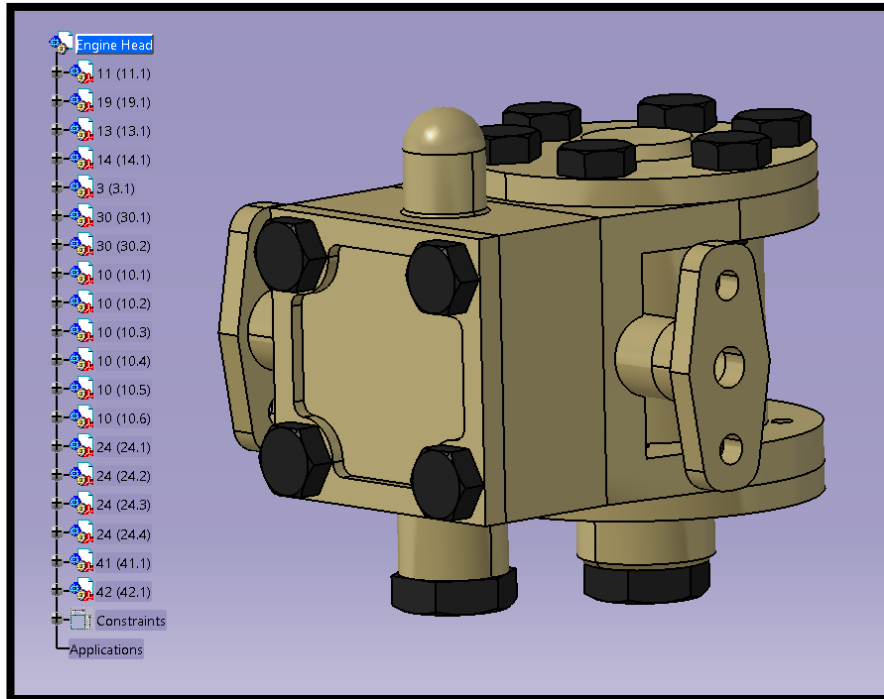


Figura 3-20. Subconjunto Engine Head

A continuación, se irán detallando cada una de las piezas de este subconjunto. En primer lugar, la pieza número 11, correspondiente al cilindro (*Cylindre*). Se trata de una pieza compleja, con múltiples delicadezas y por la cual se irá explicando detalladamente.

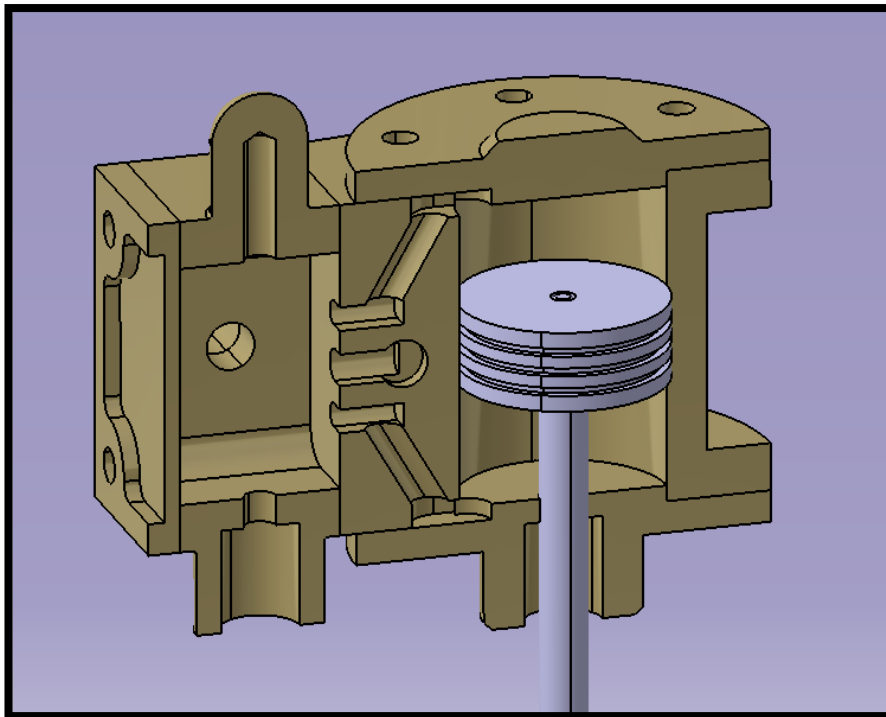


Figura 3-21. Subconjunto Engine Head + Pistón

Para un mejor entendimiento, se ha realizado un corte del subconjunto para que se pueda ver donde quedaría situado el pistón dentro del cilindro (pieza 11). Como se puede observar en la figura 3-21, el cilindro está compuesto de dos conductos arriba y abajo por el cual pasan los gases de vapor.

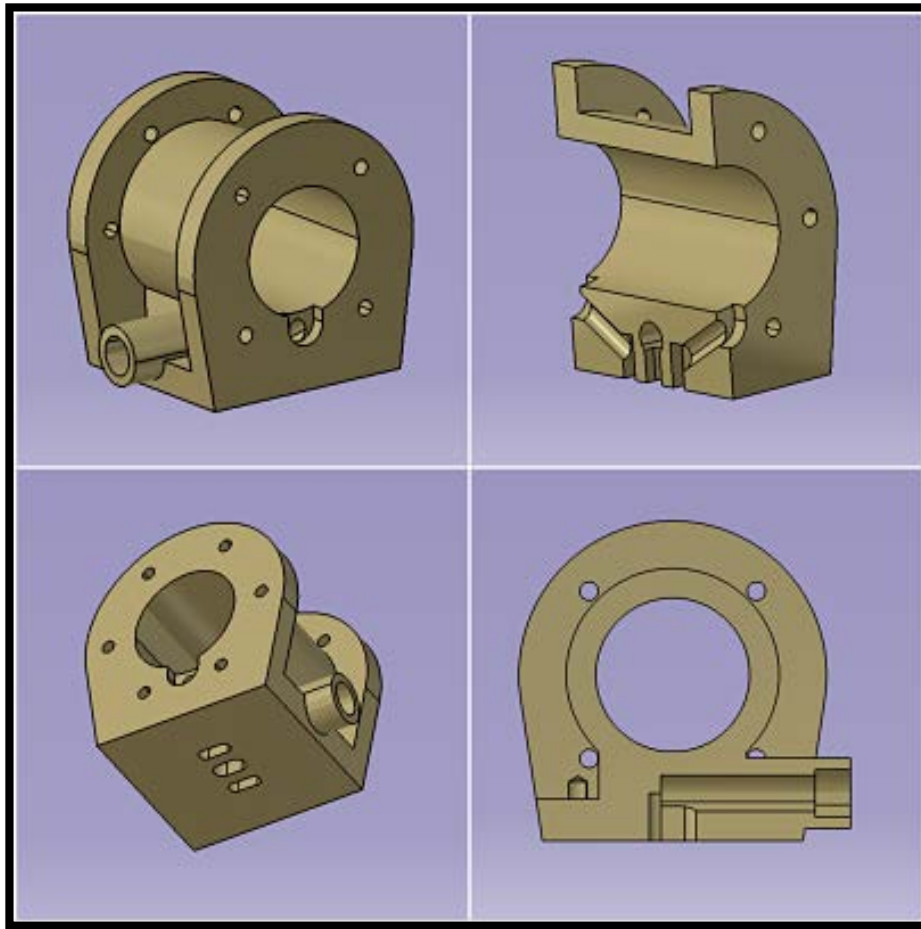


Figura 3-22. Vistas de la pieza Cylindre. Pieza número 11

Las funciones más importantes utilizadas en esta pieza han sido las siguientes:

1. *Circular pattern:*

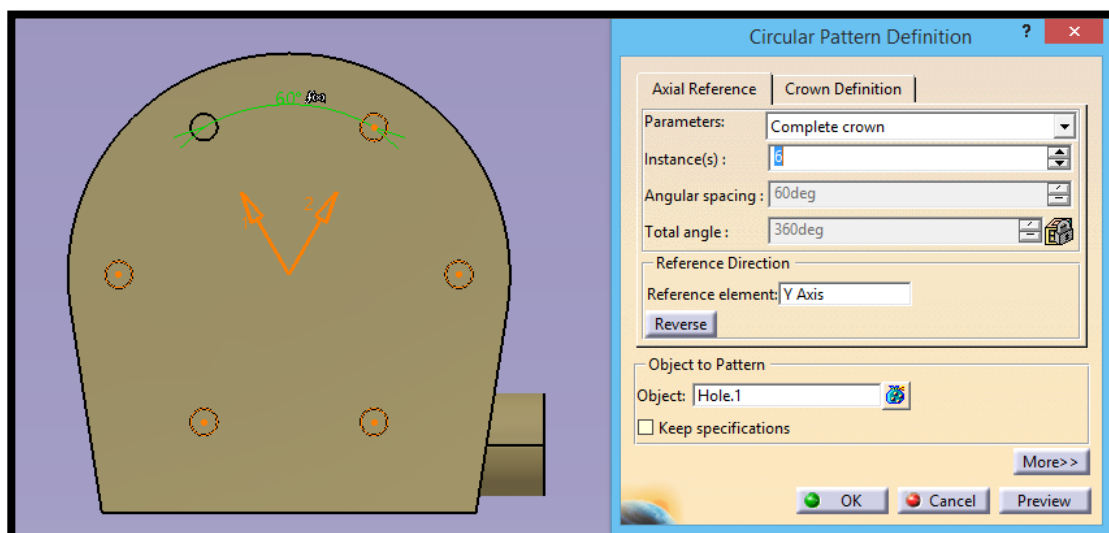


Figura 3-23. Cylindre. Operación circular pattern

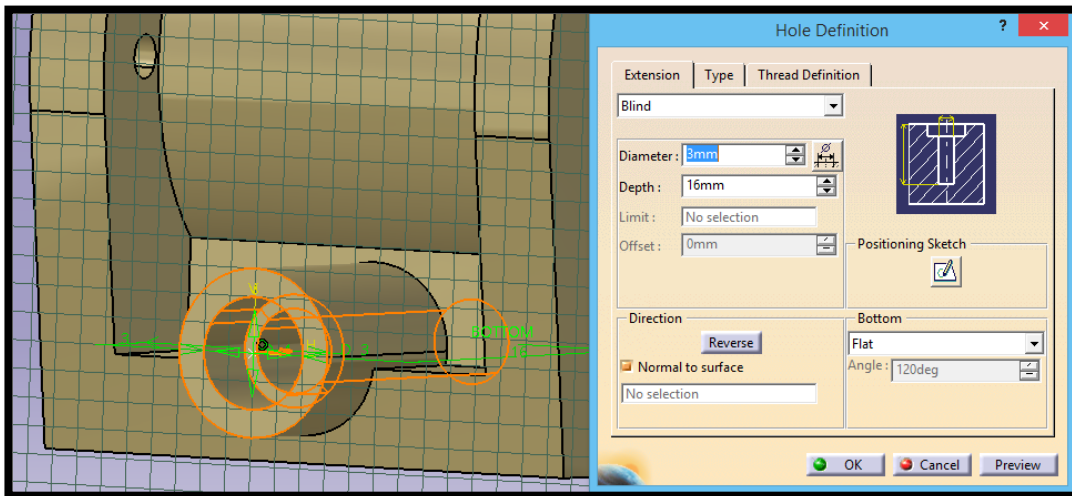
2. *Hole with counterbored:*

Figura 3-24. Cylindre. Operación Hole con counterbored

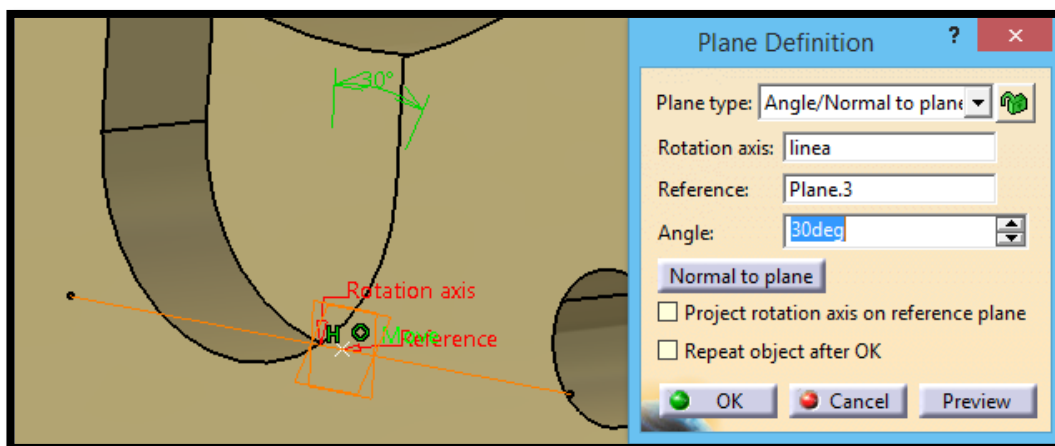
3. *Plane:*

Figura 3-25, Cylindre. Operación plane

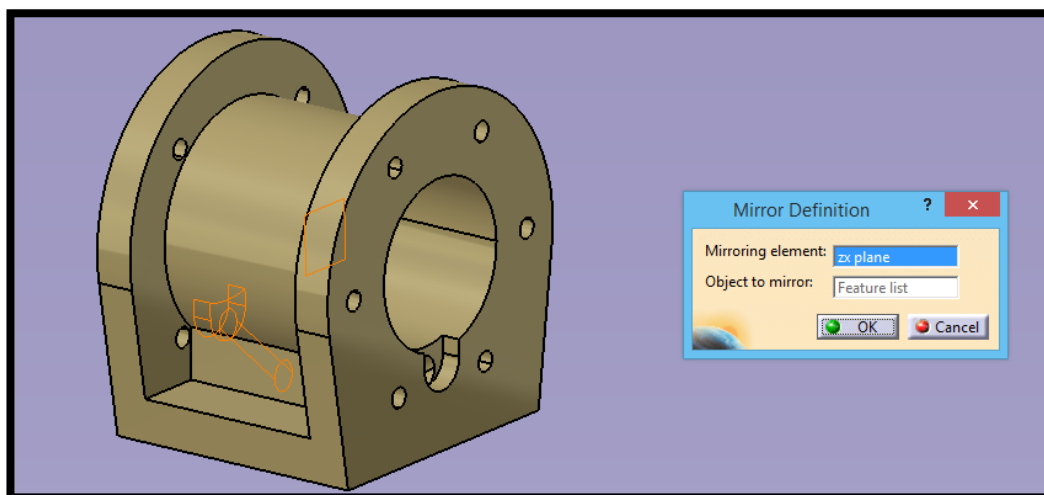
4. *Mirror:*

Figura 3-26. Cylindre. Operación mirror

5. *Hole with v-bottom:*

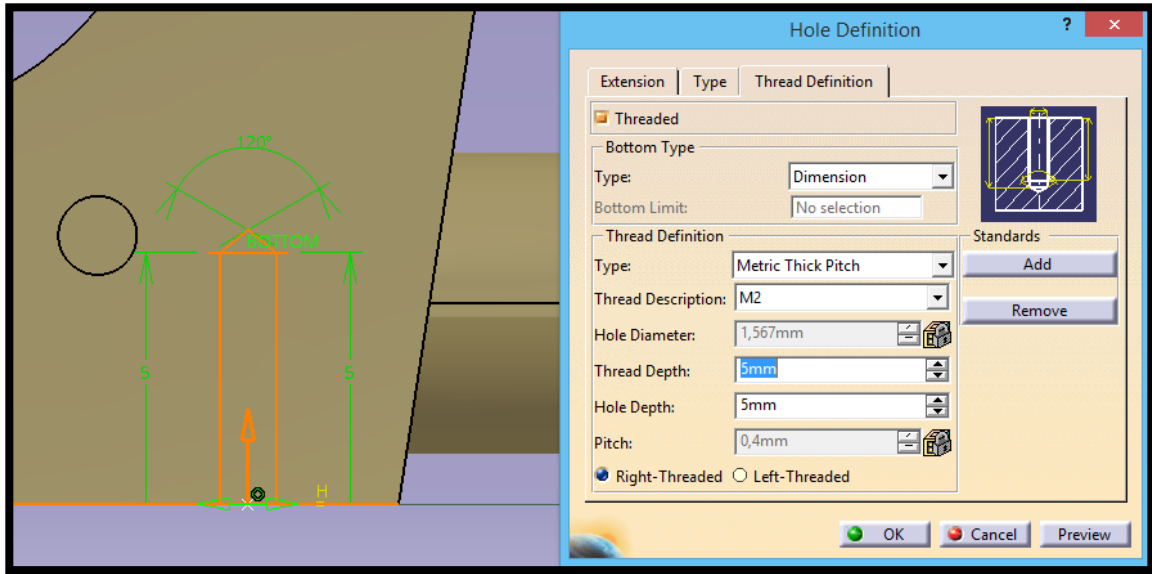


Figura 3-27. Cylindre. Operación Hole con v-bottom

Cabe destacar que, en los planos no se especificaba la profundidad del agujero roscado, por lo que se ha optado una profundidad similar al dibujo de los planos, de 5 mm.

El cilindro se encuentra conectado a una caja llamada en francés *boite à vapeur*, el cual corresponde a la pieza número 13. Y, como su propio nombre indica, es ahí donde se recoge el vapor procedente de la caldera y es expulsado hacia el cilindro para producir el movimiento de los pistones.

Las funciones más relevantes son las siguientes:

1. *Shaft:*

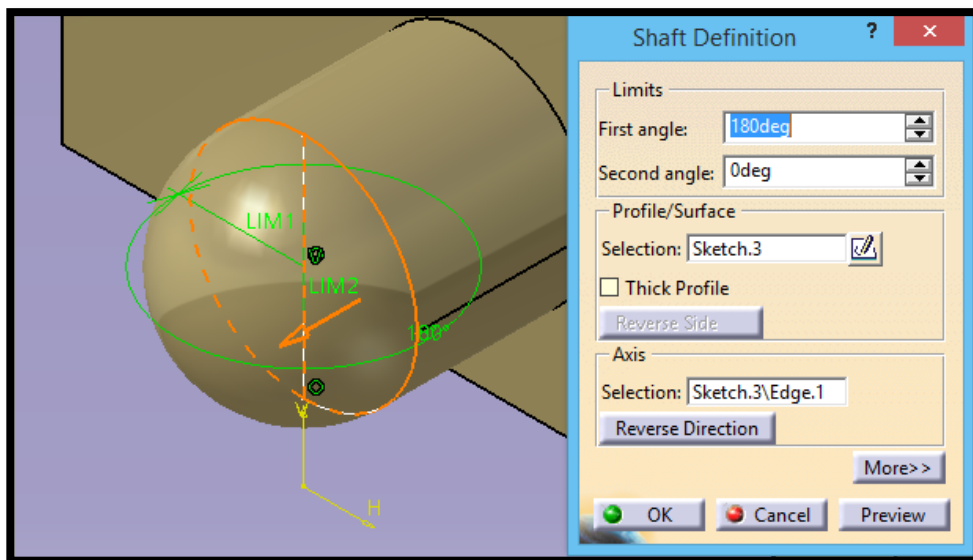


Figura 3-28.Boite Vapeur. Operación shaft

2. *Hole with counterbored:*

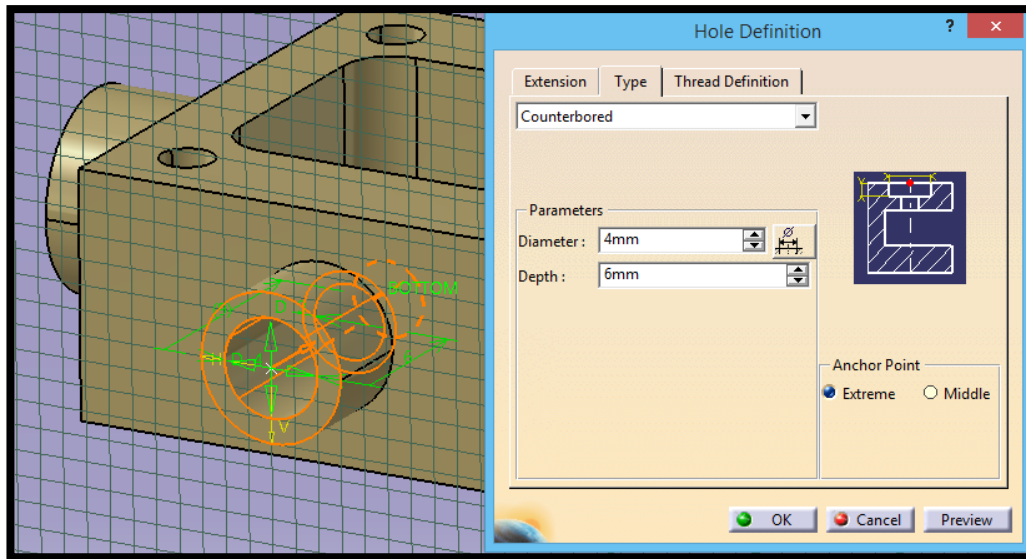


Figura 3-29. Boite Vapeur. Operación Hole con Counterbored

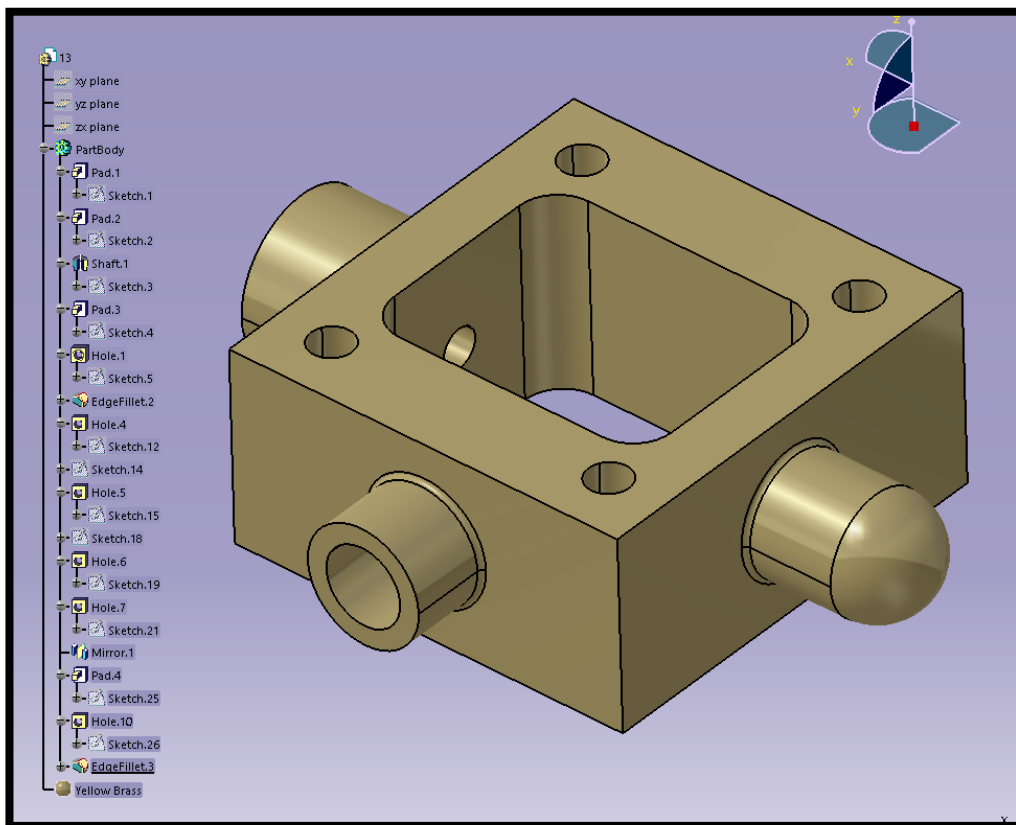


Figura 3-30. Boite Vapeur + árbol de operaciones

La siguiente pieza sujeta el cilindro y la caja de vapor con las tuberías, es la pieza número 30 de la figura 3-1. Llamada *Bride pour tube* en francés, cuyo significado es brida para tubo.

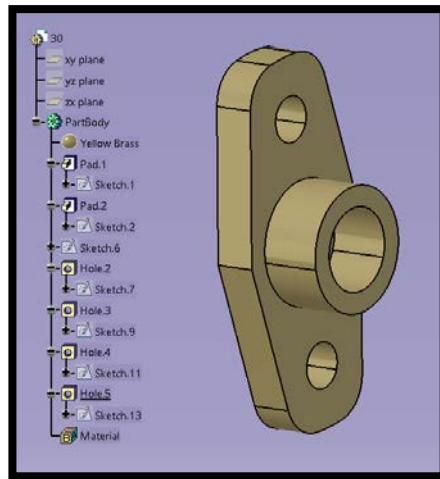


Figura 3-31. Bride Tube 4x3 + árbol de operaciones

El elemento que sirve de tapa a la caja de vapor, es la pieza número 14. Llamada en francés, *Couvercle*, cuya traducción al español sería cubierta.

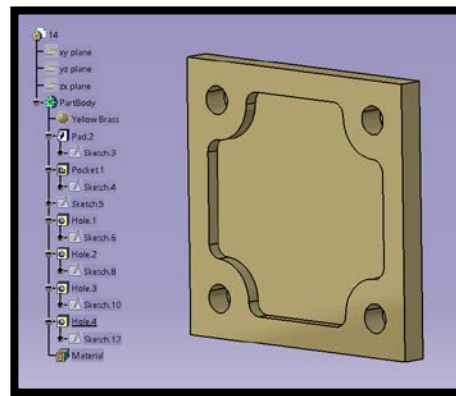


Figura 3-32. Couvercle + árbol de operaciones

Adicionalmente, nos encontramos con los tornillos Vis MH2 – 06 del apartado anterior (pieza número 10), además de otros tornillos Vis MH2 – 16 con la misma métrica pero diferente profundidad (Pieza número 24). Asimismo, otras dos piezas llamada *presse étoupe D3* y *presse étoupe D2* (piezas número 41 y 42, respectivamente) Encargadas de guiar a los pistones dentro de los cilindros.

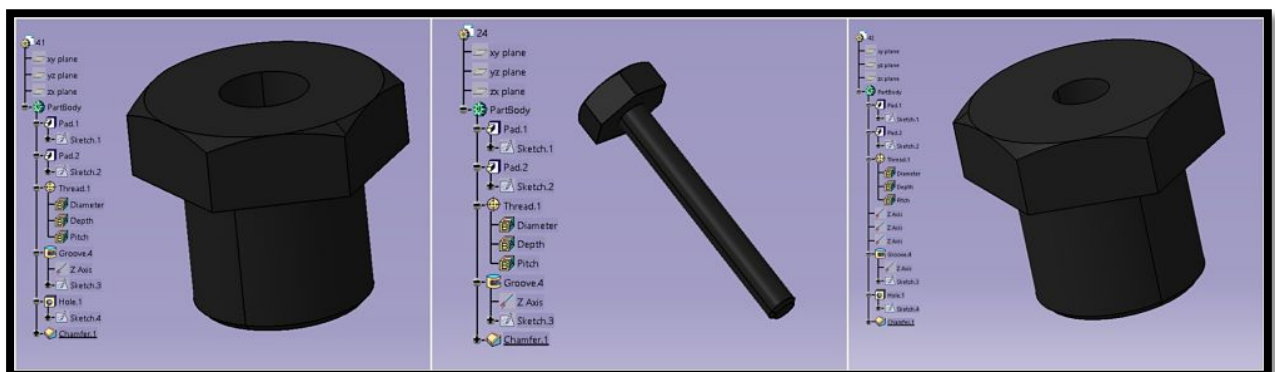


Figura 3-33. Piezas 41, 42 y 24 con los árboles de operaciones

El material de construcción de este subconjunto sería entero de latón, de ahí su color azafranado, salvo los tornillos que se ha optado por un color más oscuro para un mejor contraste como se dijo anteriormente, aunque conservan el mismo tipo de material.

El siguiente subconjunto es el llamado *Engine Head Sym*, se encuentra en la parte superior del segundo

cilindro, siendo este conjunto totalmente simétrico al anterior y que por ende, no resulta necesario tener que mostrarlo.

2.3 AdmissionTube y ExhaustTube

Estos subconjuntos representan las tuberías por donde entran y salen el vapor de agua procedente de la caldera. En primer lugar, tenemos la tubería de 72.5 mm, cuyo nombre del subconjunto es llamado *AdmissionTube* y es la encargada de llevar los gases de vapor de agua procedentes de la caldera al interior de la caja de vapor (*boite à vapeur*, pieza número 13) y el siguiente subconjunto, muy similar al anterior, es el llamado *ExhaustTube* y es el encargado de llevar los gases de vapor del interior del cilindro (pieza número 11) a la atmósfera.



Figura 3-34. Subconjuntos AdmissionTube y ExhaustTube, respectivamente

En primer lugar, el subconjunto *AdmissionTube* está formado por dos bridas (piezas 29 y 30, llamadas *Bride Moteur* y *Bride Tube 4x3*, respectivamente), además de un colector (*Collecteur admission*, pieza 32), junto con dos piezas de conexión al colector (*Raccord*, pieza número 33) y por último, la tubería de admisión, que corresponde a la pieza número 31 de la figura 3-1.

La pieza más significativa de este conjunto la forma la propia tubería. Está modelada con una simple función de CATIA llamada *Rib* y modelada en material de cobre.

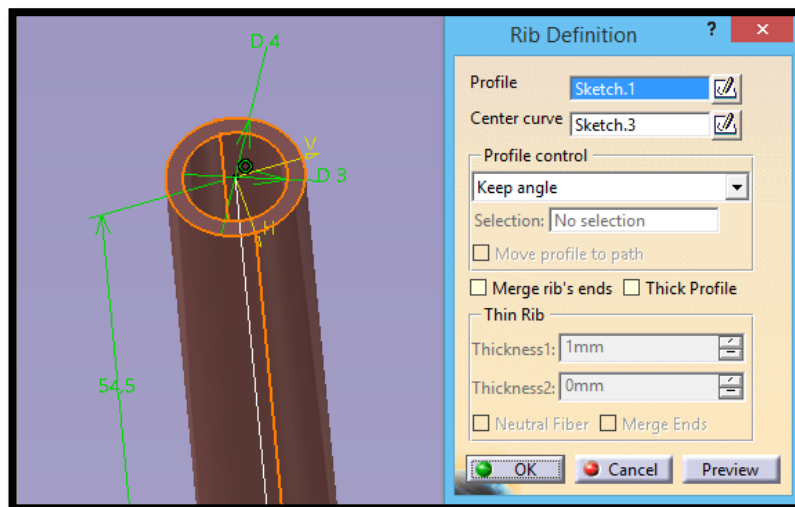


Figura 3-35. TubeAdmission. Operación Rib

Las bridas de motor y tubo (piezas 29 y 30, respectivamente) son muy similares y con procedimientos simples de modelado.

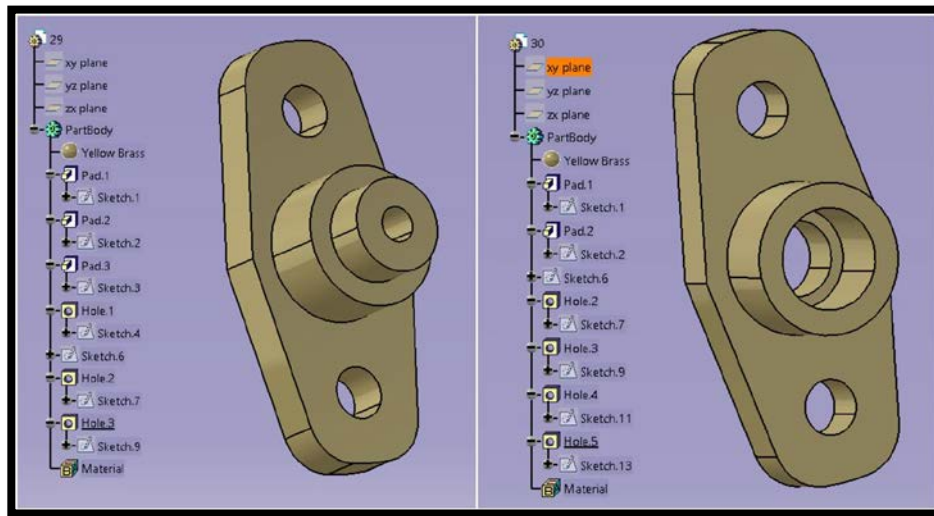


Figura 3-36. Bride Moteur y Bride Tube 3x4 + árbol de operaciones

La secuencia de movimientos más importantes para la pieza número 32 es la siguiente:

1. *Pad*:

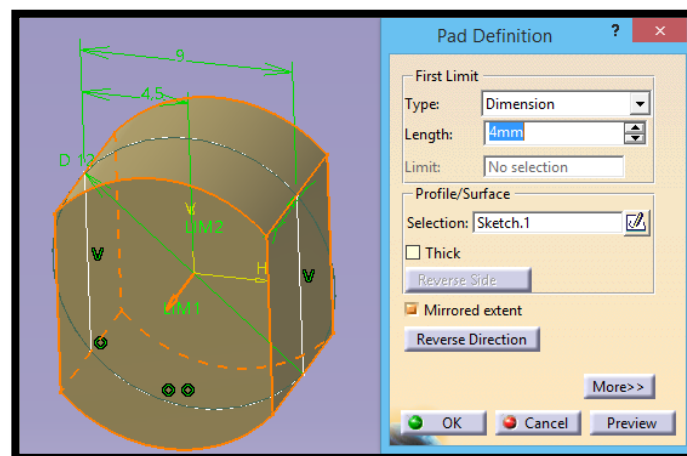


Figura 3-37. Collecteur Admission. Operación Pad

2. *Hole with v-bottom*:

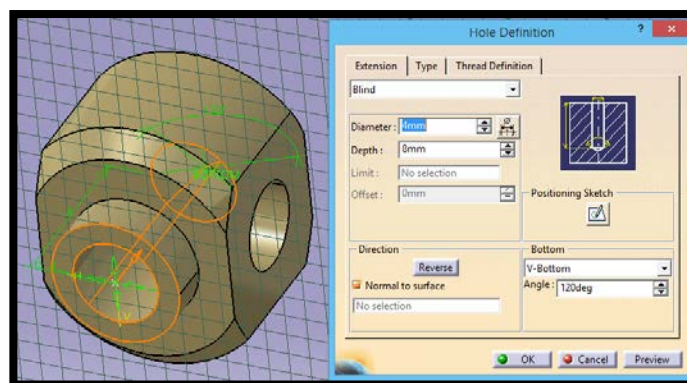


Figura 3-38. Collecteur Admission. Operación Hole

Junto con el modelado final y árbol de operaciones.

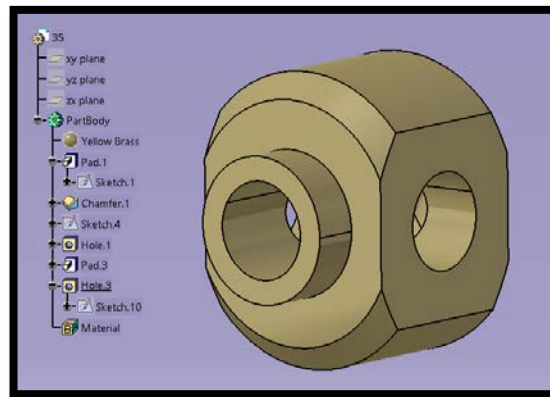


Figura 3-39. Collecteur Admission + árbol de operaciones

La pieza que sigue al colector es la llamada *Raccord D6* y se encuentra duplicada en el subconjunto *AdmissionTube*. La secuencia de movimientos más importante que sigue es la siguiente:

1. *Thread*:

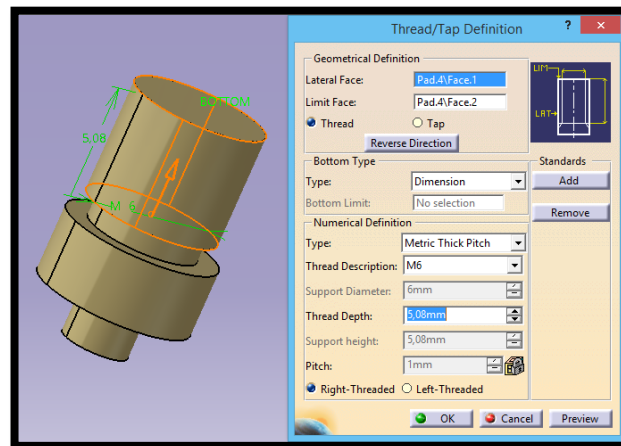


Figura 3-40. Raccord D6. Operación Thread

2. *Hole with countersunk*:

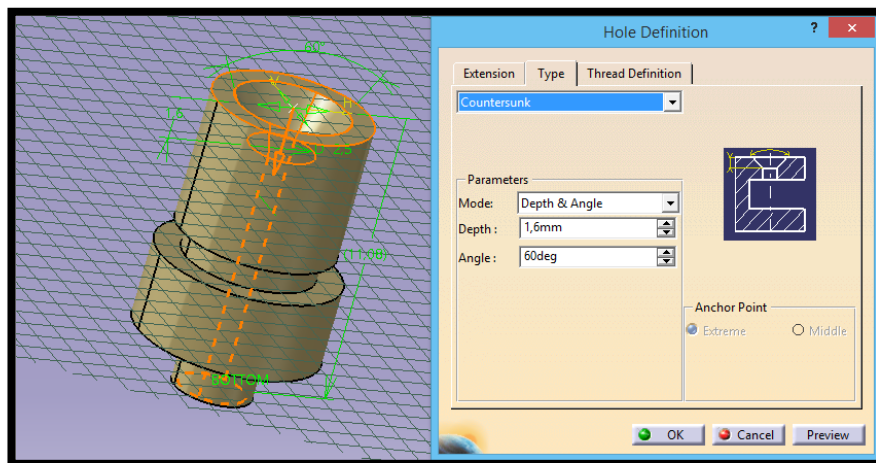


Figura 3-41. Raccord D6. Operación Hole

Por otra parte, el subconjunto *ExhaustTube* al ser muy similar al anterior en cuanto a piezas se refiere, no se considera necesario mostrarlo, además de que tiene varias piezas exactamente iguales.

2.4 CrankShaft

Este subconjunto está formado por el cigüeñal del motor (*Vilbrequin*, correspondiente a la pieza número 5), la biela, compuesta a su vez por dos piezas (*Pied de Bielle* y *Bielle*, números 37 y 6, respectivamente), un eje pasante y una corredera (*Axe tête de Bielle* y *Coulisseau*, números 44 y 7, respectivamente). También, dos piezas conforman el pistón (*Piston* y *Tige Piston*, números 8 y 9, respectivamente). Además del volante de inercia (*Volant*, pieza número 15). Todos los elementos que conforman este subconjunto se irán explicando más adelante detalladamente.

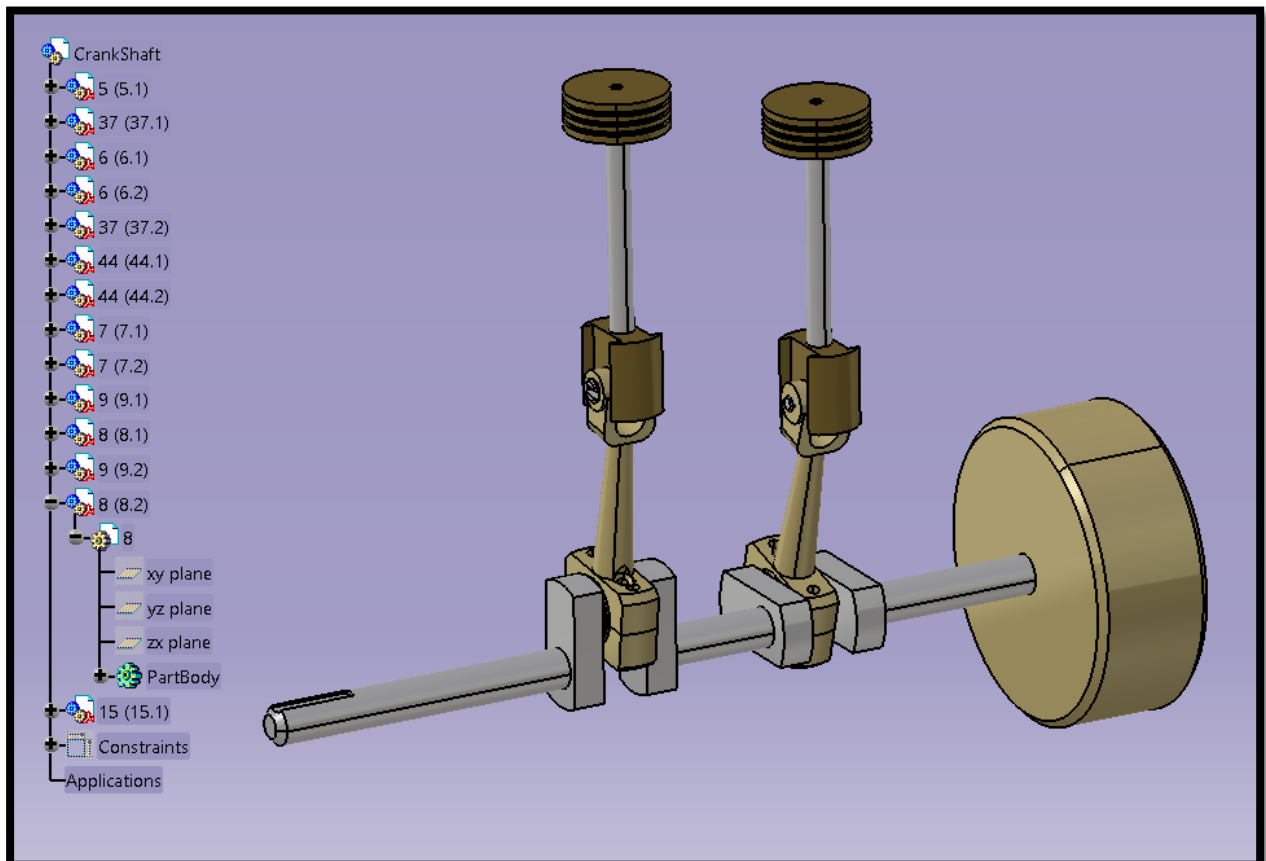


Figura 3-42. Subconjunto CrankShaft

El cigüeñal es una pieza única de acero inoxidable encargada, junto con la biela, de transformar el movimiento rectilíneo de los pistones a movimiento circular del eje, en el cual se encuentra acoplado el volante de inercia. El movimiento de los pistones y la biela durante el funcionamiento del motor produciría cargas cíclicas por largos periodos de tiempo al cigüeñal y que por ende, tendría que soportar grandes esfuerzos debido a las tensiones continuas que éste recibe, por lo que merece ser justificable la elección de un material resistente como es el acero, y además inoxidable para evitar el desgaste por corrosión de la humedad.

La pieza ha sido modelada prácticamente con extrusiones de *Pad*, por lo que se mostrará una sola operación de extrusión, además de un pocket para la realización del chavetero en el eje.

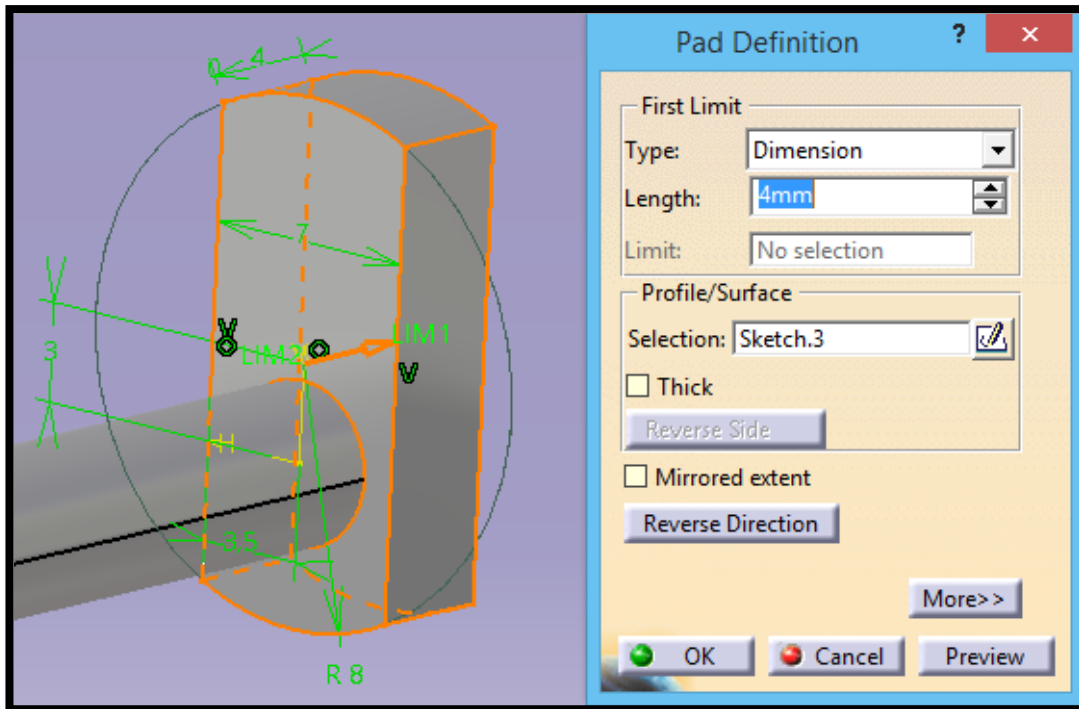


Figura 3-43. Vibrequin. Operación Pad

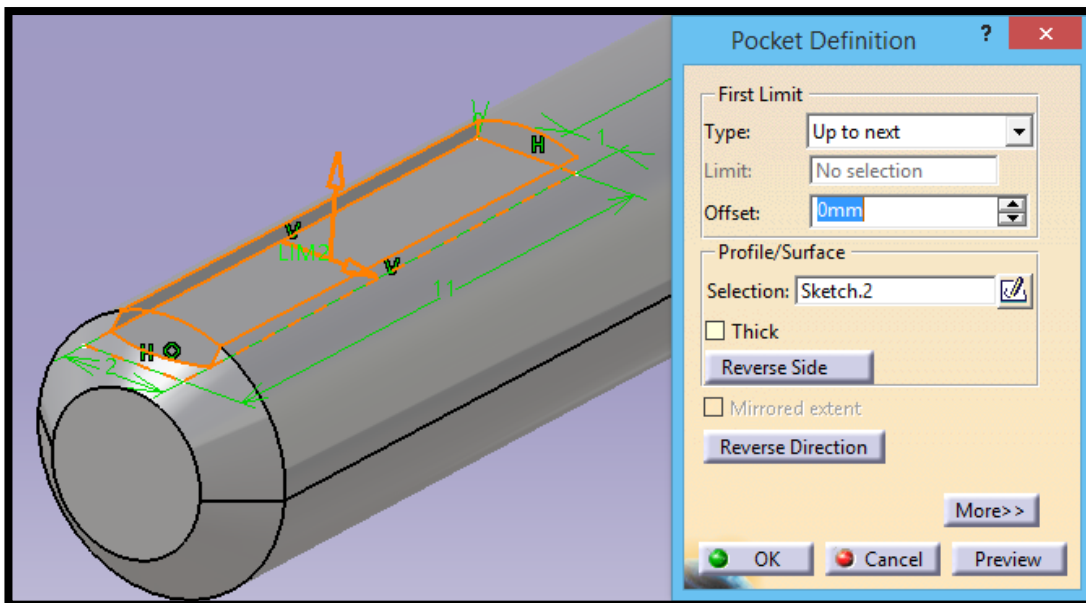


Figura 3-44. Vibrequin. Operación Pocket

La biela, compuesta de dos piezas como se dijo anteriormente (piezas 37 y 6), resultar ser una pieza compleja, modelada completamente en latón y con multitud de operaciones. Las más importantes fueron las siguientes:

1. *Shaft*:

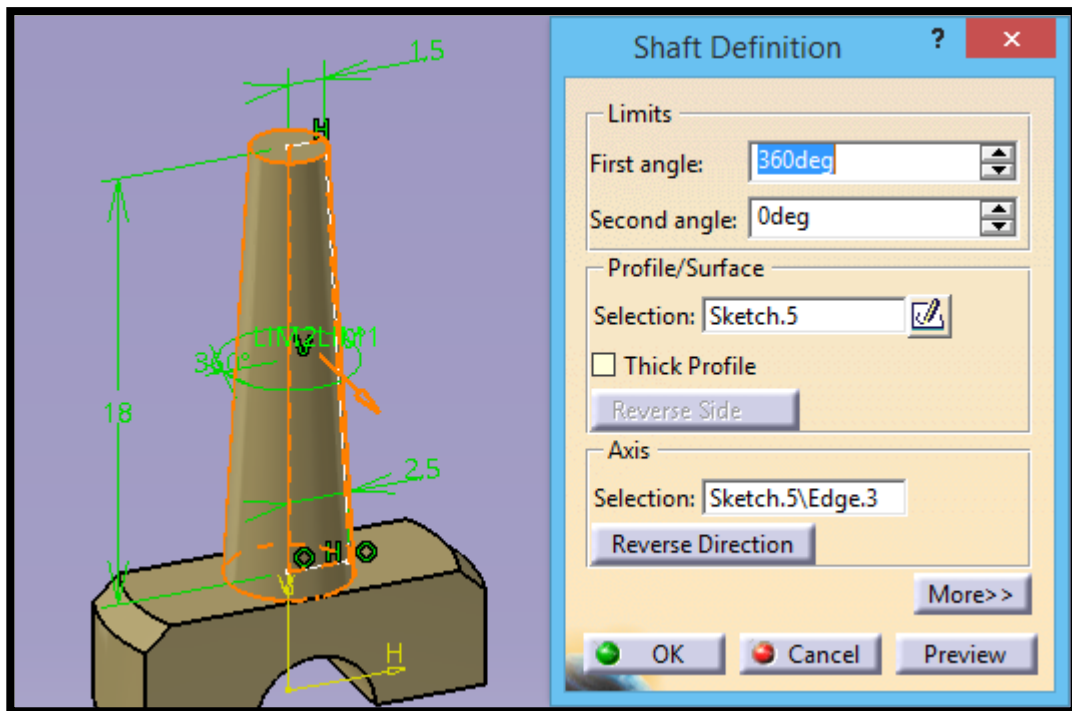


Figura 3-45. Bielle. Operación Shaft

2. *Pad with mirror extent*

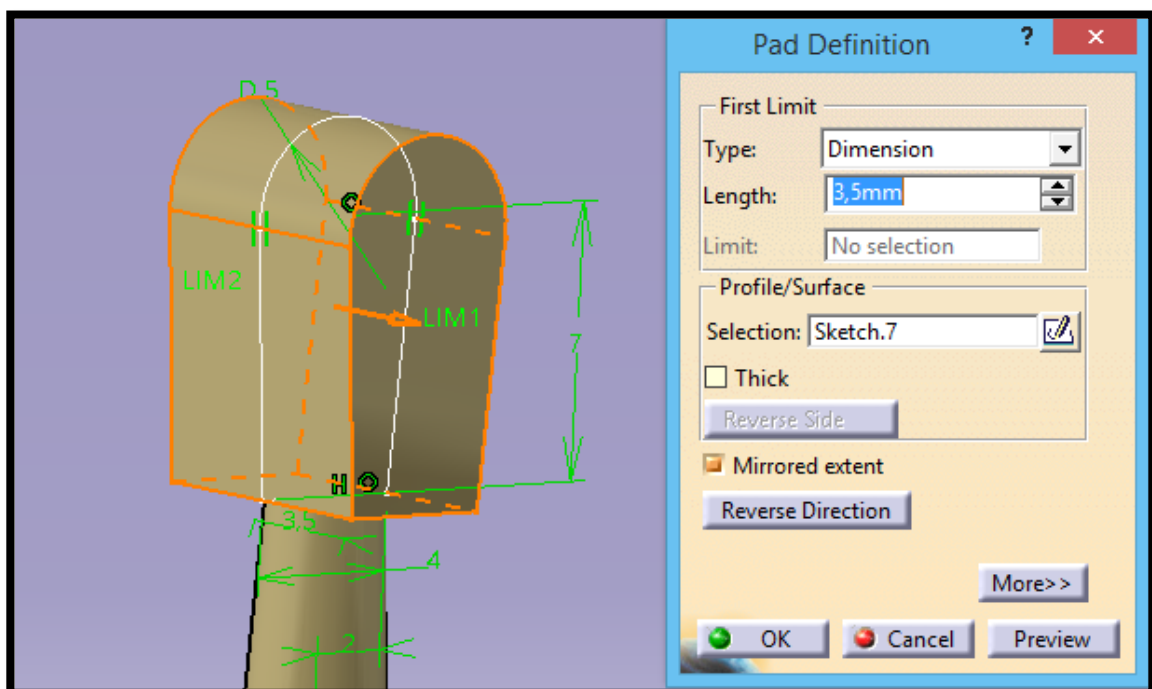


Figura 3-46. Bielle. Operación Pad

3. *Hole with Countedrilled*

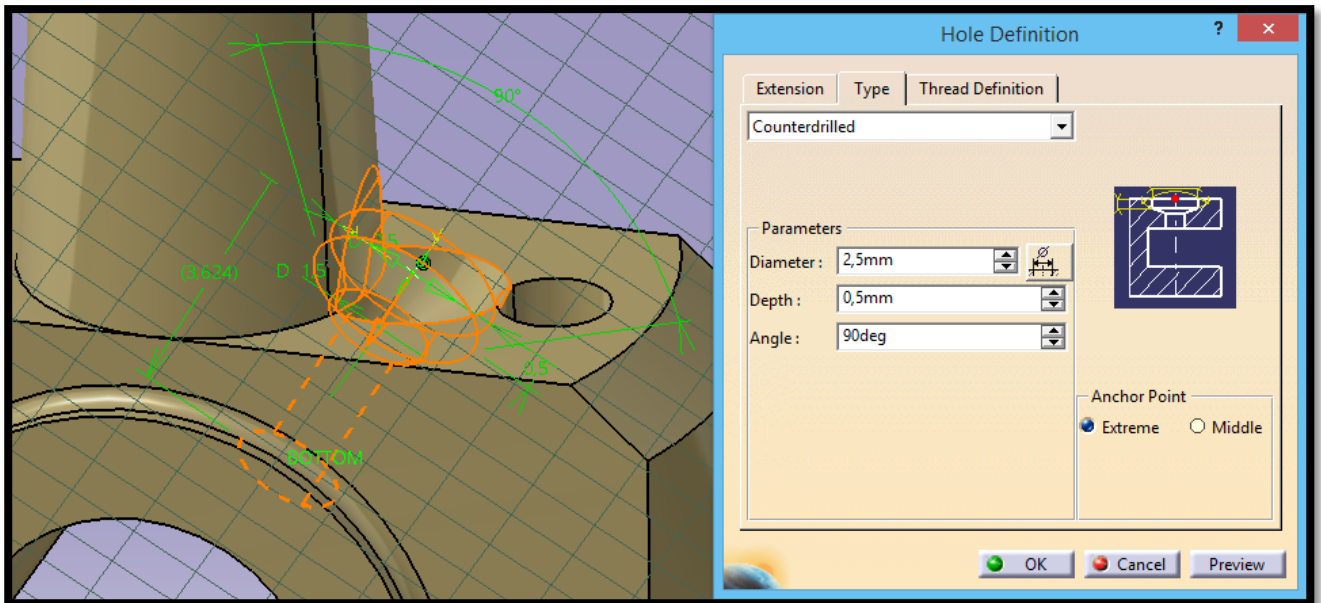


Figura 3-47. Bielle. Operación Hole

El pie de biela (Pied de Bielle, en francés) resulta ser una pieza bastante similar a la anterior y mucho más simple. Por lo que solo se mostrará la pieza junto con su árbol de operaciones.

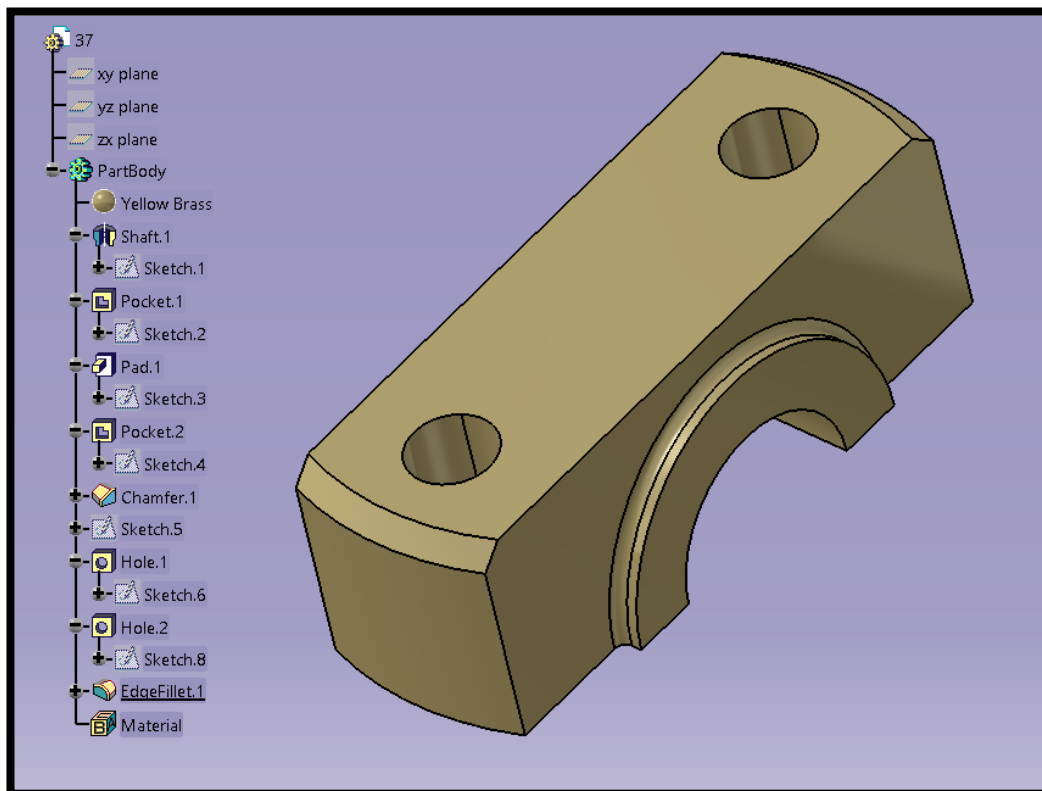


Figura 3-48. Pied de Bielle +

El eje pasante y la corredera (*Axe tête de Bielle* y *Coulisseau*, números 44 y 7, respectivamente) resultan dos elementos muy importantes para la cinemática del movimiento vertical de los pistones y además resultan ser piezas sencillas para su modelado.

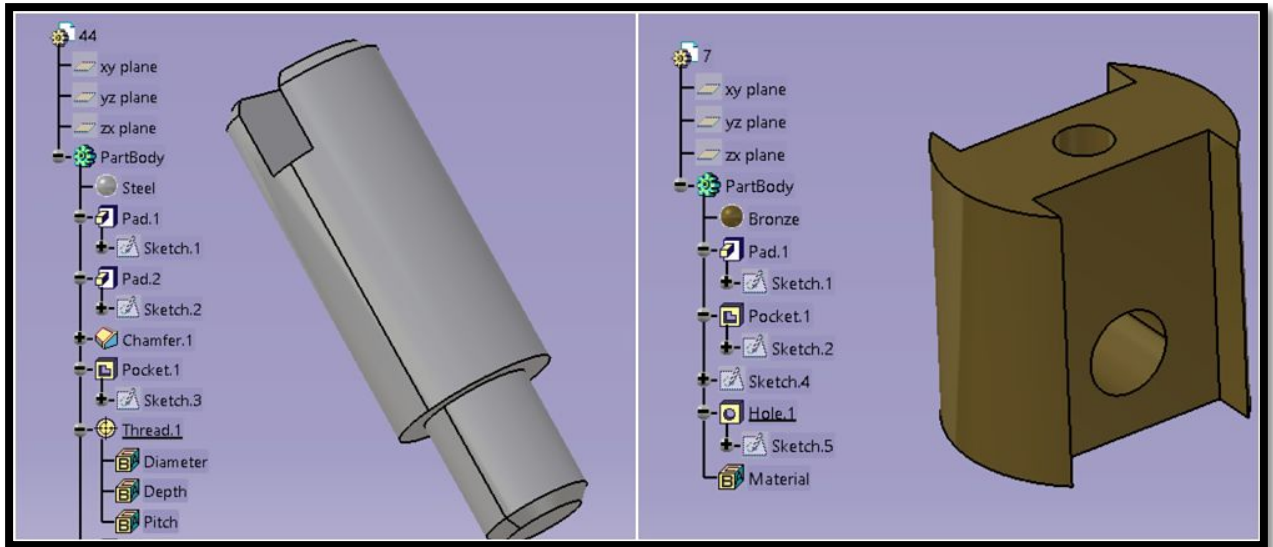


Figura 3-49. Axe Tete de Bielle y Coulisseau + árbol de operaciones

El pistón (Piston, pieza número 8) resulta ser una pieza muy importante en el motor, ya que es la encargada de recibir la fuerza del vapor procedente de las tuberías y transmitir la presión ejercida al pistón en forma de movimiento vertical de éstos (Véase la ilustración 3-21).

La secuencia de operaciones fue la siguiente:

1. Shaft:

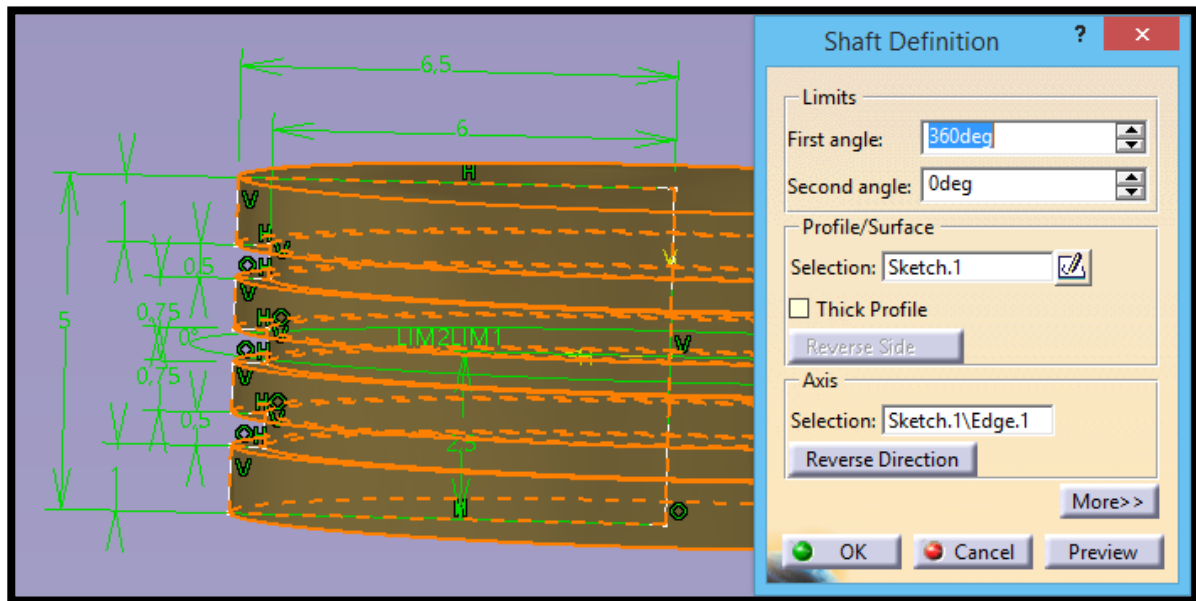


Figura 3-50. Piston. Operación Shaft

2. Hole:

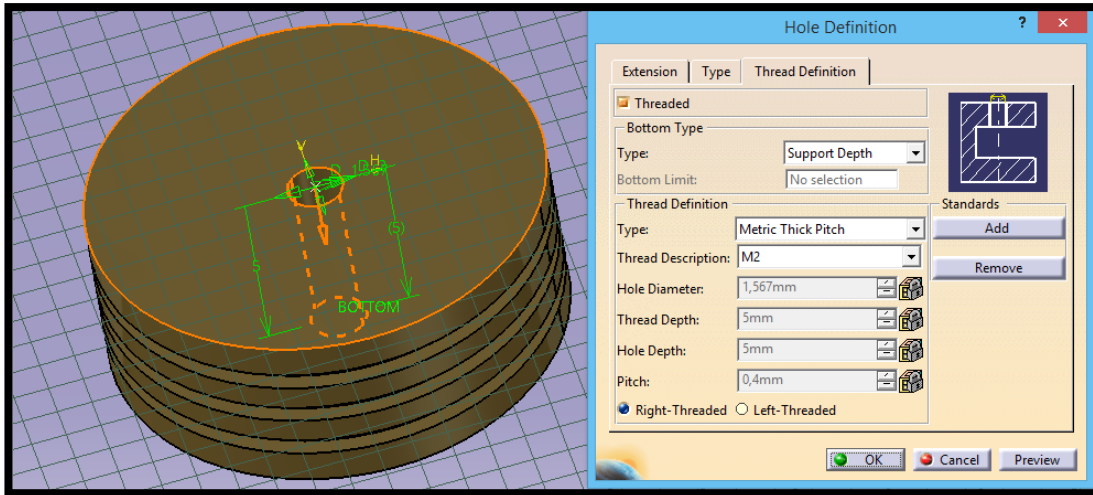


Figura 3-51. Piston. Operación Hole

Adicionalmente, hay una varilla que acompaña al pistón y se encuentra enroscada a éste. Es la pieza número 9, llamada Pige Piston.

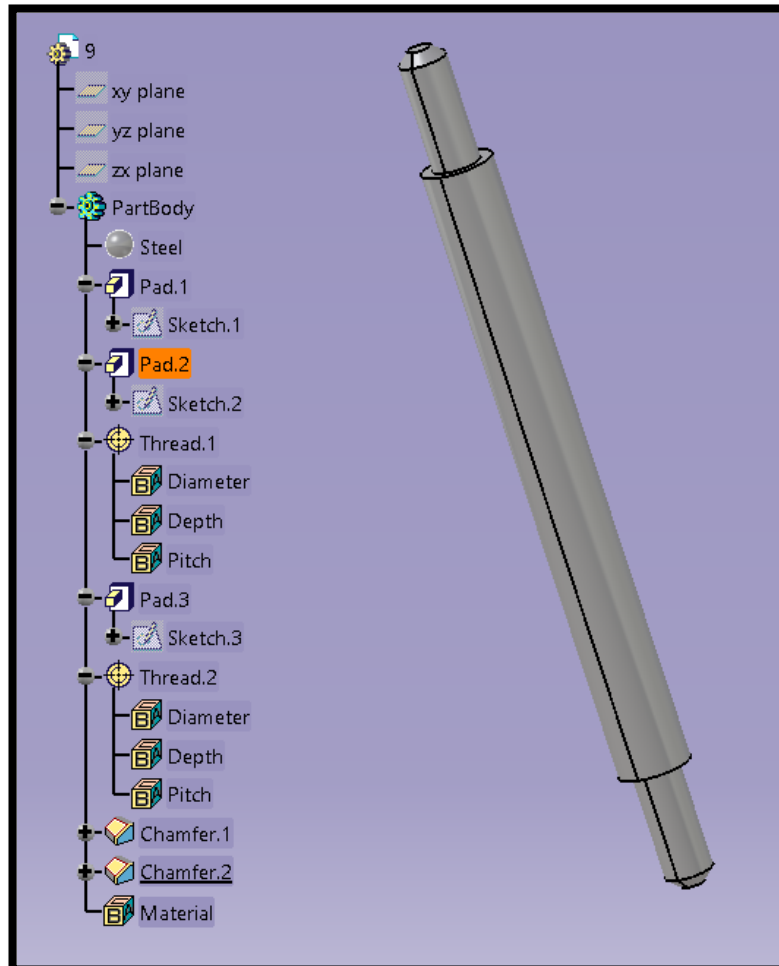


Figura 3-52. Tige Piston + árbol de operaciones

Por último lugar, se encuentra el volante de inercia (pieza número 15), situado en el eje del cigüeñal cuya función principal es aportarle una inercia adicional al sistema de modo que le permite almacenar mayor energía cinética, oponiéndose a las aceleraciones bruscas del sistema por su gran inercia, y además éste continúa su movimiento cuando cesa el par motor que lo propulsa.

Las operaciones más importantes fueron las siguientes:

1. Shaft:

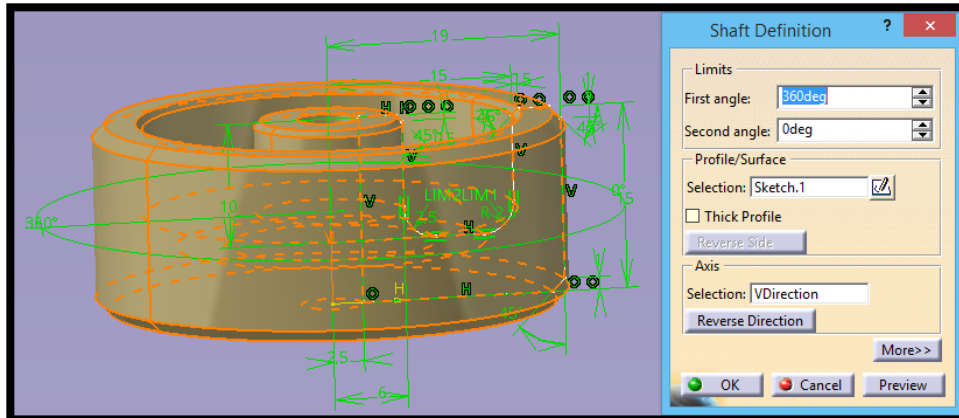


Figura 3-53. Volant. Operación Shaft

2.5 Distribution

Se trata del subconjunto con más piezas de todos, tiene exactamente 13 piezas diferentes y 41 piezas en total. Se encuentra acoplado al cigüeñal y cuya función es fundamental para el funcionamiento del motor. Éste, como su propio nombre indica, distribuye el vapor de agua a presión procedente de la caldera hacia los cilindros y se encarga de expulsarlo a la atmósfera.

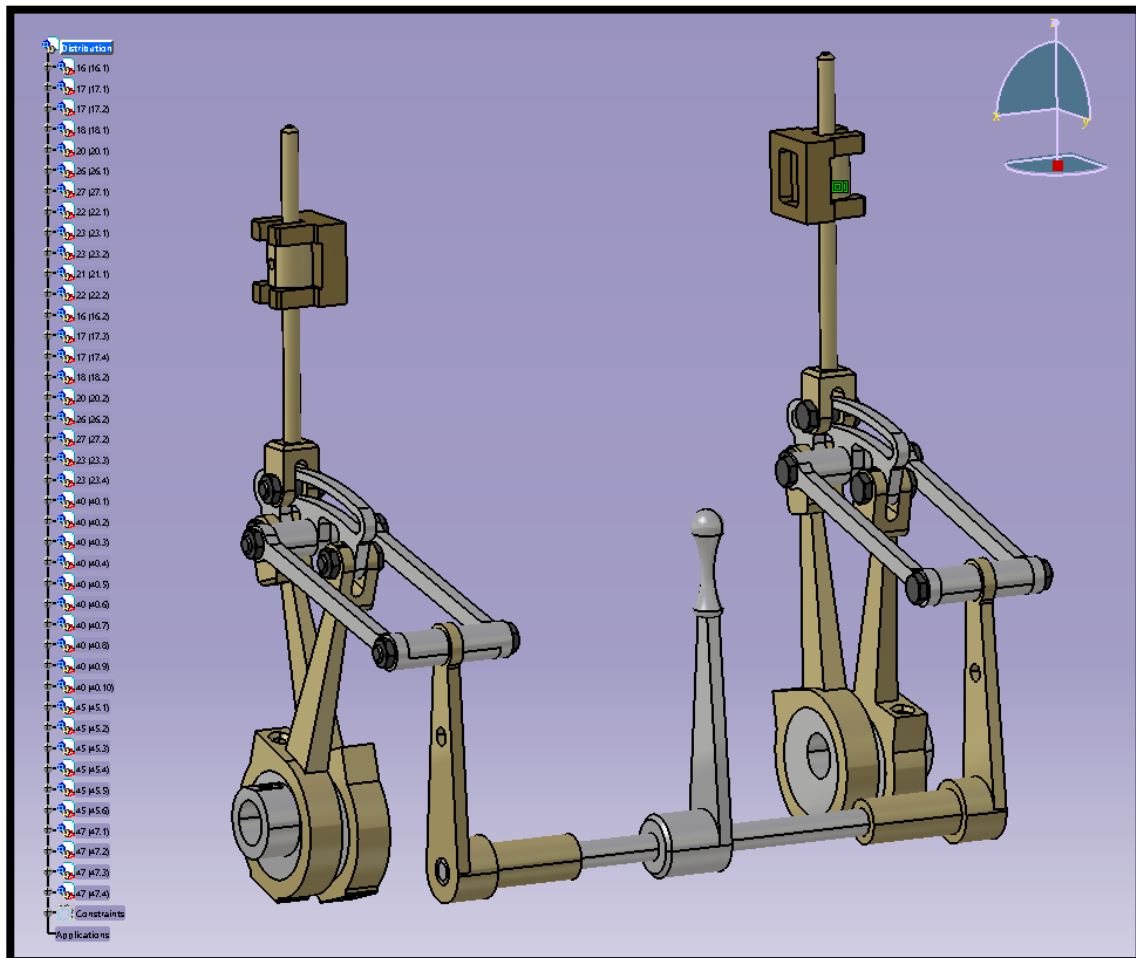


Figura 3-54. Subconjunto Distribution

A continuación, se mostrará una a una todas las piezas que conforman este subconjunto. En primer lugar, la excentricidad (*Excentrique*, pieza número 16), cuya secuencia de operaciones más importantes fue la siguiente:

1. Pocket:

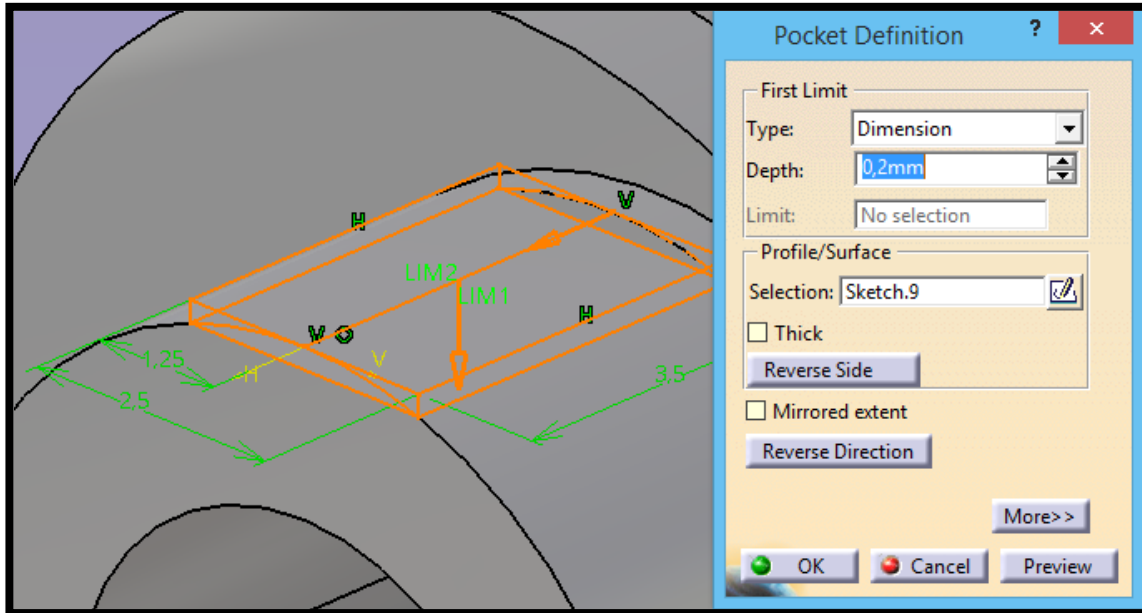


Figura 3-55. Excentrique. Operación Pocket

2. Hole:

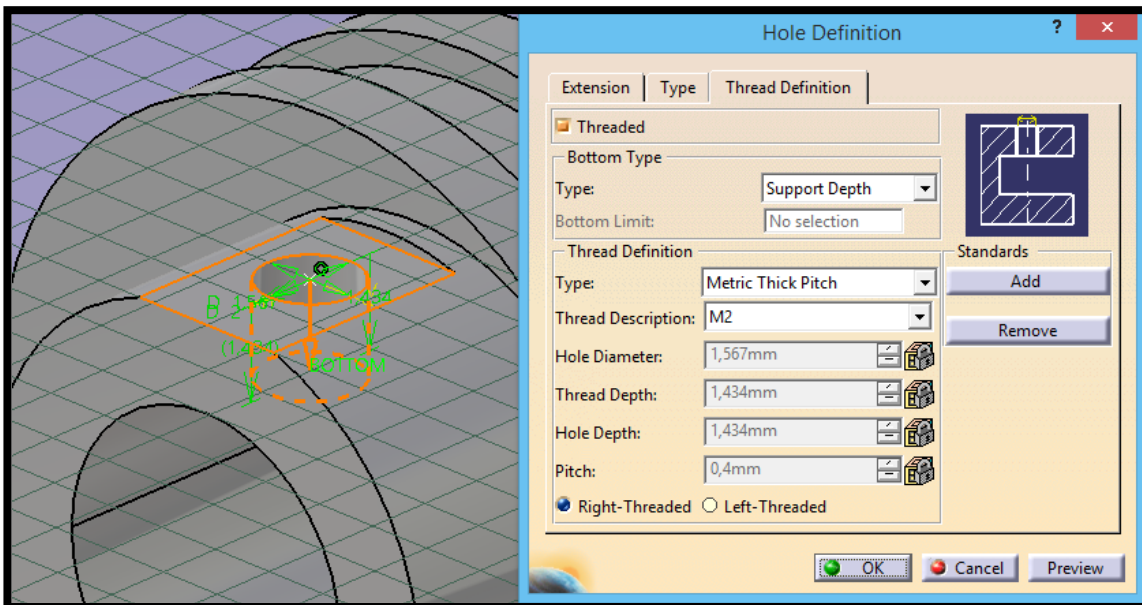


Figura 3-56. Excentrique. Operación Hole

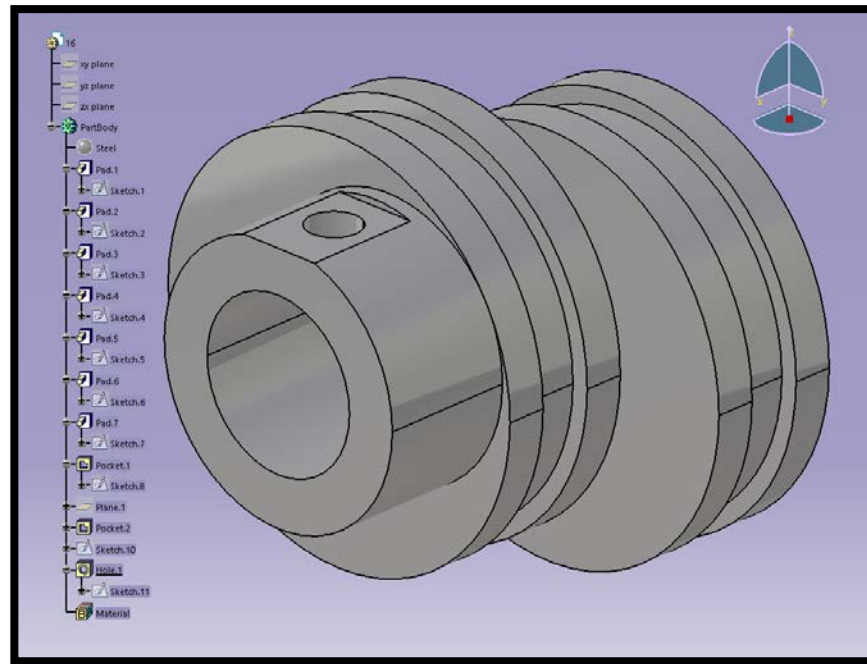


Figura 3-57. Excentrique + árbol de operaciones

La excentricidad se encuentra acoplada al cigüeñal y en ésta se encuentran dos bielas de distribución modeladas en latón (*Bielle Distribution*, número 17).

La secuencia de operaciones más importantes que sigue fueron las siguientes:

1. Pad:

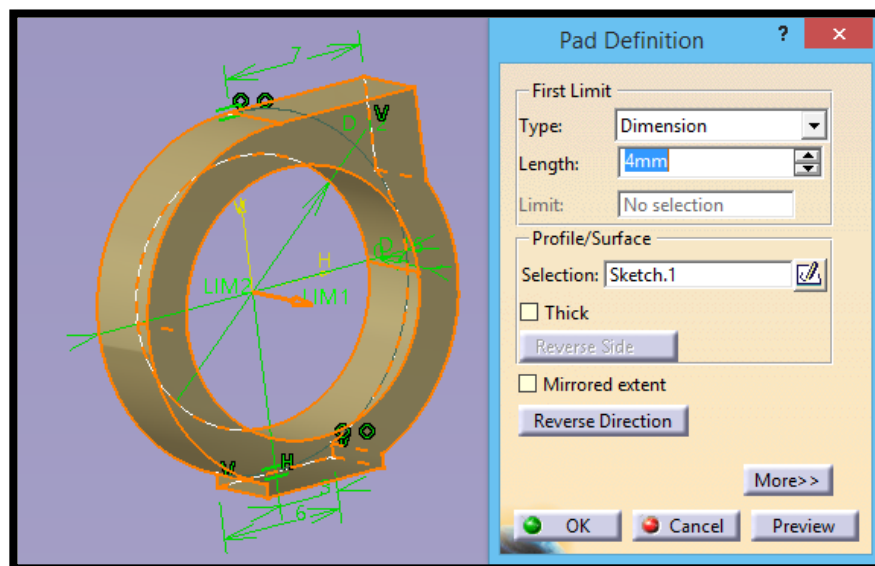


Figura 3-58. Bielle Distribution. Operación Pad

2. Draft:

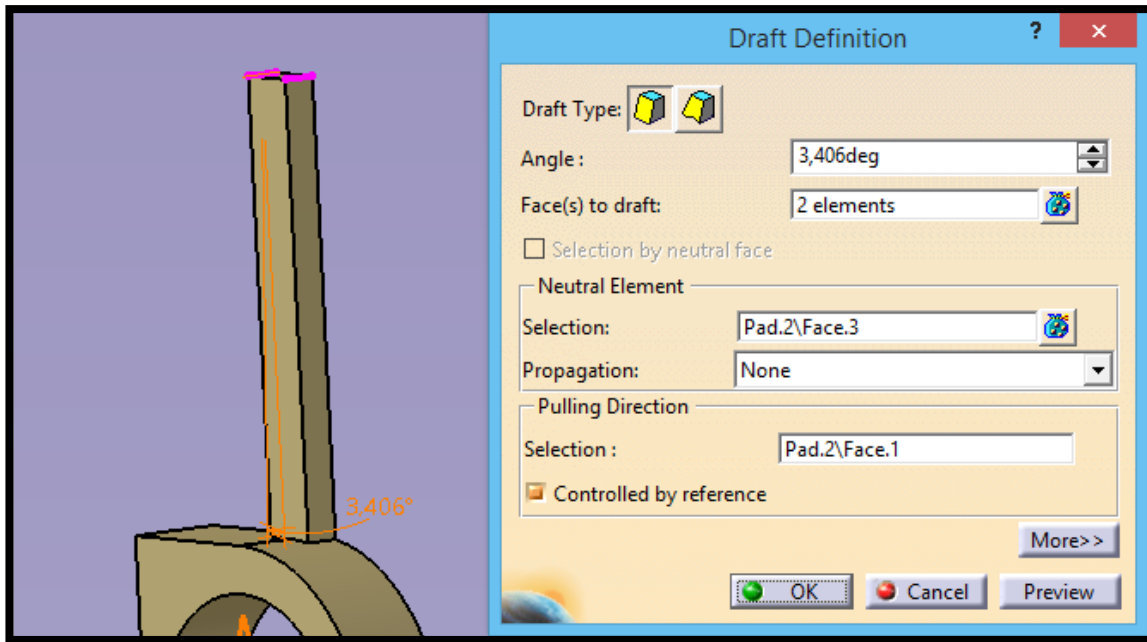


Figura 3-59. Bielle Distribution. Operación Draft

3. Hole:

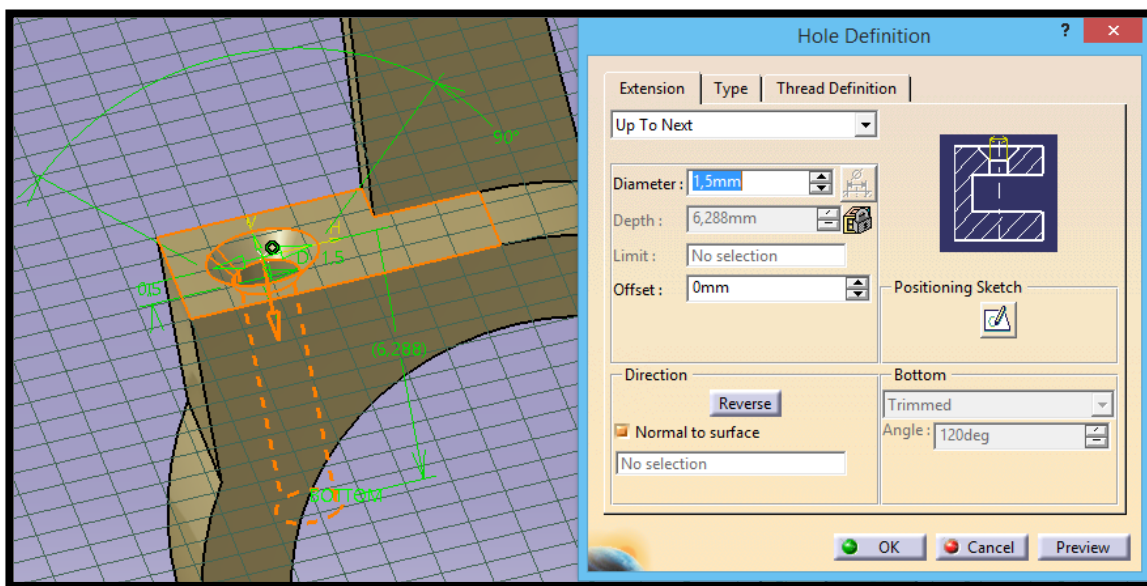


Figura 3-60. Bielle Distribution. Operación Hole

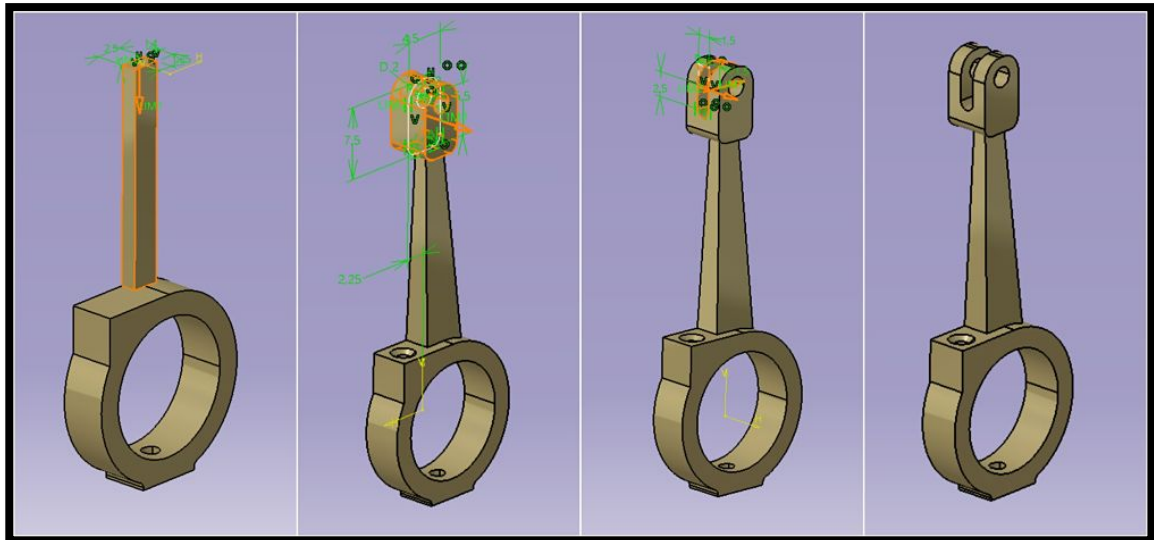


Figura 3-61. Secuencia de operaciones en Bielle Distribution

Las bielas se encuentran sujetas a una pieza llamada *Coulisse* (pieza número 18), cuyo modelado se compone exclusivamente de un *Pad*.

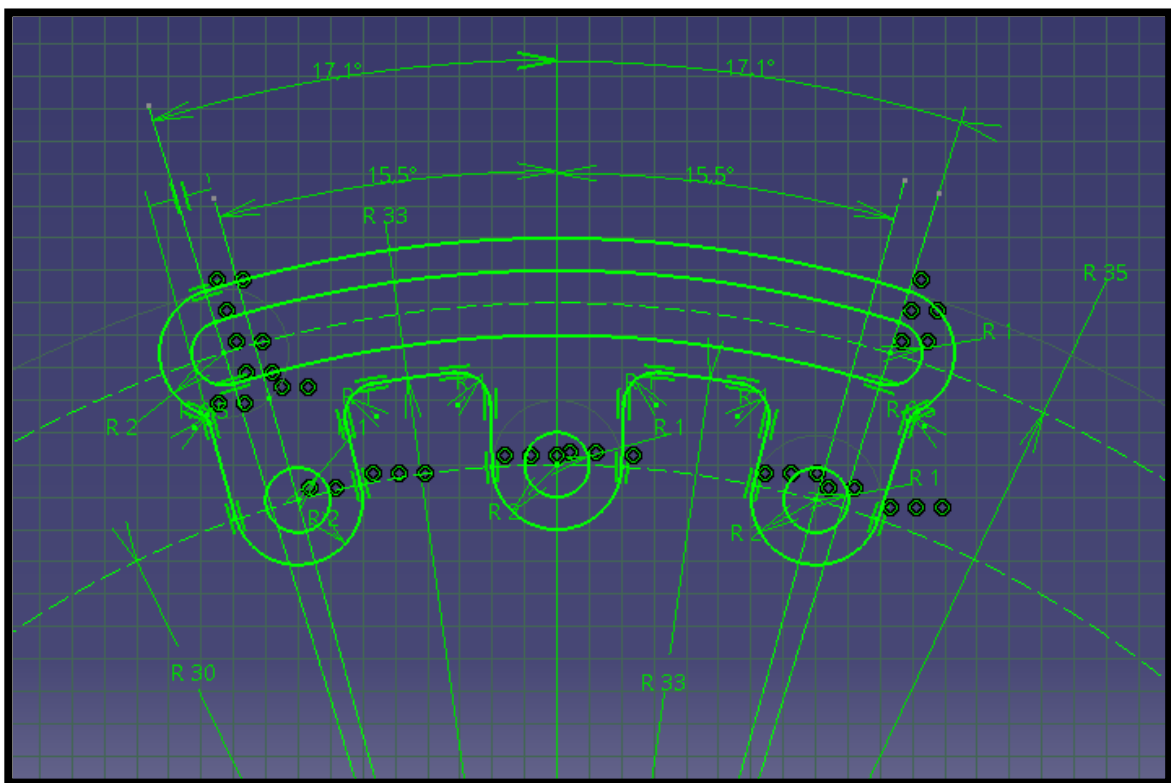


Figura 3-62. Coulisse. Operación Sketch

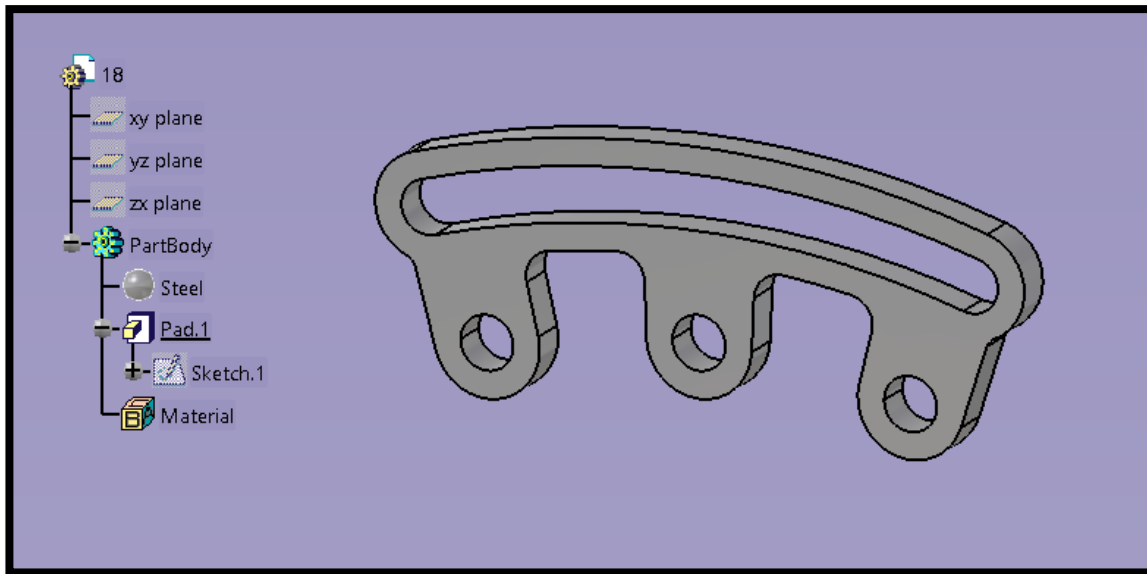


Figura 3-63. Coulise + árbol de operaciones

La varilla de distribución (Tige Distribution, pieza número 20) modelada en latón sigue las siguientes operaciones de modelado.

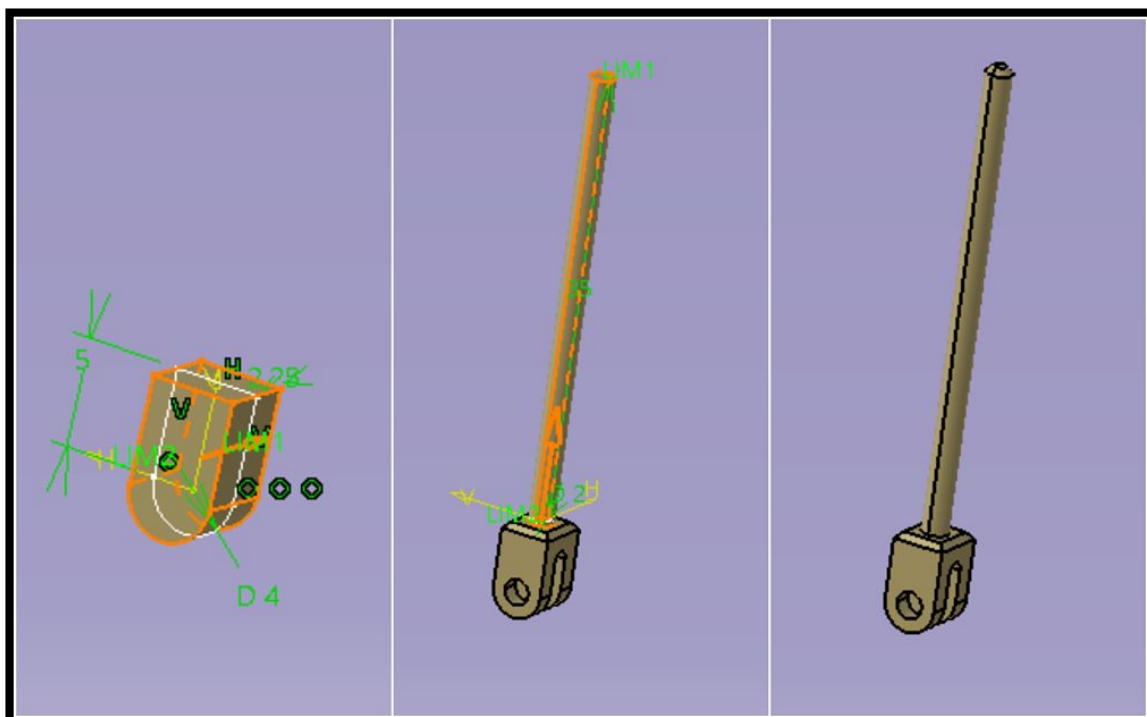


Figura 3-64. Secuencia de operaciones en Tige Distribution

Las piezas 26 y 27 (*Tiroir Bague* y *Tiroir*, respectivamente) acopladas a la pieza anterior, resultan piezas esenciales para la distribución del vapor a presión. Más adelante, se explicará el funcionamiento de estas piezas, además del conjunto global.

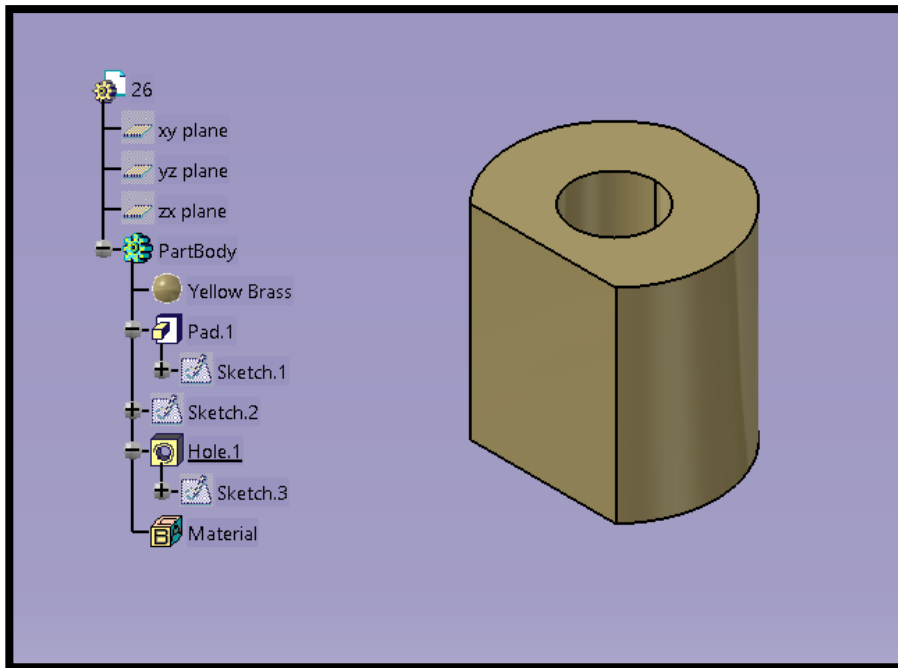


Figura 3-65. Tiroir Bague + árbol de operaciones

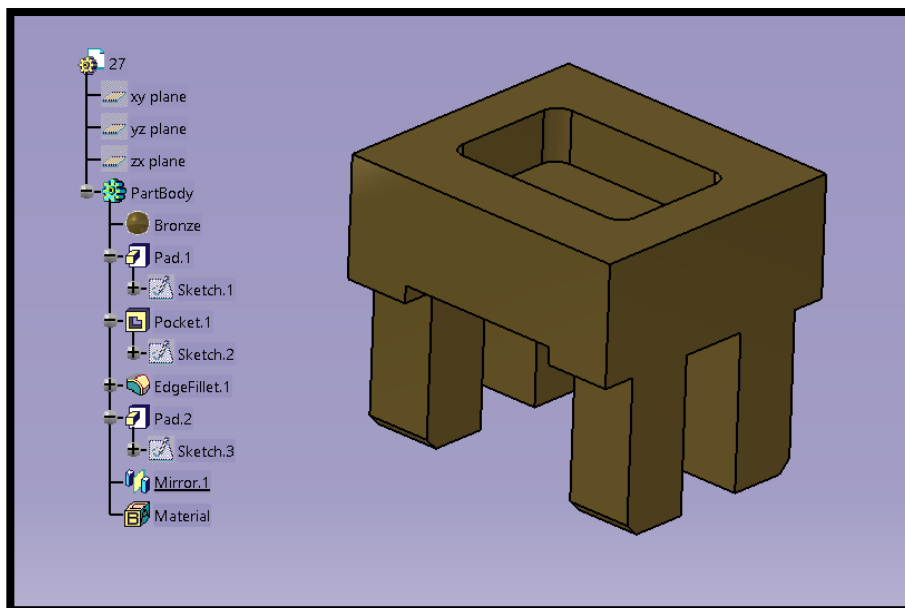


Figura 3-66. Tiroir + árbol de operaciones

Las siguientes piezas conforman el control de la distribución y según la posición que tomen, el motor girará a una revolución determinada. Conforman tres piezas (*Commande Distribution*, *Biellette Commande* y *Biellette Coulisse*, números 21, 22 y 23 respectivamente). Se muestran a continuación el proceso de modelado de las piezas.

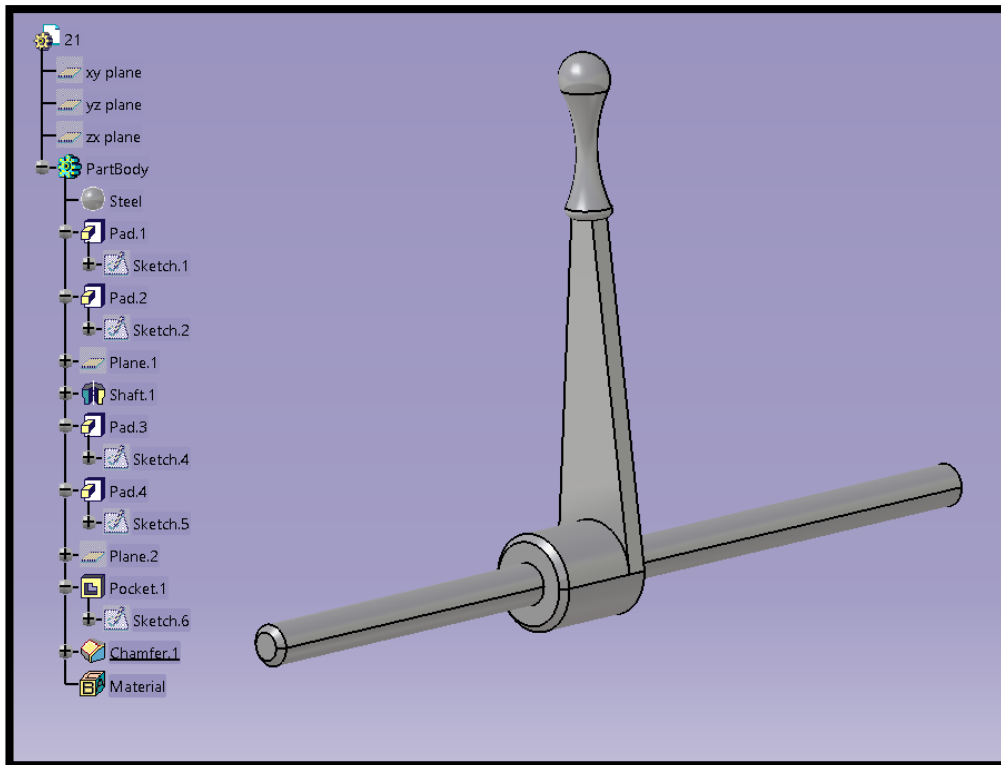


Figura 3-67. Commande Distribution + árbol de operaciones

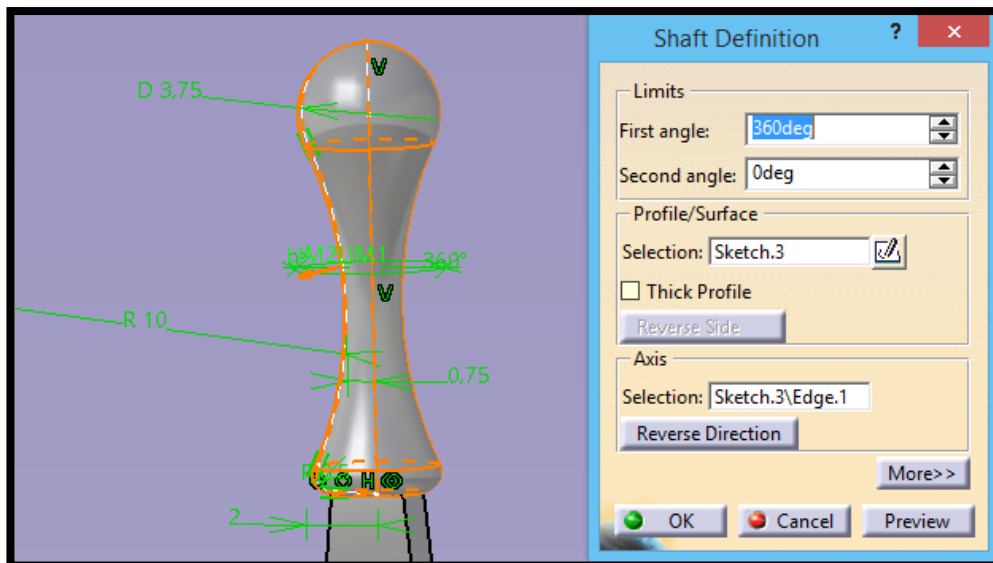


Figura 3-68. Commande Distribution. Operación Shaft

Cabe destacar que, para la operación de *Shaft* para el modelado de la parte superior de *Commande Distribution* (pieza 21), se ha tomado medidas que quizá no correspondan a la de los planos, ya que en éstos no había ninguna referencia en cuanto a las medidas de la parte superior de la pieza.

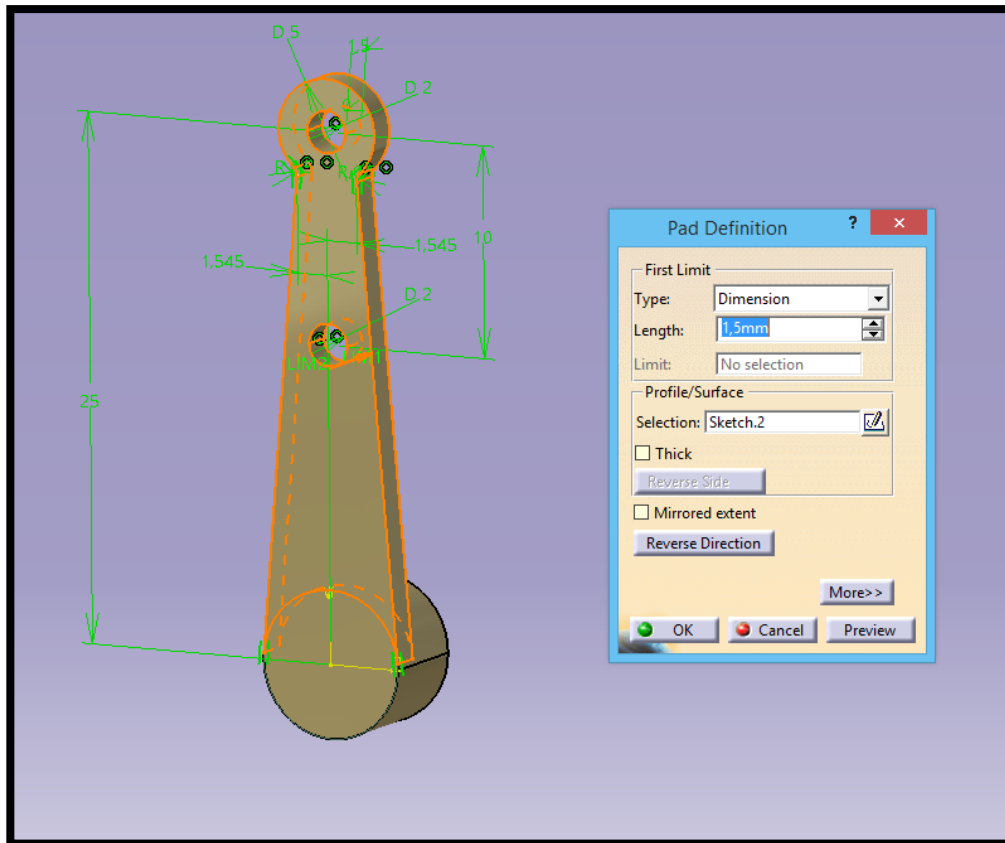


Figura 3-69. Bielle Commande. Operación Pad

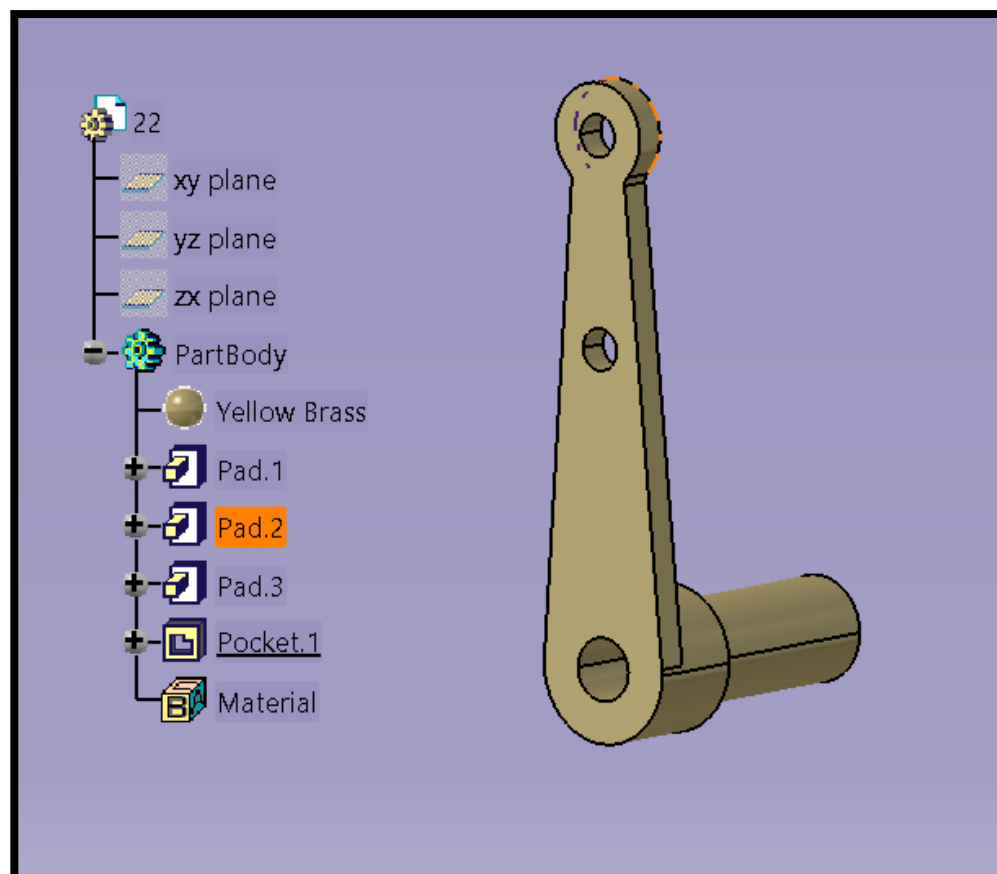


Figura 3-70. Bielle Commande + árbol de operaciones

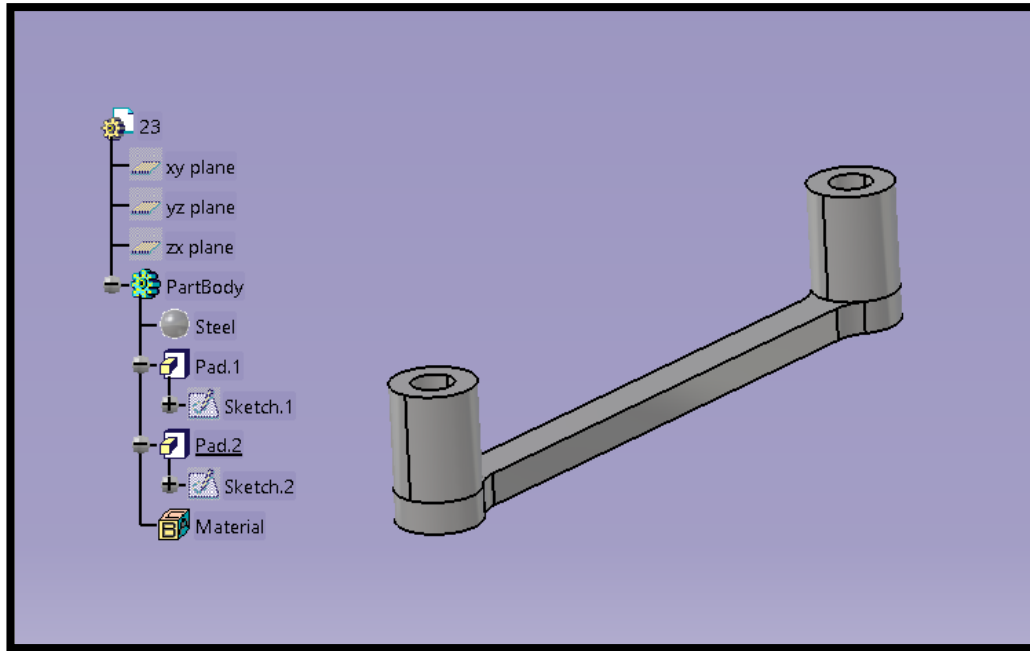


Figura 3-71. Biellette Coulissine + árbol de operaciones

Los elementos de sujeción en este subconjunto son las piezas 40, 45 y 47. Siendo la primera de ellas, una tuerca de métrica M2 y medida entre caras de 3 mm. Aunque, su métrica no coincida con el nombre que se le da a esa pieza en los planos, se ha considerado tomar esas medidas para que pueda corresponder con las demás piezas del subconjunto. Asimismo, la pieza 45 (Axe Coulisse) sirviendo de eje o varilla roscada (con misma métrica y paso entre caras de la rosca) para ser atornillado con las roscas.

Por otra parte, la pieza 47 (que no se encuentra incluida en los planos), muy similar a la pieza 24, sirve como sujeción de algunos elementos de la distribución del motor.

Todas las piezas están modeladas en latón, pero se le ha dado un color oscuro para un mejor contraste.

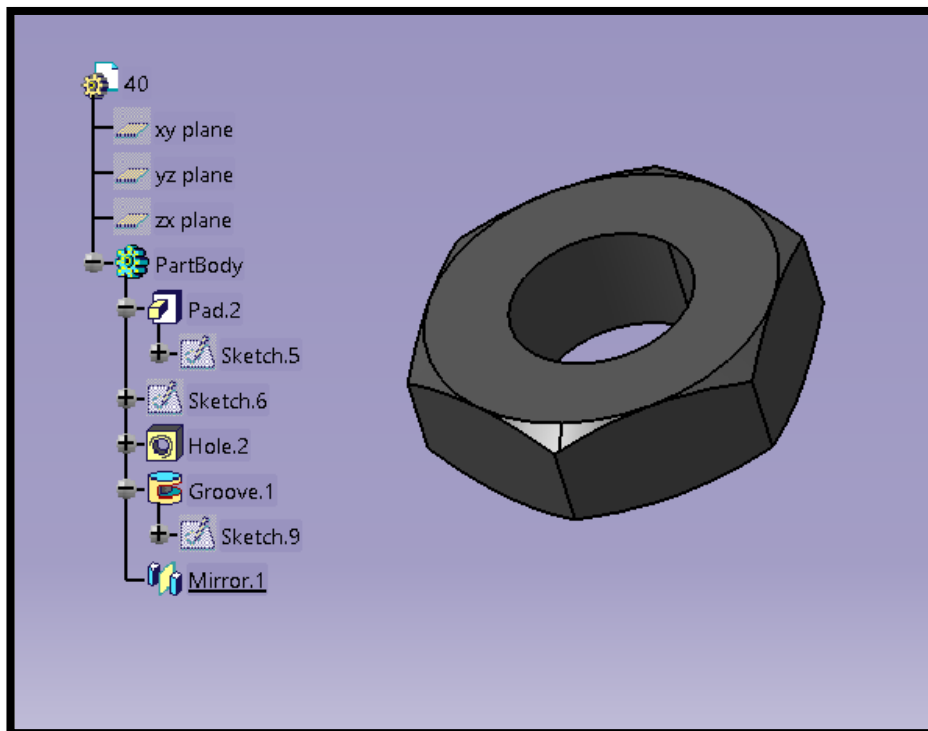


Figura 3-72. Ecrou HM1_6 + árbol de operaciones

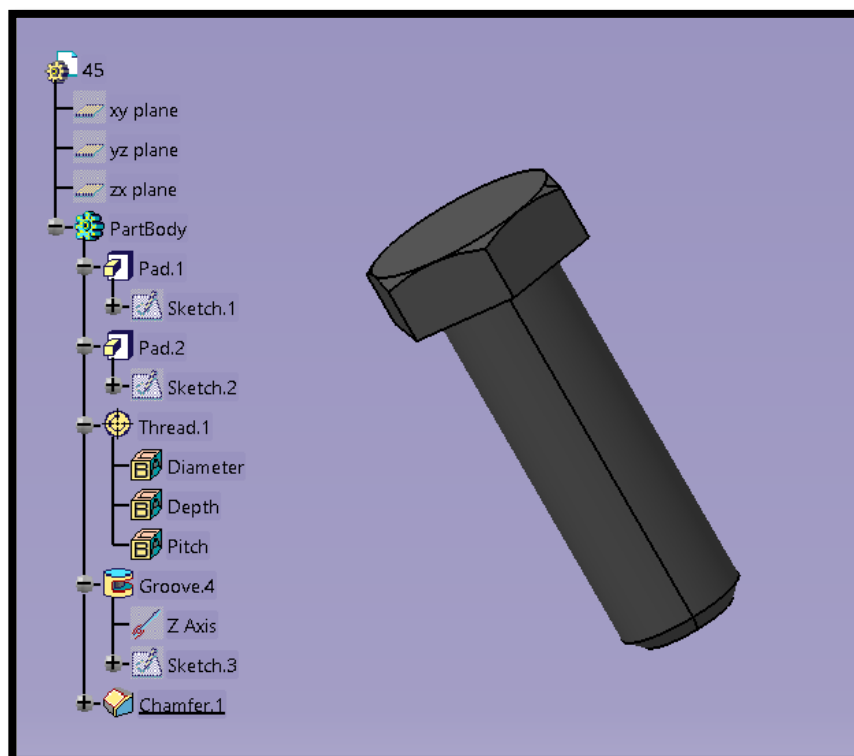


Figura 3-73. Axe Coulisse + árbol de operaciones

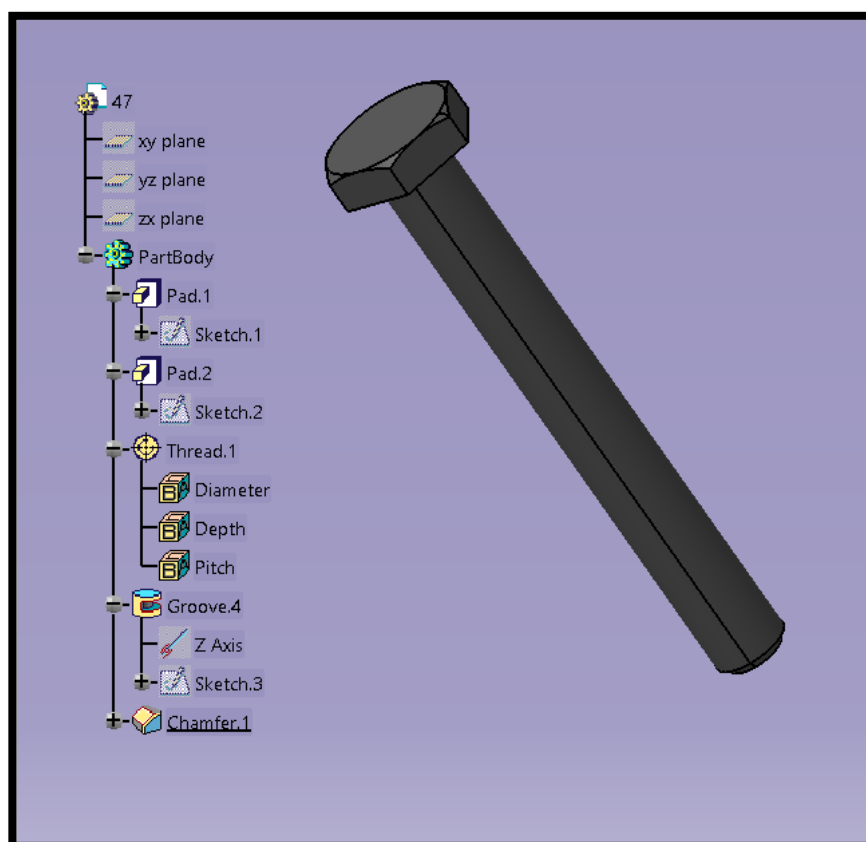


Figura 3-74. Pieza 47 + árbol de operaciones

2.6 Funcionamiento del motor

La máquina de vapor es un motor de combustión externa que transforma la energía térmica de una cantidad de agua en energía mecánica. Este ciclo de trabajo se realiza en dos etapas:

1. Se genera el vapor mediante el calentamiento del agua en una caldera cerrada herméticamente. Este vapor generado se encuentra a altas presiones, el cual es liberado a los cilindros y que por ende empuja al pistón, y mediante el mecanismo de biela-manivela, el movimiento vertical rectilíneo del pistón se transforma en un movimiento de rotación del cigüeñal.
2. El vapor a presión es controlado mediante una serie de válvulas de entrada y salida que regulan los flujos de vapor a presión desde y hacia el cilindro. Estas válvulas las conforman las piezas 26 y 27 del subconjunto *Distribution*.

En primer lugar, y como ya se dijo anteriormente, el vapor a presión procedente de la caldera es conducido a la caja de vapor (*Boite a Vapeur*, pieza número 13) por el tubo de admisión (*AdmissionTube*). El vapor procedente de la caldera a presión es representado en la imagen por una flecha azul, mientras que el representado por una flecha roja pertenece al vapor que es expulsado hacia la atmósfera.

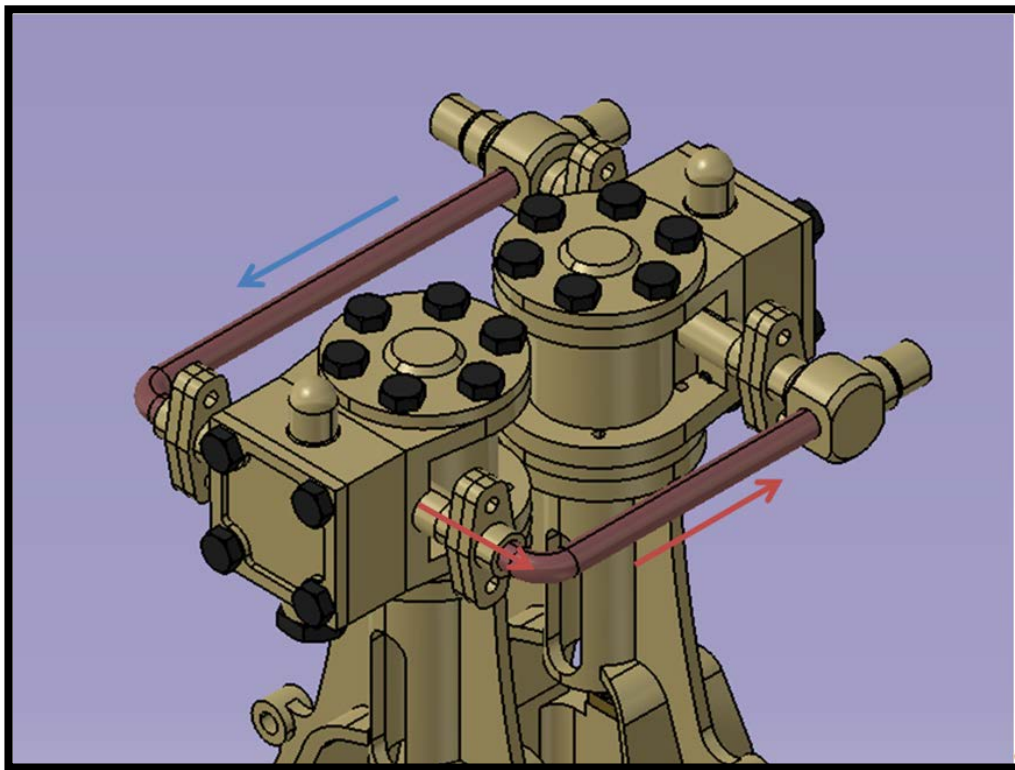


Figura 3-75. Entrada (en azul) y salida al exterior del vapor (en rojo)

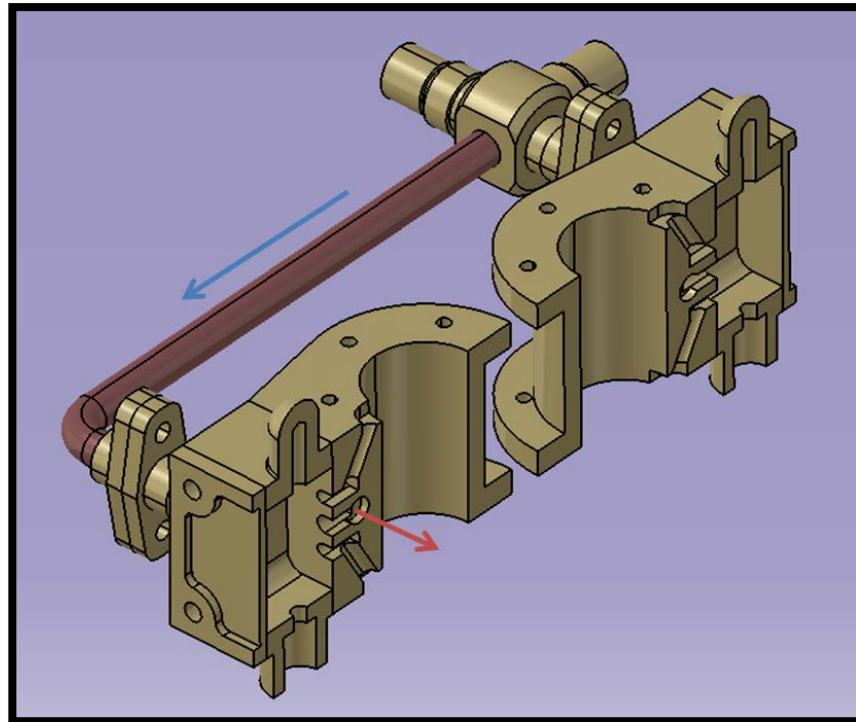


Figura 3-76. Entrada (en azul) y salida al exterior del vapor (en rojo)

Dicho esto, el motor en primer lugar permanece parado y con la caja de vapor inmersa en vapor a presión. Las piezas 26 y 27 (*Tiroir Bague* y *Tiroir*) son las encargadas de distribuir ese vapor a presión a los cilindros para el movimiento de los pistones y por último, expulsarlo al tubo de escape.

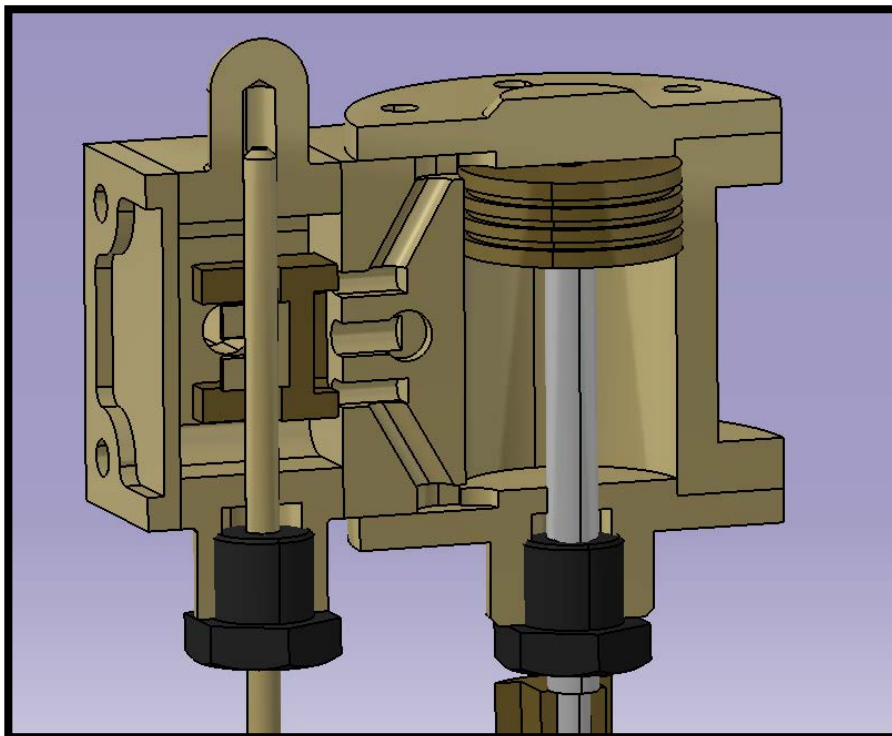


Figura 3-77. Motor parado

En primer lugar, ese vapor a presión no puede salir a ningún conducto, ya que todos se encuentran cerrados por la pieza *Tiroir*, que actúa como una válvula. Una vez que se acciona la palanca de distribución, la pieza *Tiroir* se desplaza hacia abajo y todo el vapor a presión es dirigido al conducto superior del cilindro. Ese vapor a presión mueve al pistón hacia abajo.

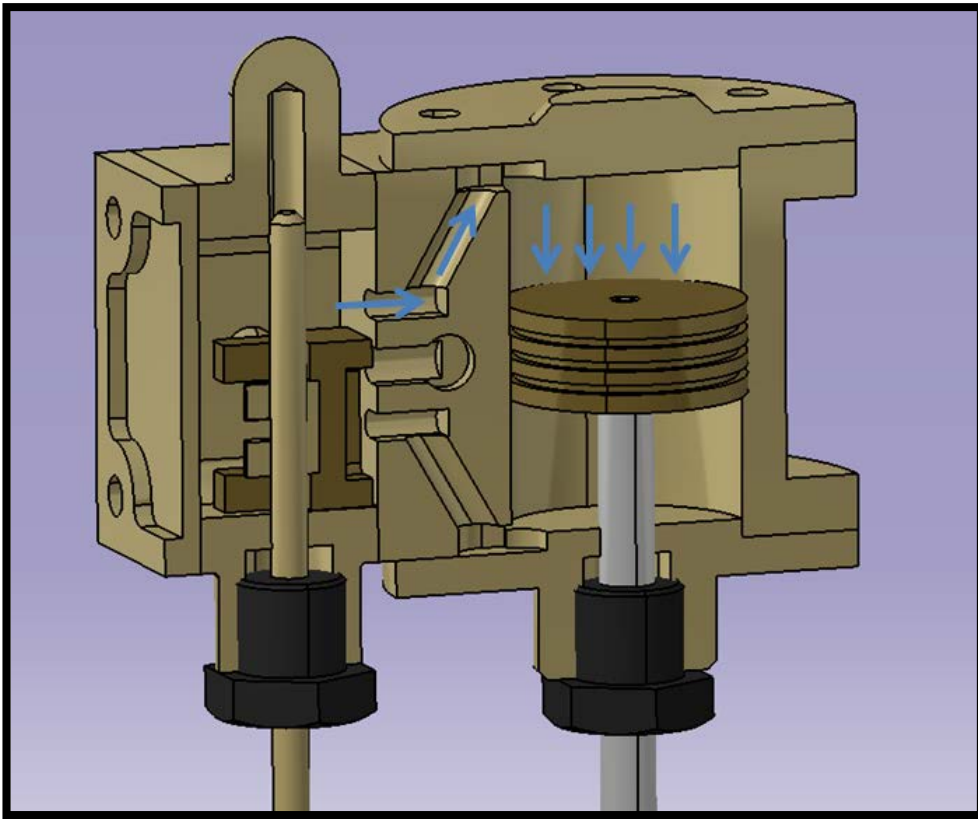


Figura 3-78. Entrada de vapor al cilindro por el conducto superior

Una vez que el pistón se encuentre en la posición más baja, la pieza *Tiroir* abre el conducto inferior del cilindro para que entre más vapor a presión. El vapor que se encuentra en el interior del cilindro es expulsado por el conducto superior del cilindro y conducido al conducto central mediante la pieza *Tiroir*, y que finalmente es expulsado a la atmósfera.

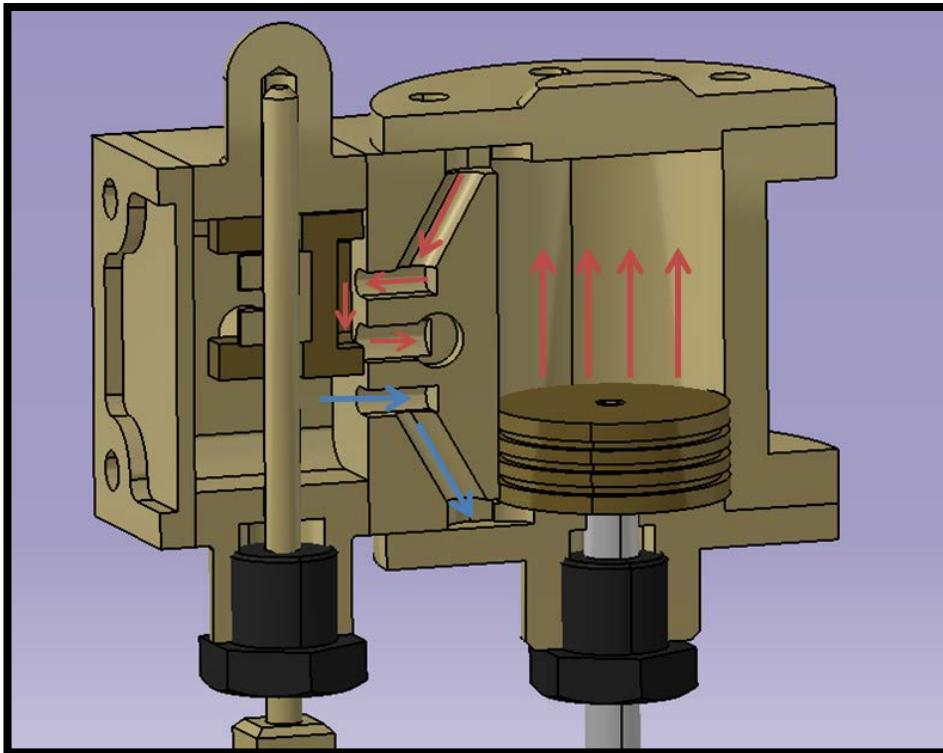


Figura 3-79. Entrada de vapor al pistón (Azul) y salida del mismo (Rojo)

El pistón vuelve a subir y se completa el ciclo. Se repite el proceso una y otra vez poder llevar a cabo el movimiento vertical de los pistones que, mediante el mecanismo de biela-manivela, es transformado en movimiento circular del cigüeñal.

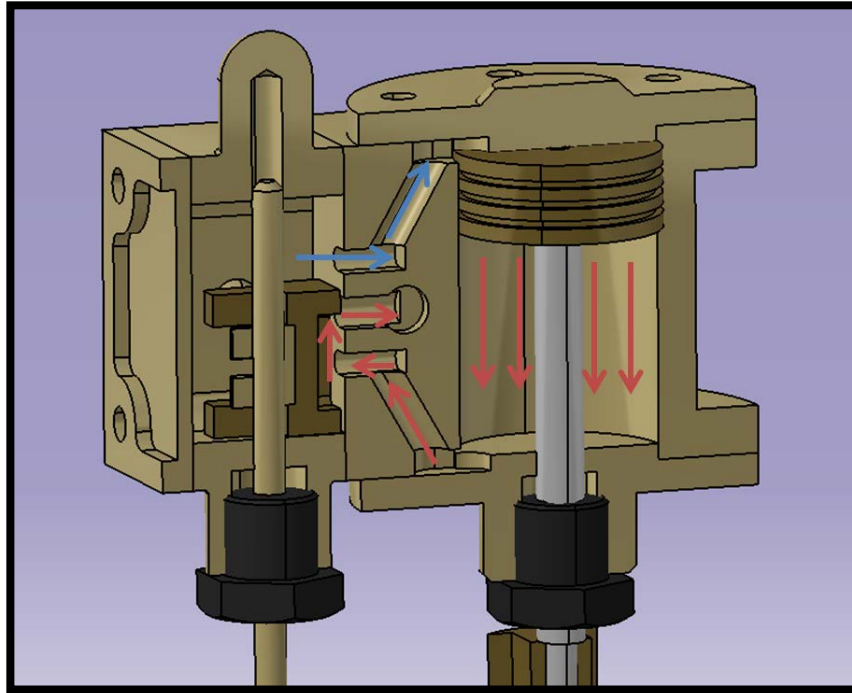


Figura 3-80. Entrada de vapor al pistón (Azul) y salida del mismo (Rojo)

4 RESULTADO FINAL

En este capítulo se mostrará el resultado final del ensamblaje de los subconjuntos del apartado anterior y se hará una comparación con el ensamblaje de los planos.

En primer lugar cabe destacar que, algunas de las piezas del conjunto no se encontraban en los planos, tales como las piezas de tornillería ya mencionadas en capítulos anteriores, como por ejemplo; las piezas número 10, 25, 36, etc. Además, algunas medidas de piezas no se encontraban recogidas en los planos, por lo que se han tomado medidas aproximadas en algunas de las piezas.

El latón ha sido el material que más se ha utilizado para el modelado de las piezas del conjunto, aunque también se ha utilizado acero inoxidable, bronce y cobre para el modelado de algunas piezas.

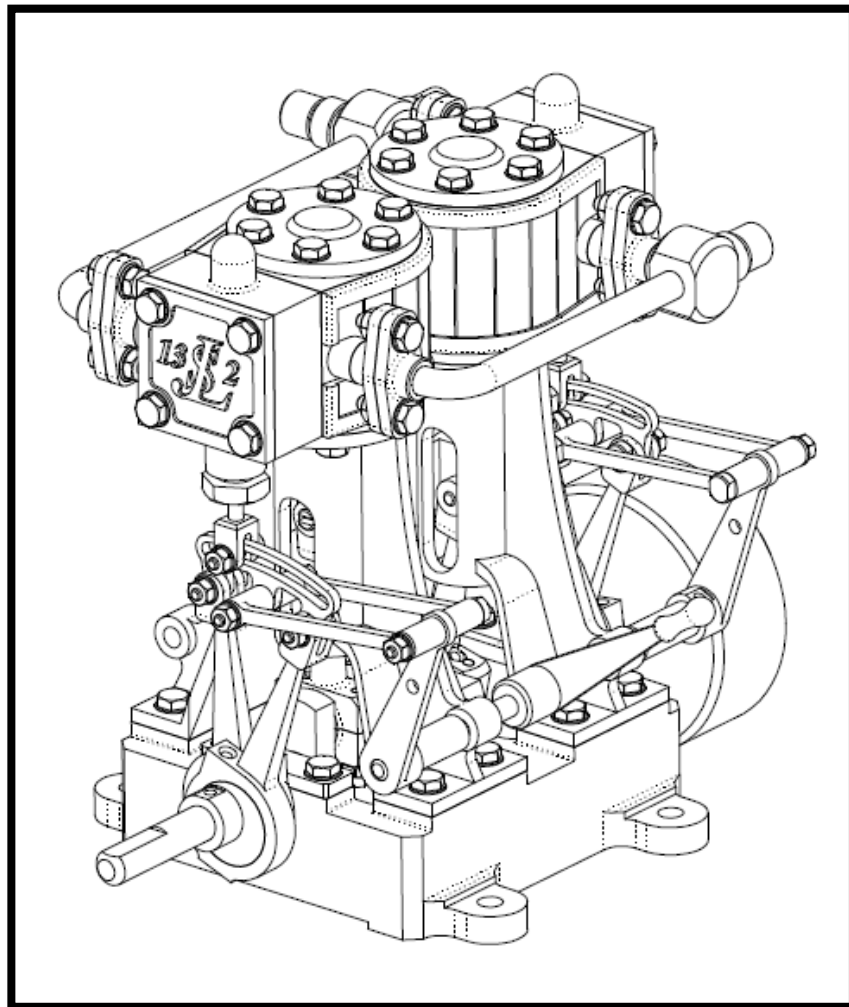


Figura 4-1. Vista en 3D del motor de vapor proporcionada por los planos

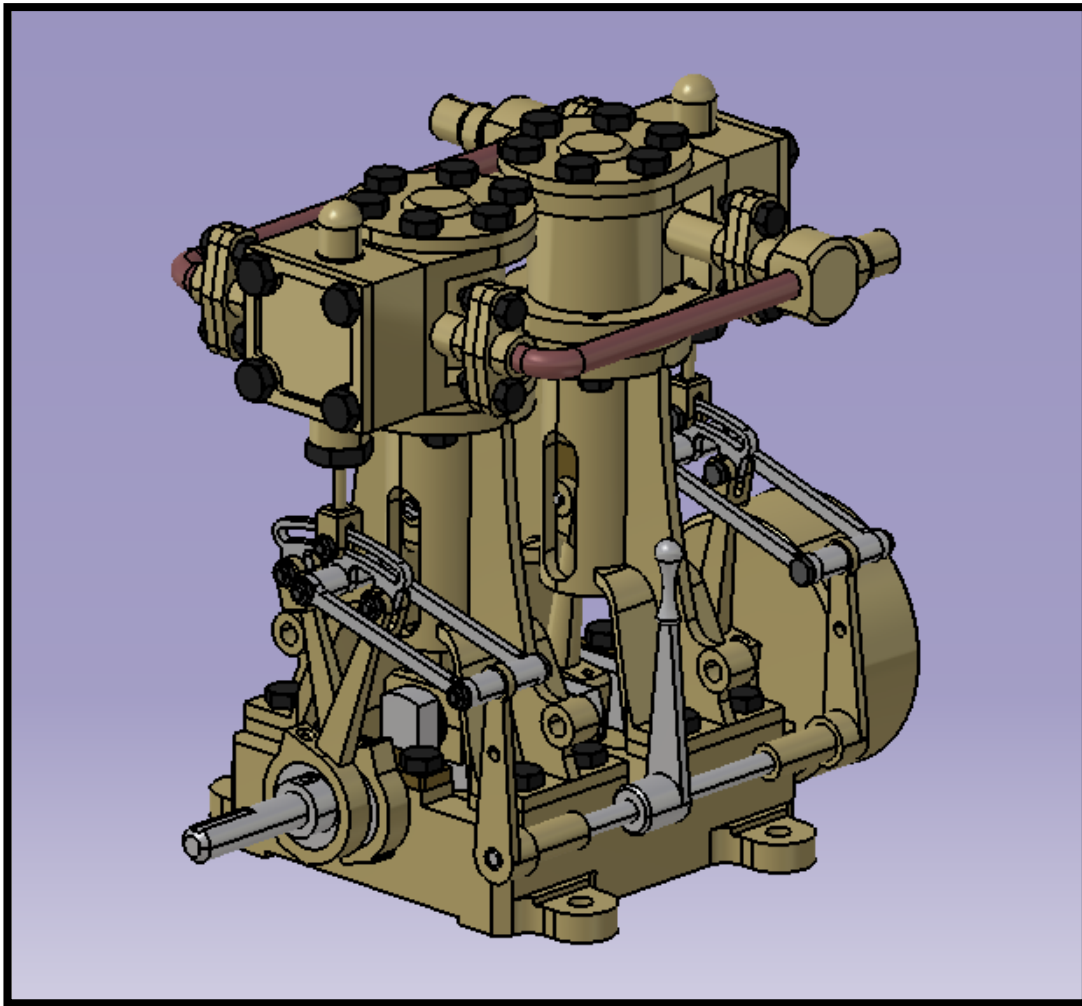


Figura 4-2. Vista en 3D del motor de vapor en CATIA V5

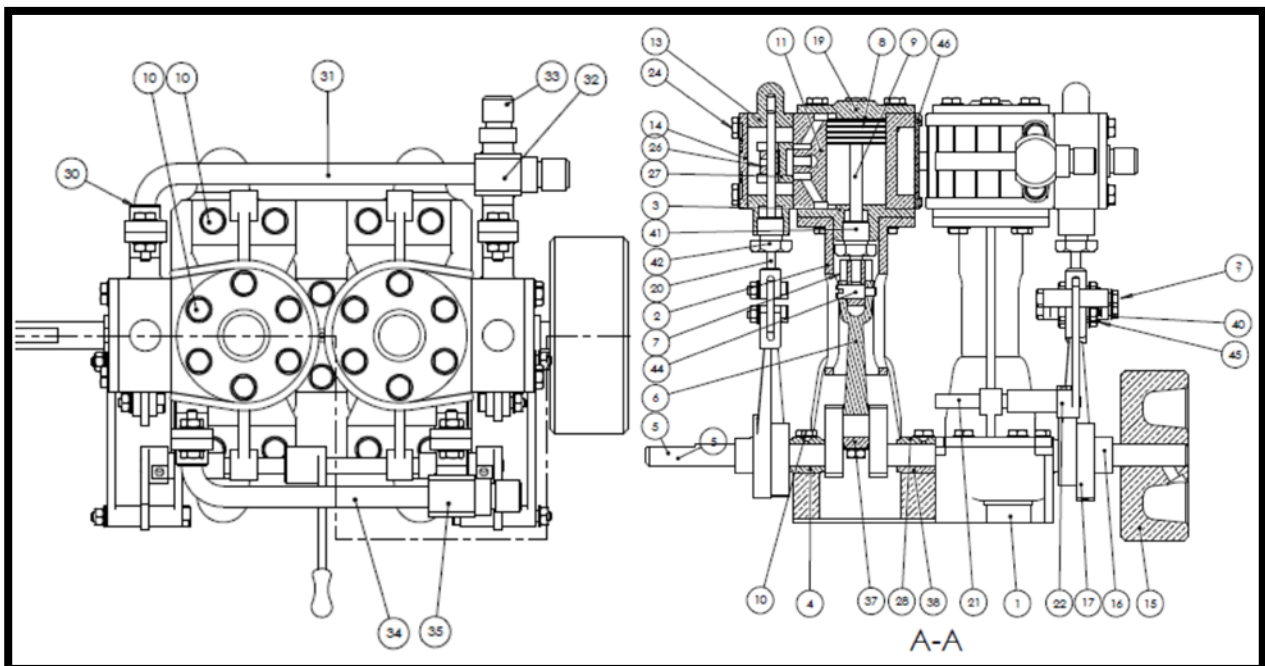


Figura 4-3. Vistas de planta (izquierda) y alzado (derecha) del motor

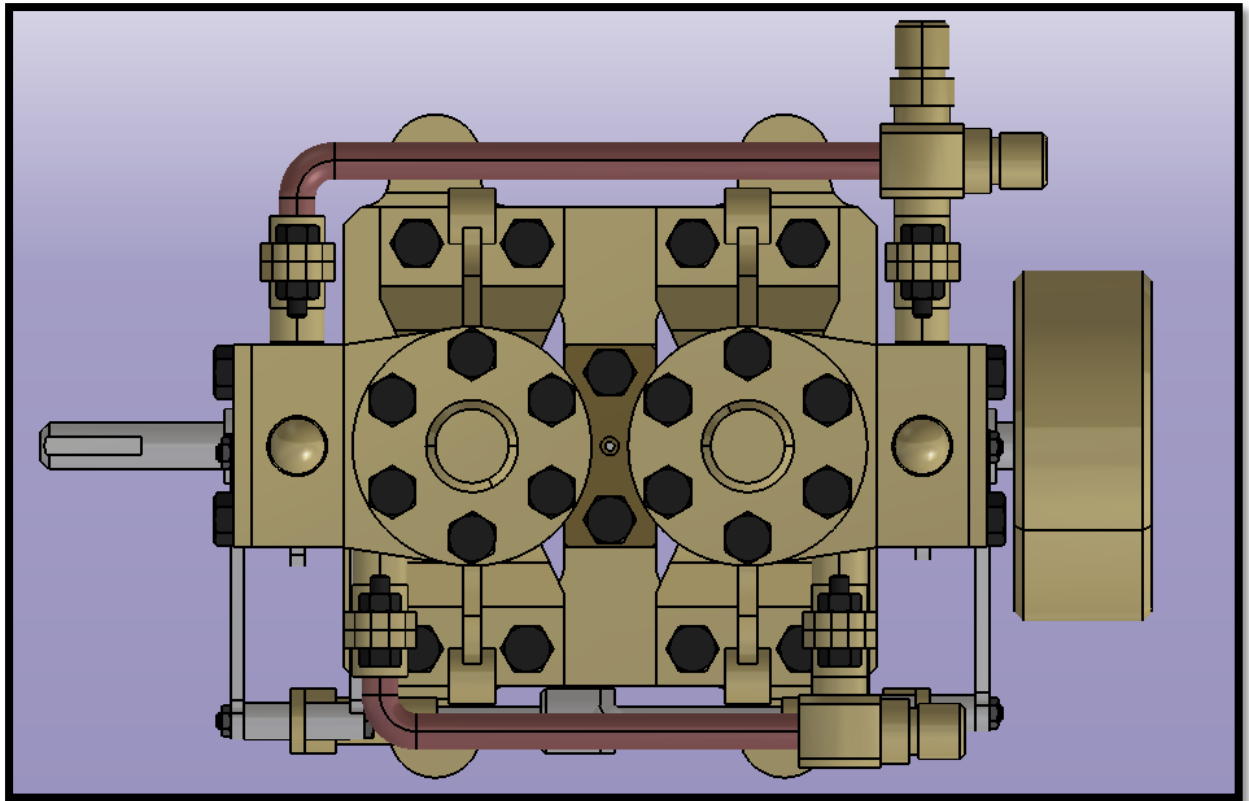


Figura 4-4. Vista de planta del motor en CATIA

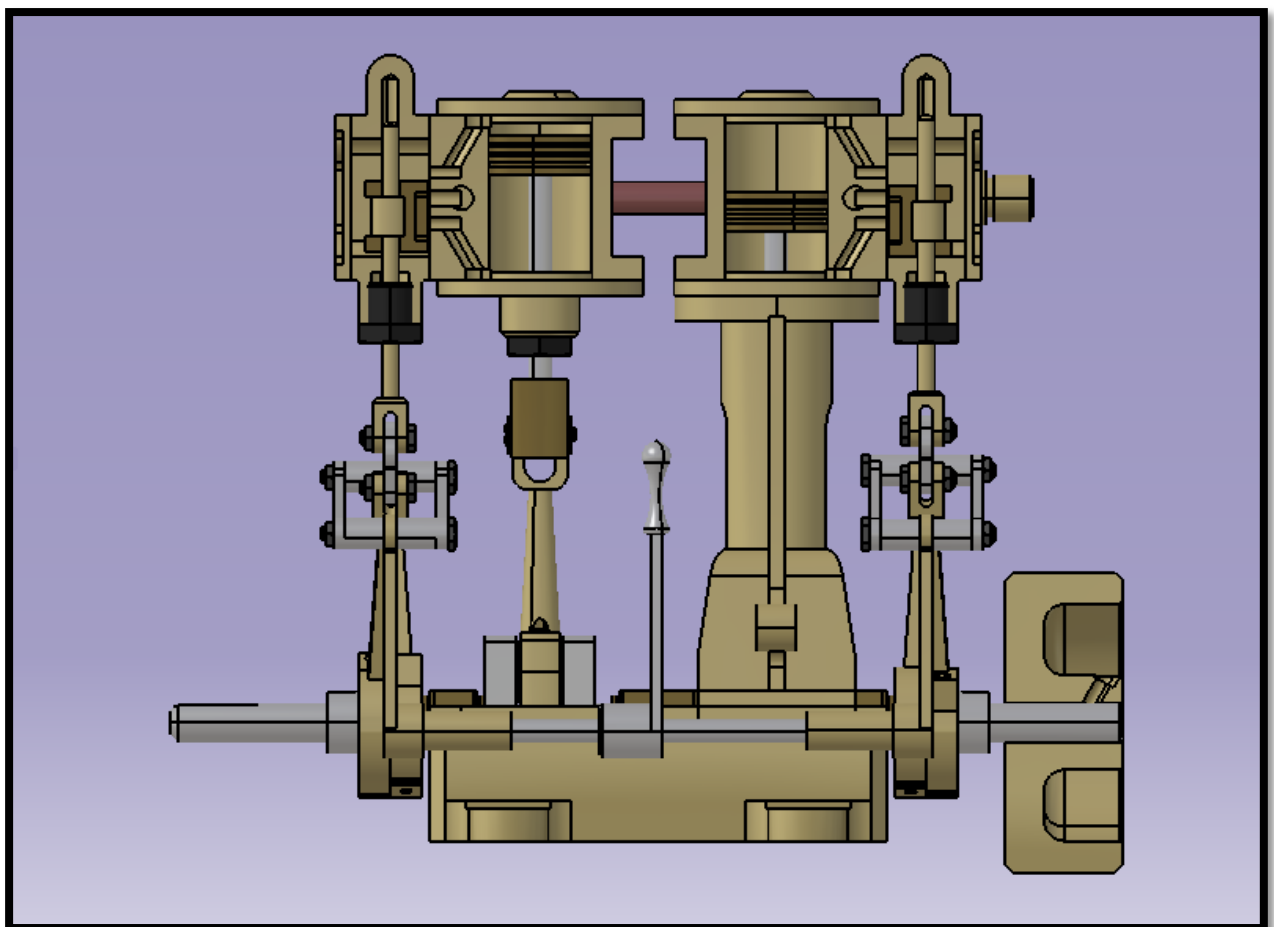


Figura 4-5. Vista de alzado del motor en CATIA

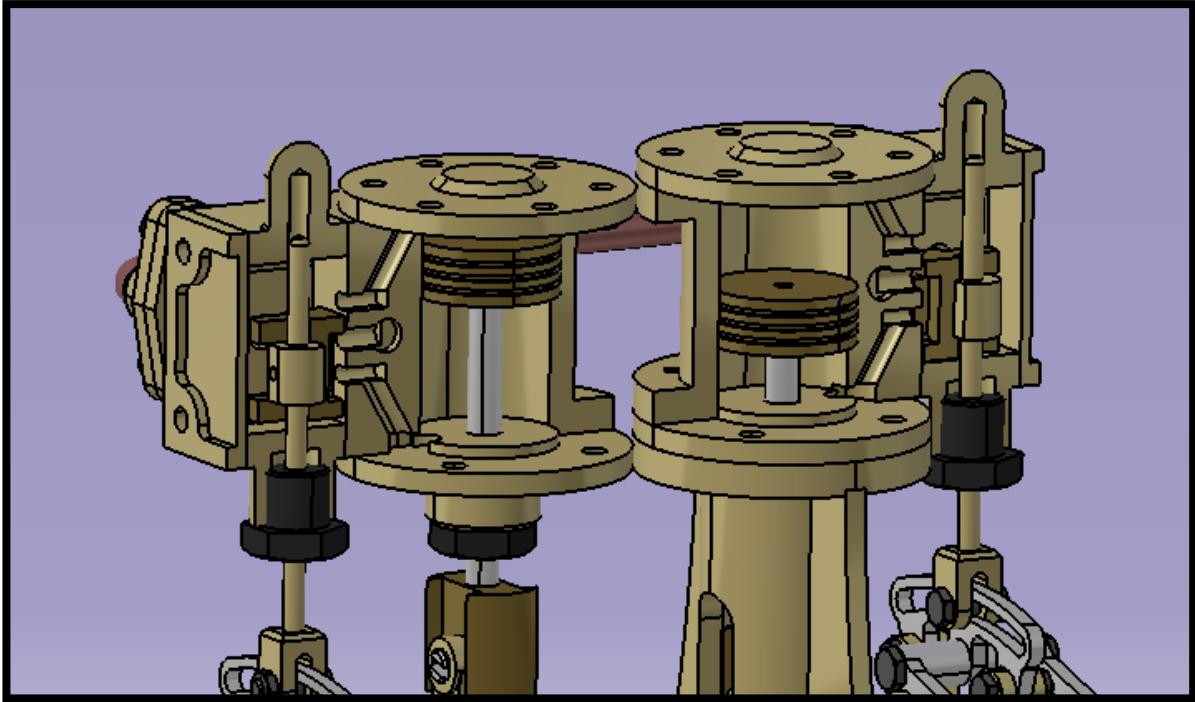


Figura 4-6. Parte superior del conjunto + corte en XZ

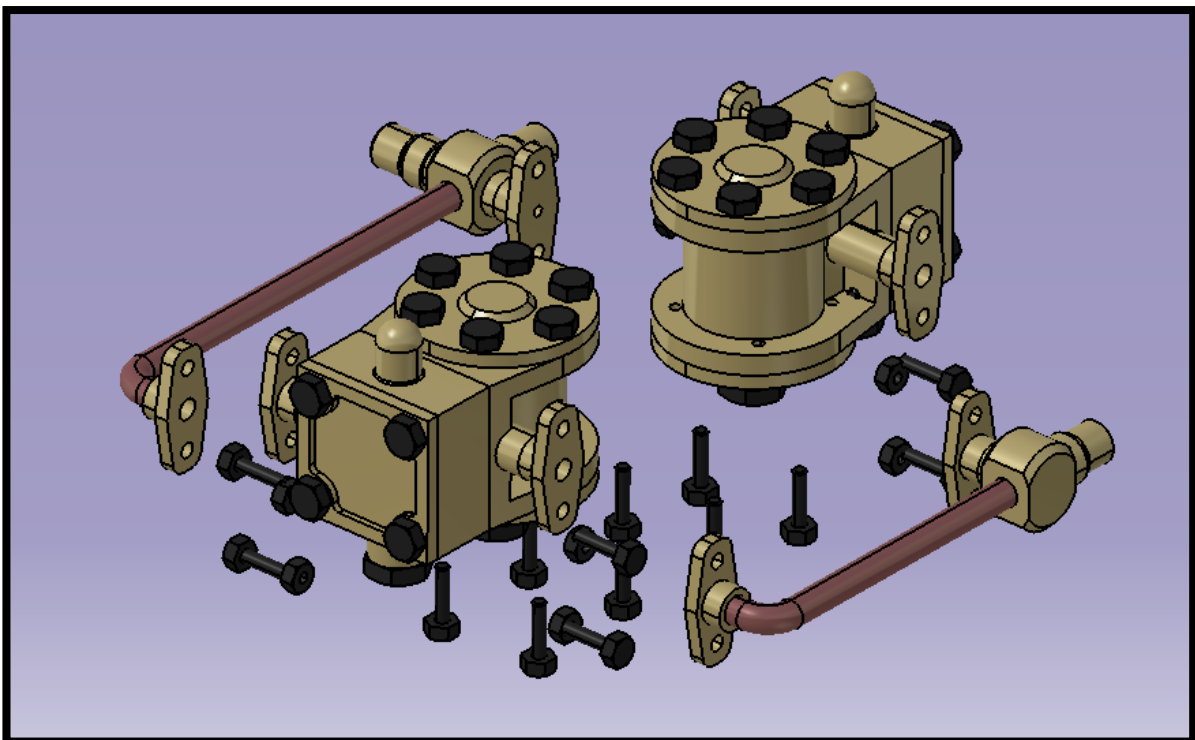


Figura 4-7. Vista explosionada de la parte superior del motor

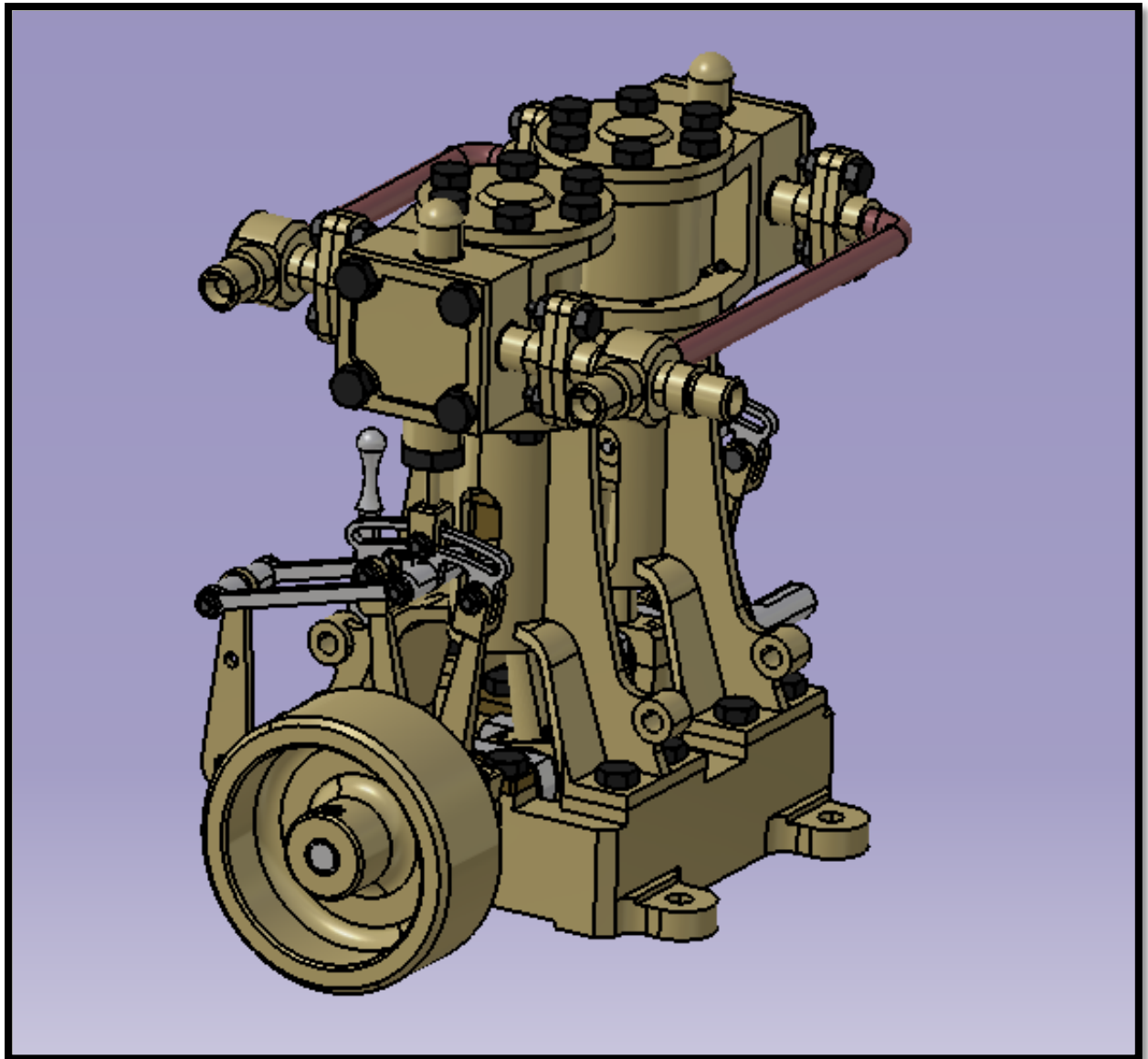


Figura 4-8. Vista en 3D de la parte posterior del motor

5 CONCLUSIONES

El modelado del motor de vapor ha dejado una serie de conclusiones clave que conviene aclarar para una posible elaboración de futuros proyectos. En primer lugar, los planos están basados en la construcción de una maqueta pequeña (a escala 1:10) en latón (en su mayoría), sin ningún estudio basado en la eficiencia termodinámica del motor. Por lo que, la elaboración de un modelo real del motor, conllevaría a realizar un estudio termodinámico para así poder aprovechar la máxima eficiencia, y por ende la máxima potencia del motor.

Asimismo, faltarían por modelar elementos que resultan esenciales para el funcionamiento del motor, como son las calderas de vapor, ciertas válvulas, reguladores, etc., y que por falta de tiempo no se han podido realizar. Además de un modelado completo del propio barco, aunque no se disponía de los planos referentes al buque Léchalas.

El motor a escala dispone de una cilindrada de 6 centímetros cúbicos, con un peso de 0,873kg, una superficie de 30,16 cm² y con un volumen de 107,7 cm³. Aunque es totalmente funcional, se entiende que su uso sea exclusivo para exposición, pero esto no resta la complejidad de las piezas para la realización de su modelado. Sobretodo, al disponer de muchas piezas involucradas en su cinemática, ha resultado complejo su representación en el software, aunque finalmente se ha logrado con una buena precisión.

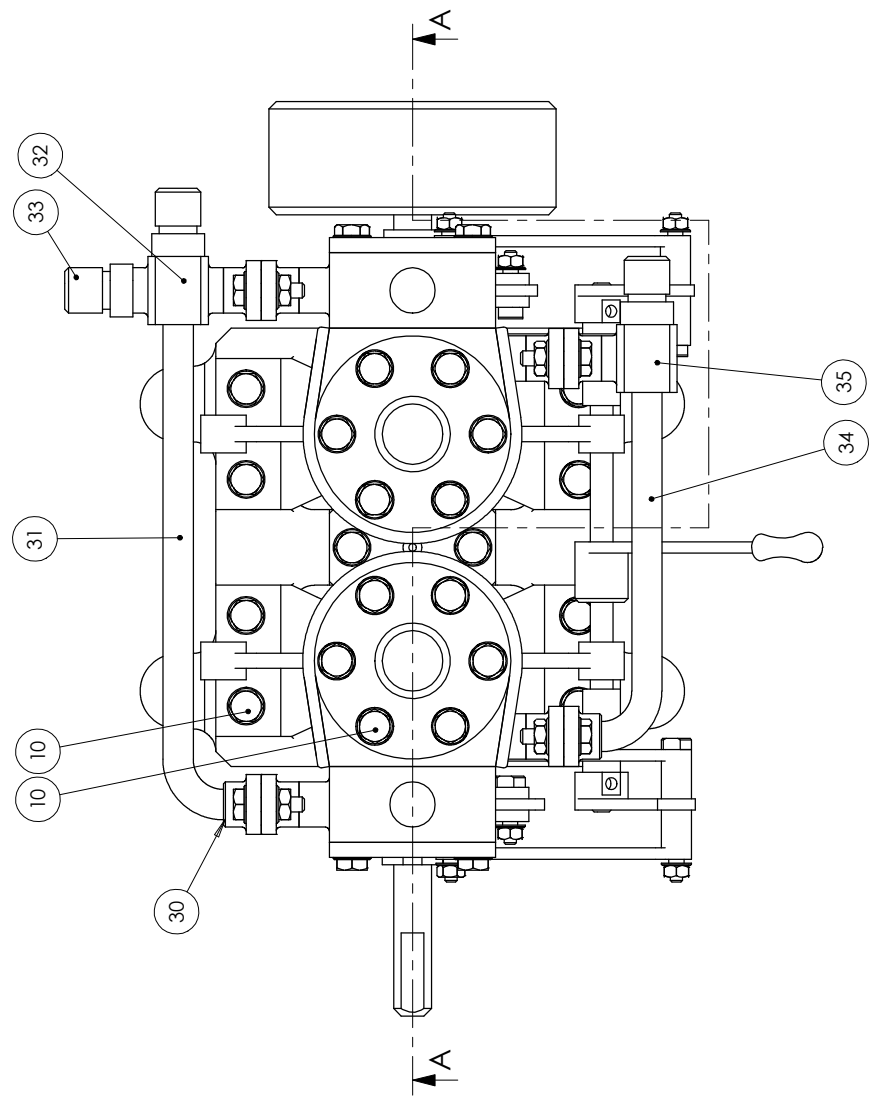
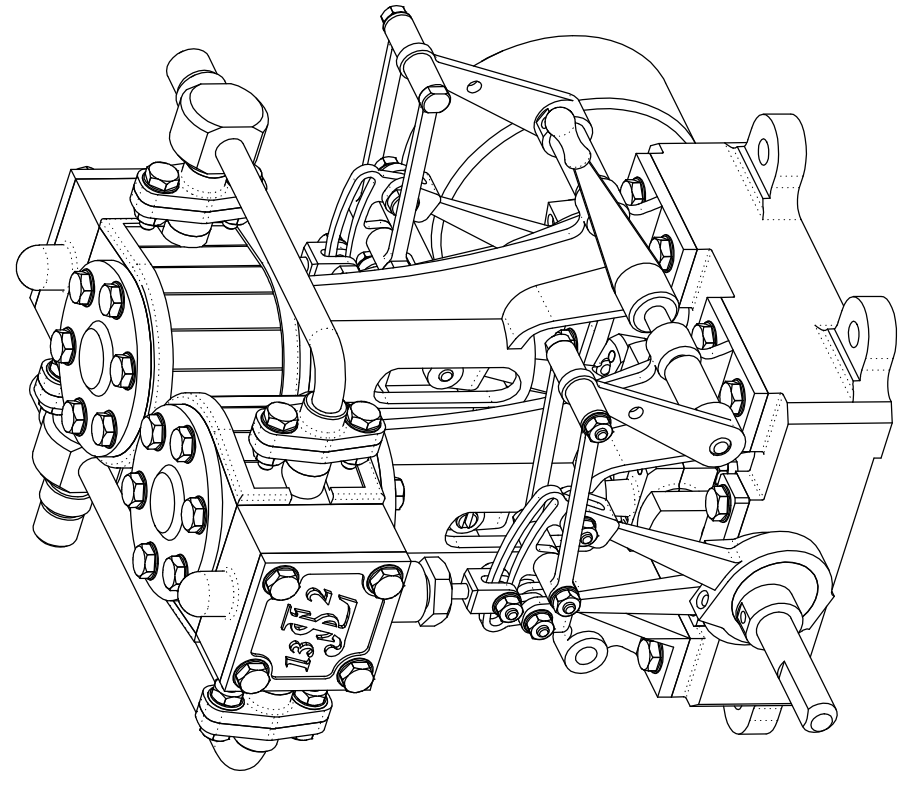
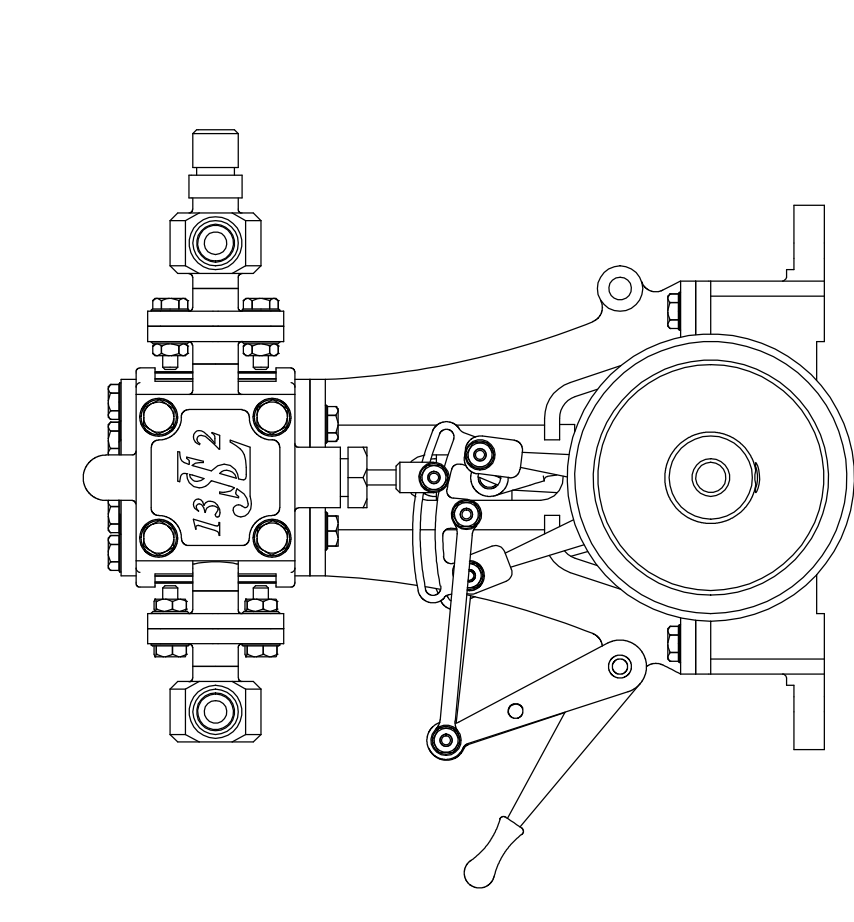
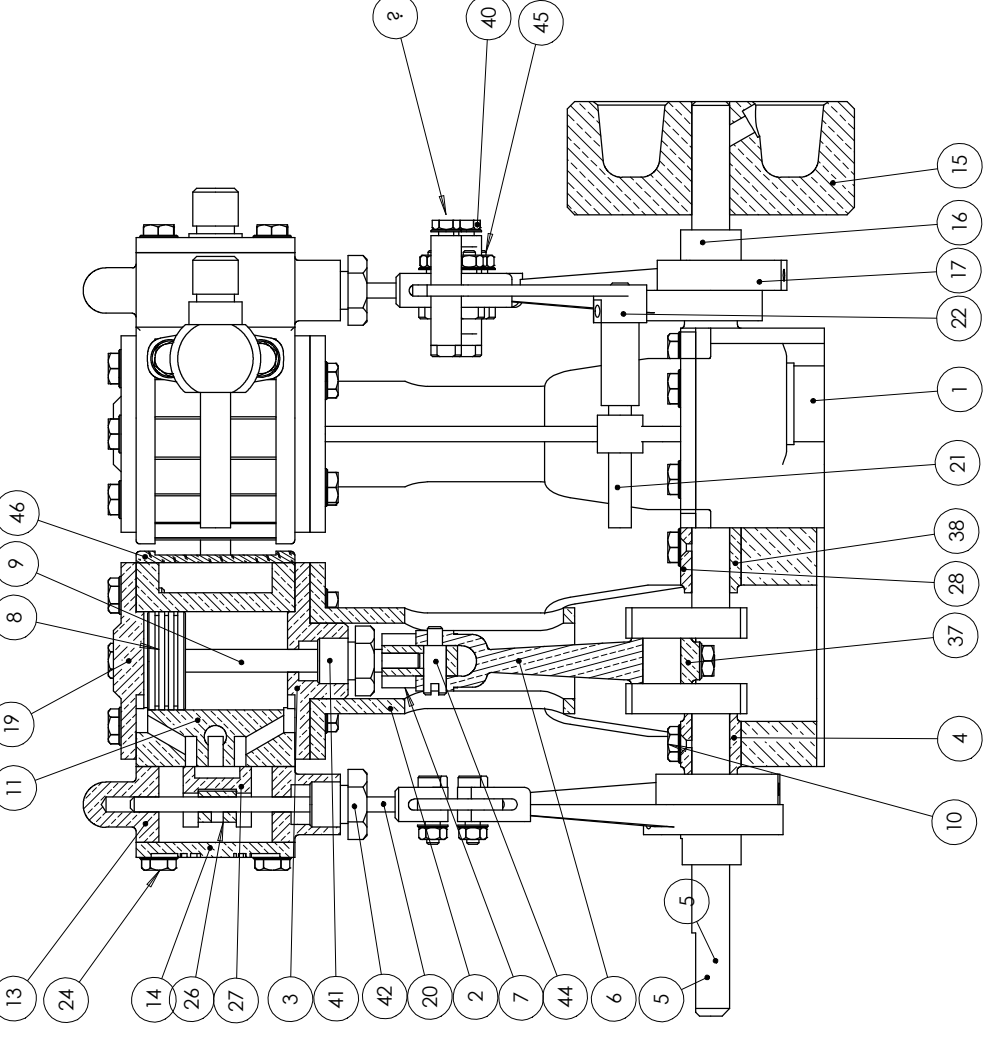
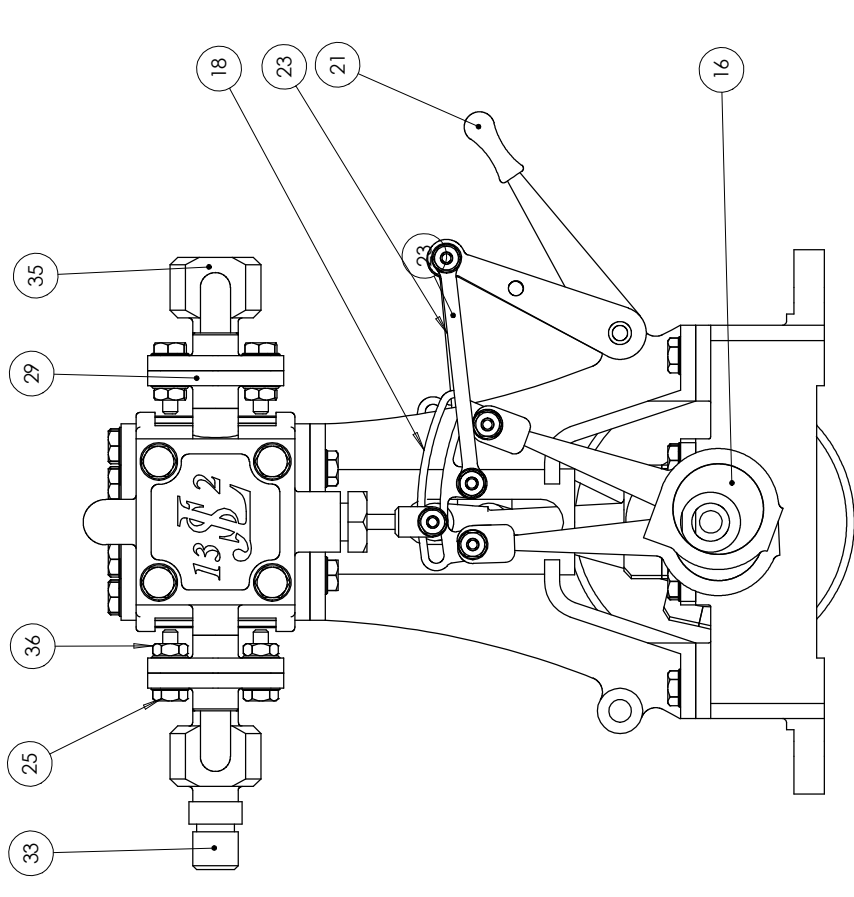
Sin embargo, resultaría interesante un modelado del conjunto sin aplicar escala con su posterior estudio termodinámico para conseguir así la máxima eficiencia posible. Además de un posible estudio a fatiga para realizar una mejor elección de los materiales utilizados, sin exceder demasiado en costes. Por lo que, resultaría interesante para un proyecto futuro realizar estudios más profundos para una posible construcción de dicho motor.

Por otro lado, se ha llevado a cabo la impresión 3D de algunas de las partes móviles del motor para poder demostrar que su mecanismo realiza correctamente el movimiento de biela-manivela. De esta manera, se puede cerciorar que el modelado es correcto.

Para concluir, resulta importante recalcar el uso de CATIA para la realización de este proyecto, el cual me ha servido de mucho para aprender más sobre este software y de la importancia que tiene para el mundo de la ingeniería mecánica.

6 ANEJO: PLANOS

En este apartado se mostrará todos los planos del motor de vapor que han servido para realizar este proyecto. Como se dijo en apartados anteriores, todas las medidas proporcionadas por los planos están realizadas a escala 1:10.



Rep Qte	Désignation	Matière	Observations	N° Plan
1	Bati Peint	Laiton	Peinture	MV-003
2	Glissière Peinte	Laiton	Peinture	MV-006
3	Culasse Inférieure	Laiton		MV-004
4	Palier Extérieur	Bronze	Autolubrifiant	MV-009
5	Vibrequin	Inox		MV-009
6	Bielle	Laiton		MV-008
7	Coulisseau	Bronze		MV-008
8	Piston	Bronze		MV-008
9	Tige Piston	Inox		MV-008
10	26 Vis HM2-06	Laiton		MV-002
11	Cylindre	Laiton		MV-002
12	Cylindre Sym	Laiton		MV-002
13	Boîte Vapeur	Laiton		MV-004
14	Couvercle	Laiton	Gravure chimique	MV-004
15	Volant	Laiton		MV-009
16	Excentrique	Laiton		MV-009
17	4 Bielle Distribution	Inox		MV-007
18	2 Coulisse	Inox		MV-007
19	2 Culasse Supérieure	Laiton		MV-004
20	2 Tige Distribution	Inox		MV-007
21	1 Commande Distribution	Inox		MV-007
22	2 Bielle Commande	Laiton		MV-007
23	4 Bielle Coulisse	Inox		MV-007
24	8 Vis HM2-16	Laiton		MV-007
25	16 Vis HM2-08	Laiton		MV-007
26	2 Tiroir Bague	Laiton		MV-007
27	2 Tiroir	Laiton		MV-007
28	1 Palier Intérieur Sup	Bronze	Autolubrifiant	MV-009
29	Bride Moteur	Laiton		MV-005
30	2 Bride Tube 4x3	Laiton		MV-005
31	1 Tube Admission	Cuivre	Tube 4x3	MV-005
32	1 Collecteur Admission	Laiton		MV-005
33	3 Raccord D6	Laiton		MV-005
34	1 Tube Echappement	Cuivre	Tube 4x3	MV-005
35	1 Collecteur Echappement	Laiton		MV-005
36	12 Ecrou HM2	Laiton		MV-005
37	2 Pied de Bielle	Laiton		MV-008
38	1 Palier Intérieur Inf	Bronze		MV-009
39	4 Axe Bielle	Inox		MV-007
40	10 Ecrou HM1.6	Laiton		MV-004
41	2 Presse Etoupe D3	Laiton		MV-004
42	2 Presse Etoupe D2	Laiton		MV-004
43	4 Tige M2-12	Inox	Pied de bielle	MV-004
44	2 Axe Tête de Bielle	Inox		MV-008
45	6 Axe Coulisse	Inox		MV-007
46	2 Catorifuge	Laiton + Bois		MV-007



Moteur à vapeur bicylindre modèle JLS 13-2

Echelle 1/1

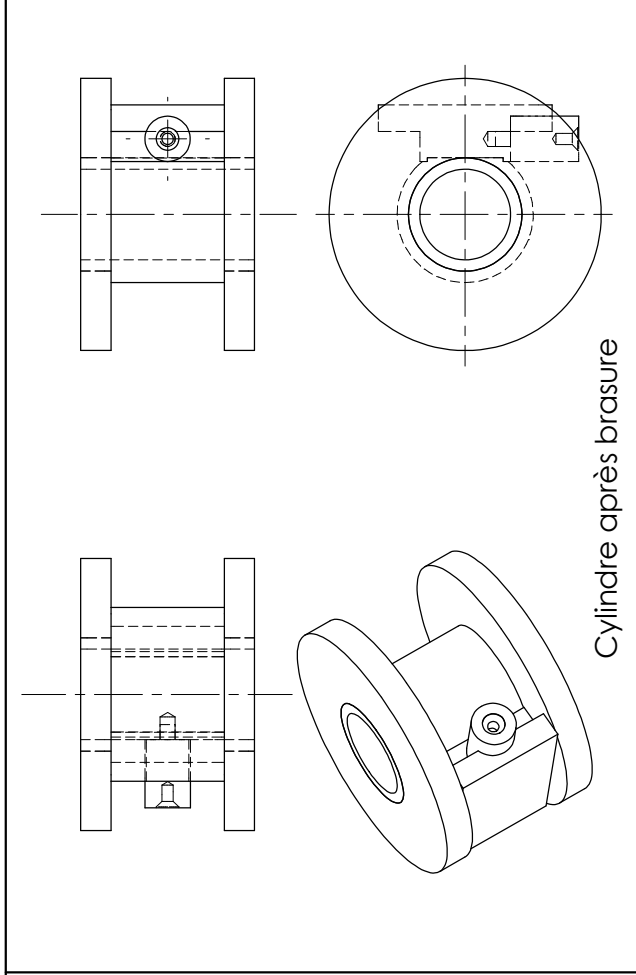
Novembre 2000

ENSEMBLE - Projet 0

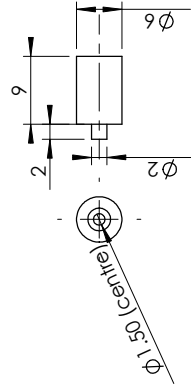
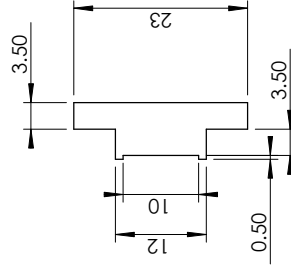
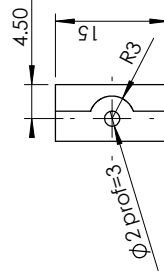
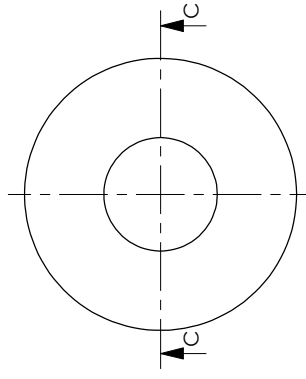
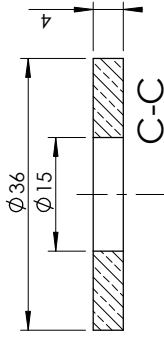
© J.L. Soumard - Commercialisation interdite.

Indice a = modifications du 14-08-02

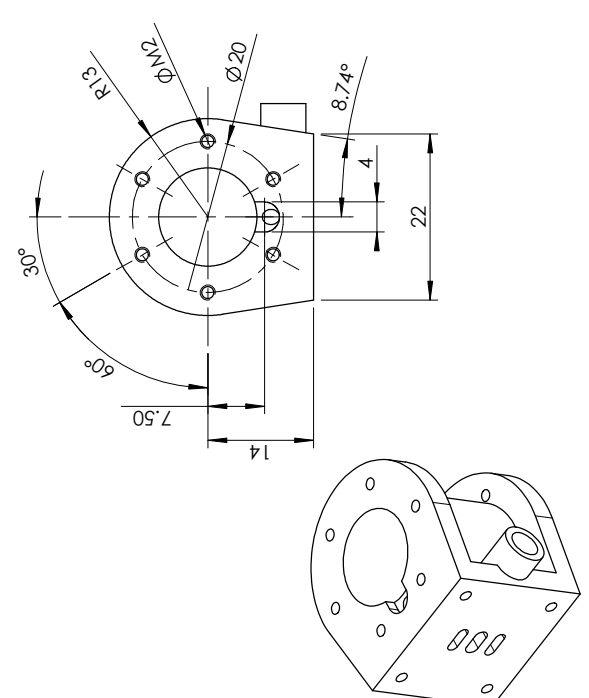
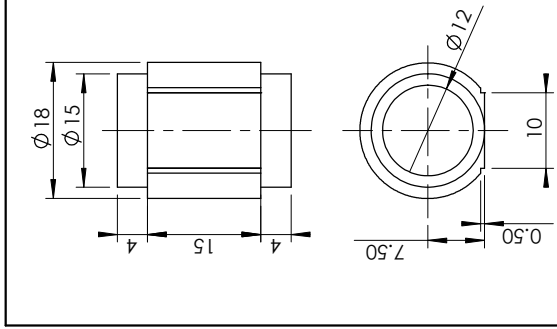
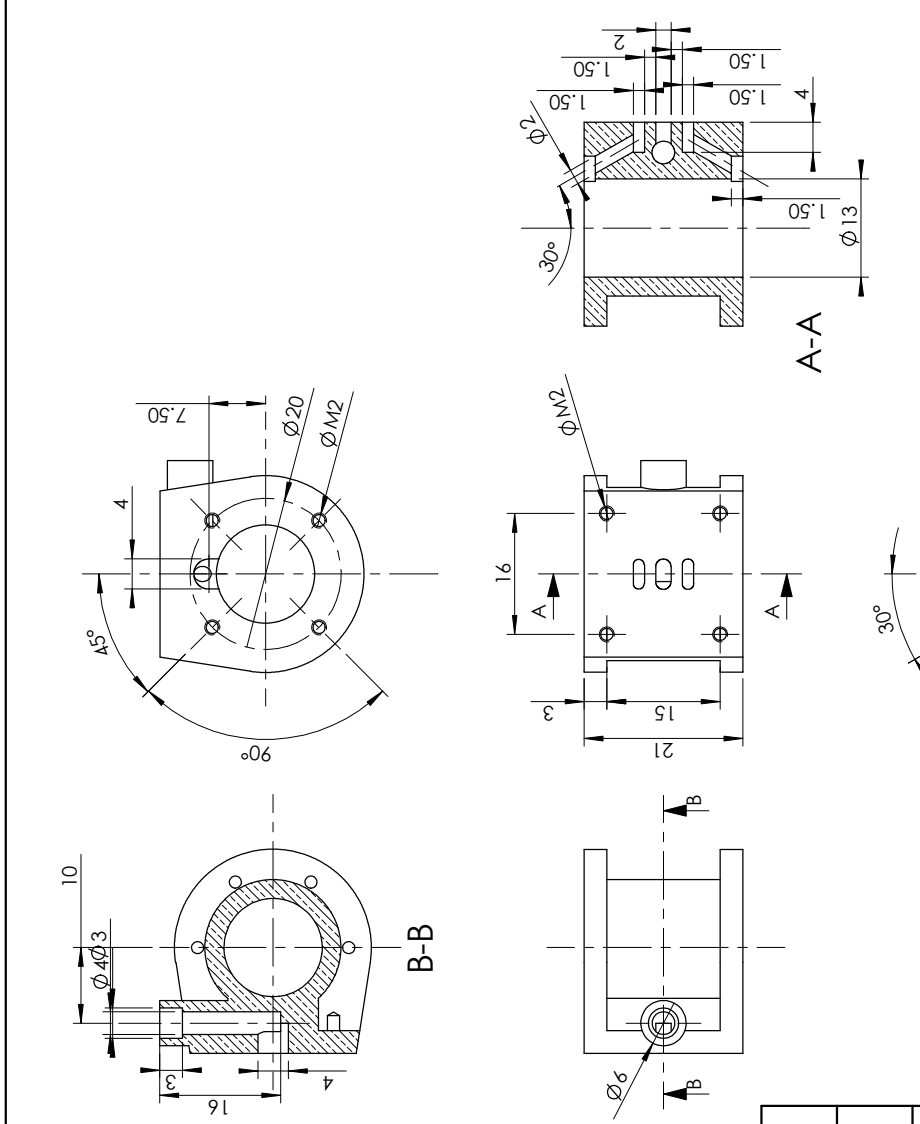
Cette distance représente 100mm



Cylindre après brasure



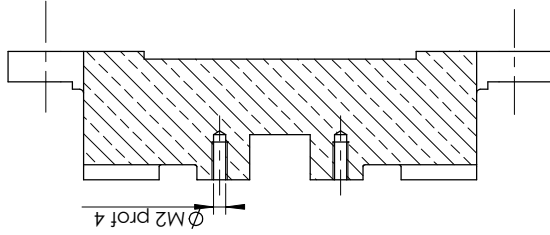
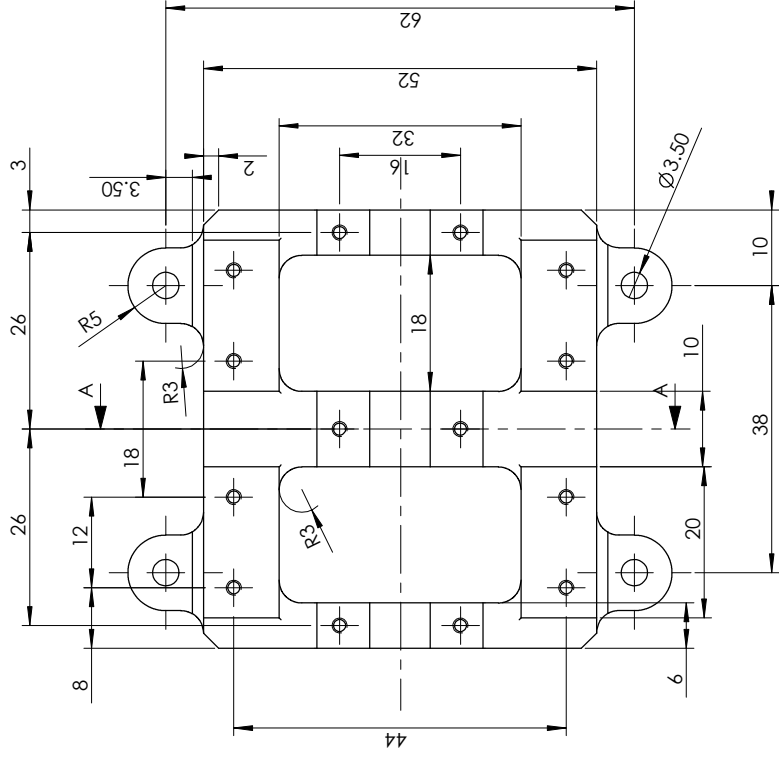
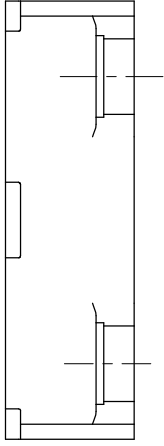
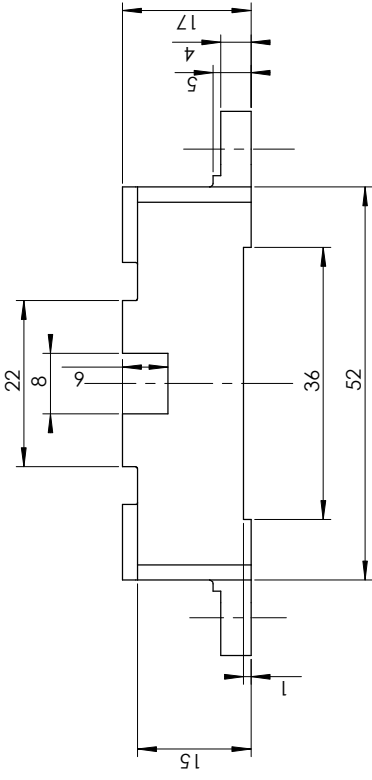
Pré-usinages avant brasure



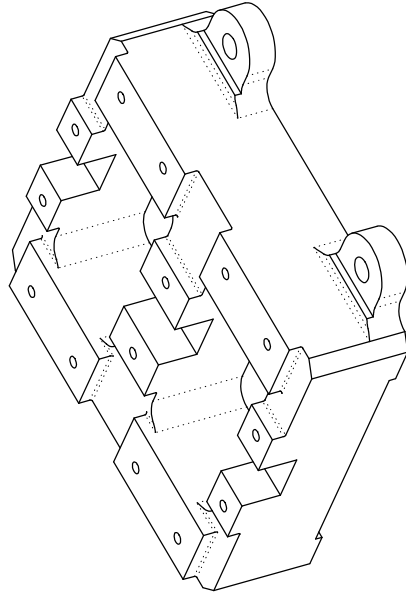
Cette distance représente 100mm



Moteur à vapeur bicylindre modèle JLS 13-2
CYLINDRE (Rep 11 ; 12)
 (2 pièces symétriques)
 © J.L Soumard - Commercialisation interafric.
 Echelle 1/1
 Janvier 2001
MV-002



A-A



Moteur à vapeur bicylindre modèle JLS 13-2

BATI (Rep I)

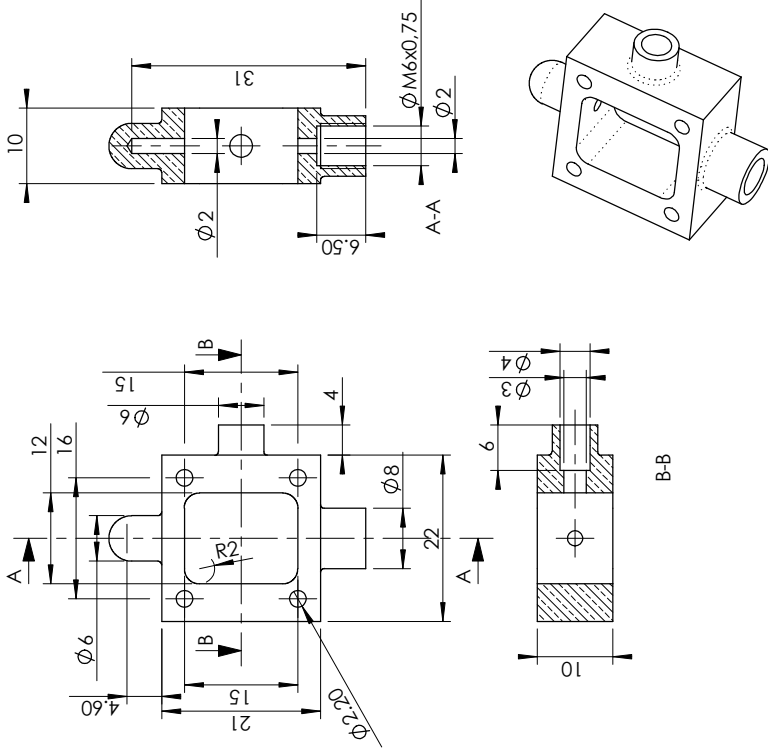
© J.L Soumard - Commercialisation interdite.

Echelle 1/1

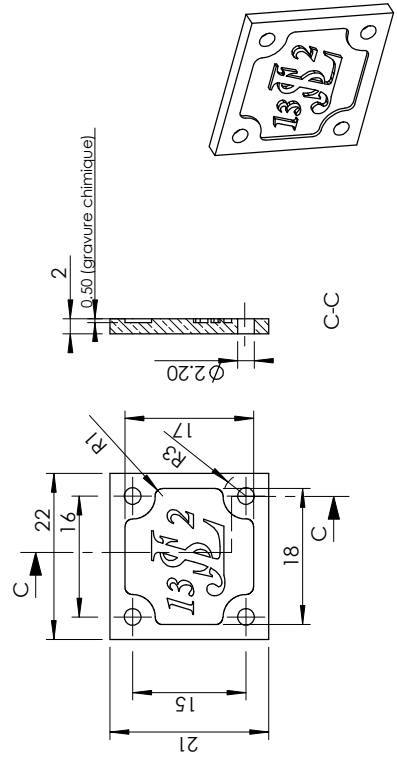
Novembre 2000

MV-003

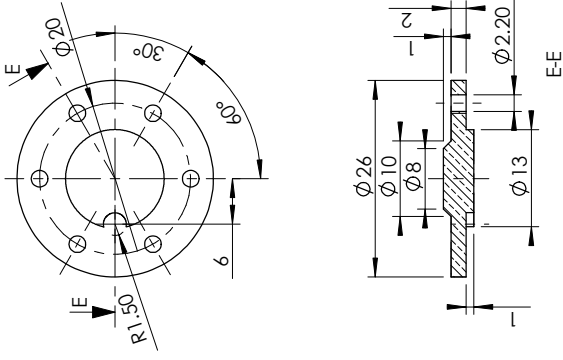
Cette distance représente 100mm



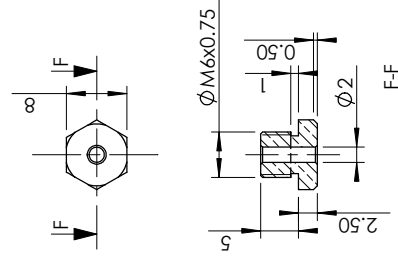
Boite à vapeur (Rep 13)



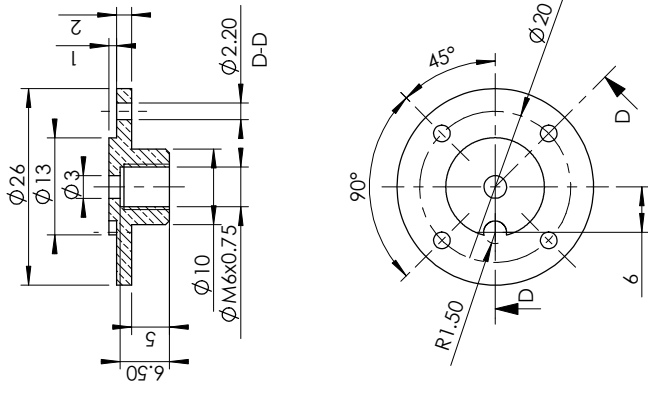
Couvercle gravé (Rep 14)



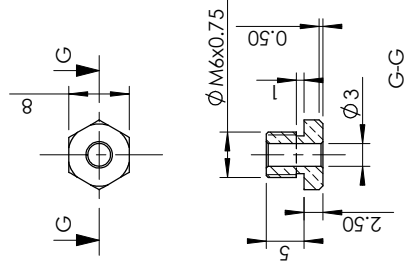
Culasse Supérieure (Rep 19)



Pressé étoupe $\phi 2$ (Rep 42)



Culasse Inférieure (Rep 3)



Pressé étoupe $\phi 3$ (Rep 41)



Moteur à vapeur bicylindre modèle JLS 13-2

**BOITE A VAPEUR
CULASSES**

© J.L. Soumard - Commercialisation interdite.

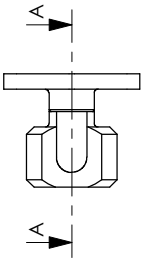
Echelle 1/1

Octobre 2000

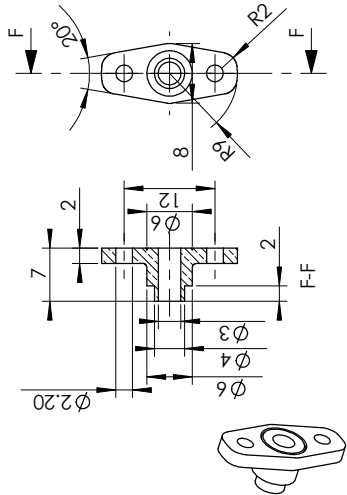
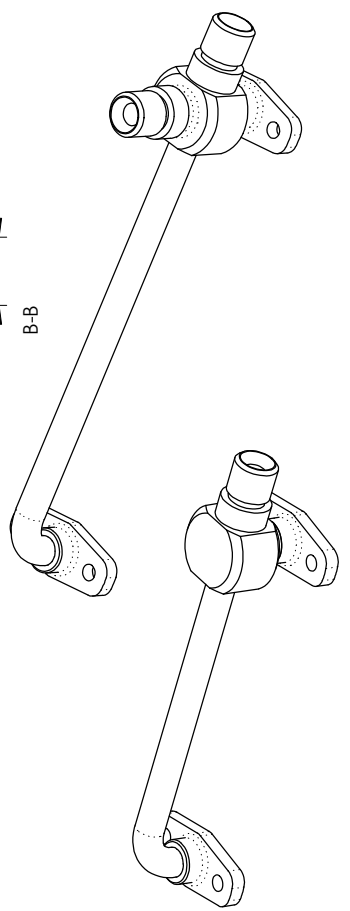
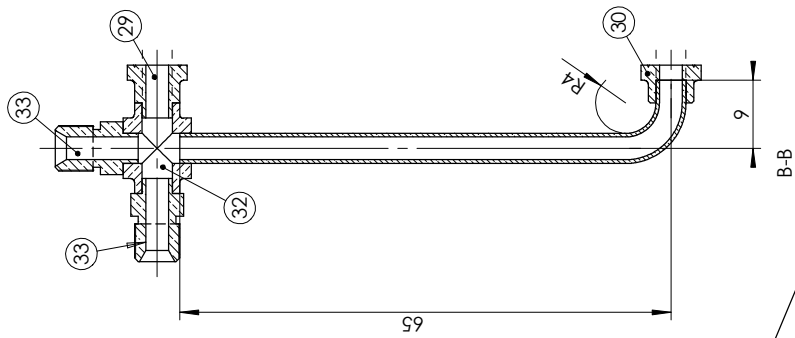
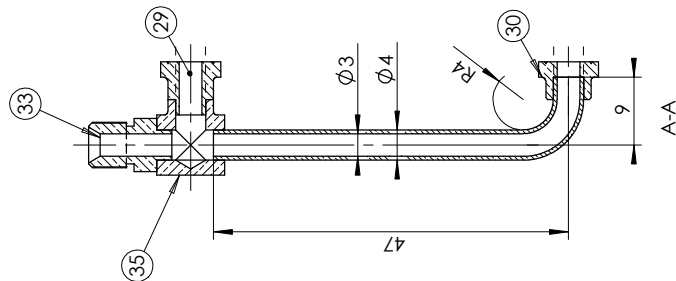
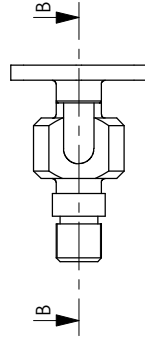
MV-004

Cette distance représente 100mm

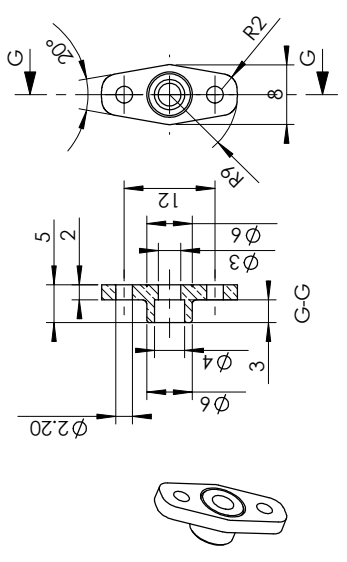
Echappement



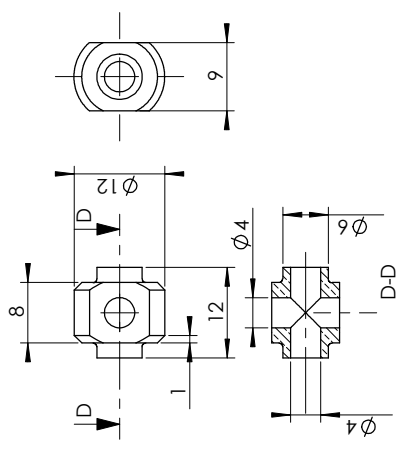
Admission



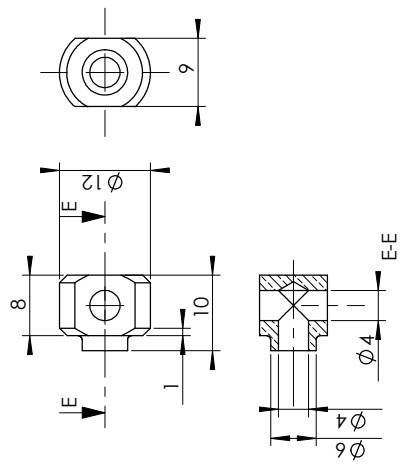
Bride Moteur Rep 29



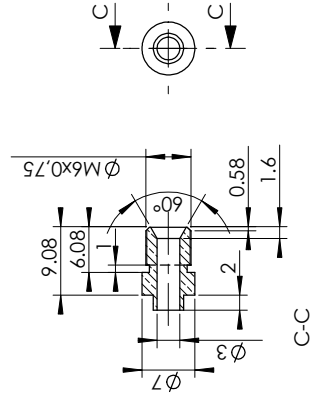
Bride pour tube Ø4x3 Rep 30



Collecteur Admission Rep 32



Collecteur Echappement Rep 35



Raccord Ø6 Rep 33



Moteur à vapeur bicylindre modèle JLS 13-2

TUYAUTERIES

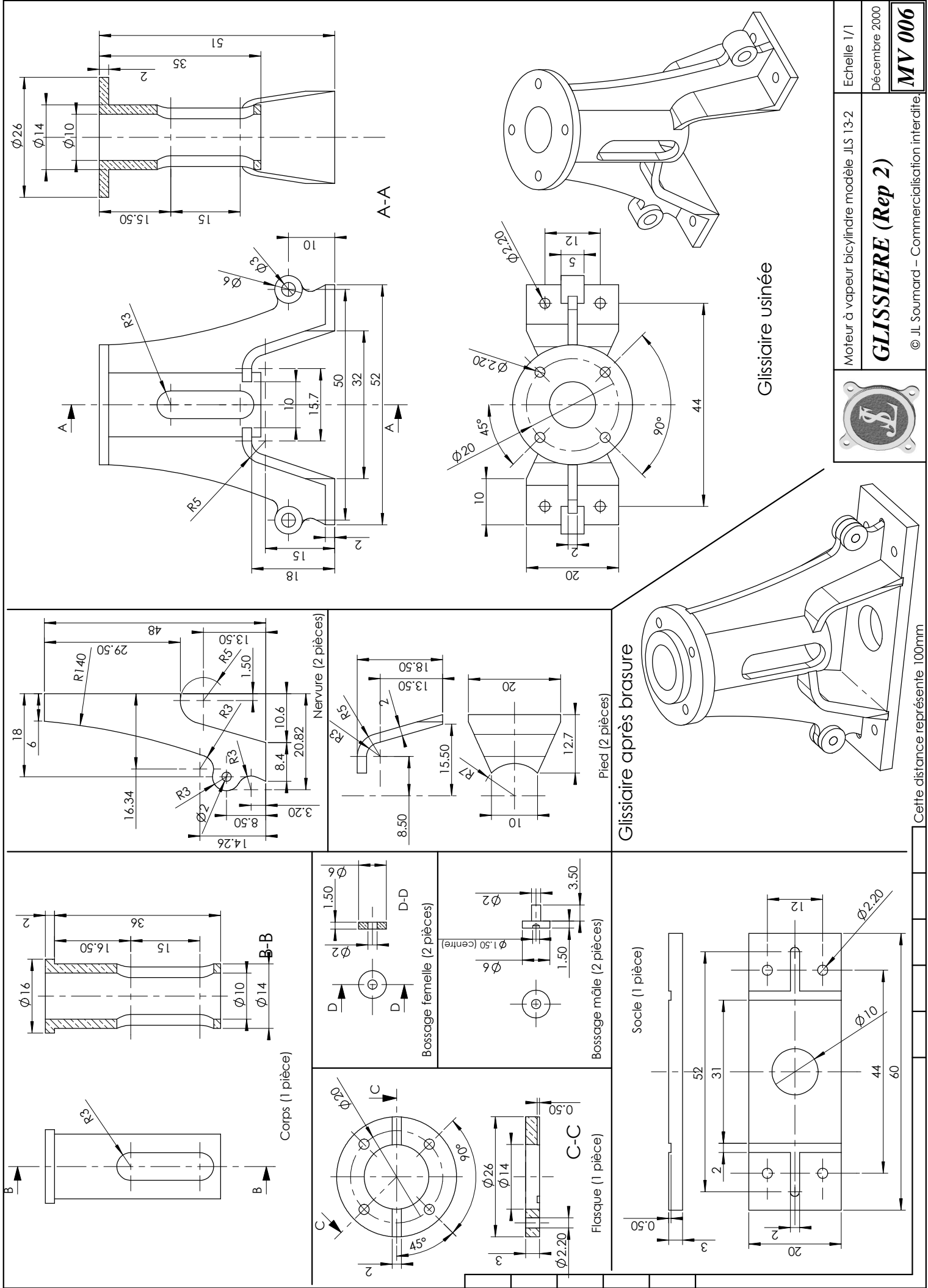
© JL Soumard – Commercialisation interdite.

Echelle 1/1

Novembre 2000

MV-005

Cette distance représente 100mm



Moteur à vapeur bicyclette modèle JLS 13-2

GLISSIERE (Rep 2)

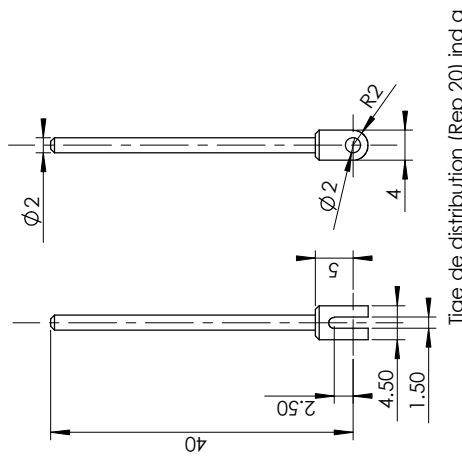
Echelle 1/1

Décembre 2000

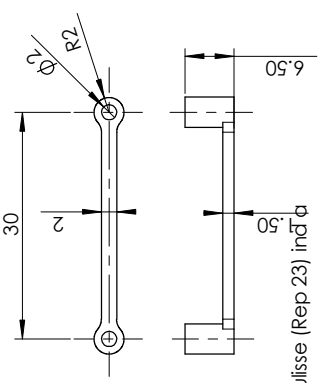
MV 006

© JL Soumard - Commercialisation interdite

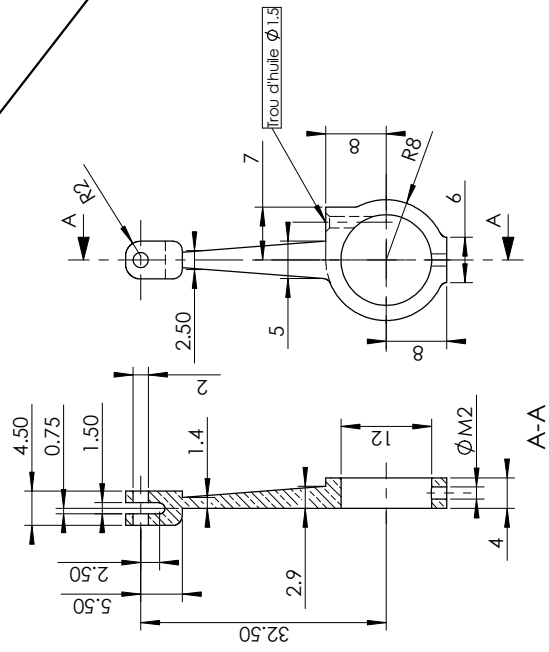
Cette distance représente 100mm



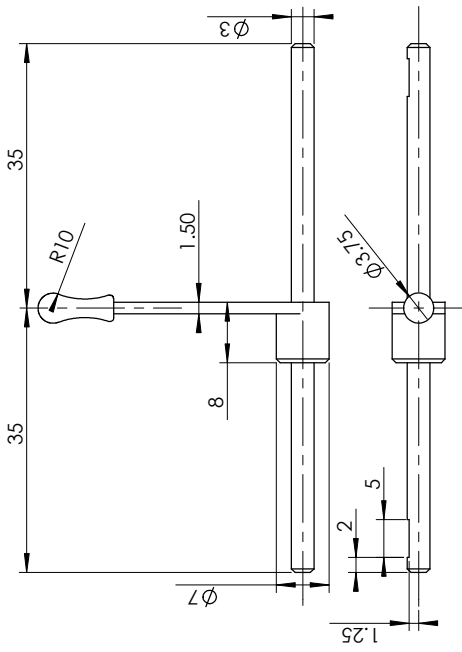
Tige de distribution (Rep 20) ind a



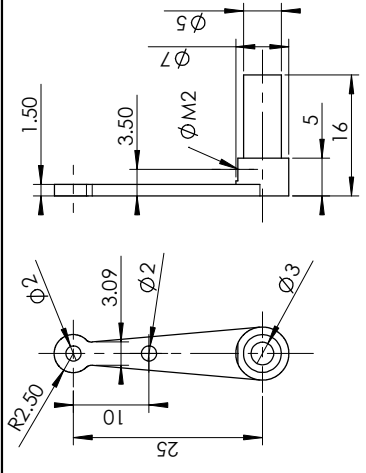
Biellette coulisse (Rep 23) ind a



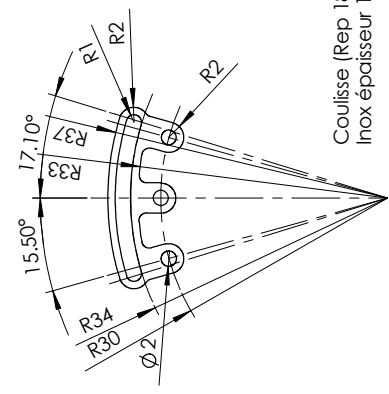
Biellette de distribution (Rep 17) ind a



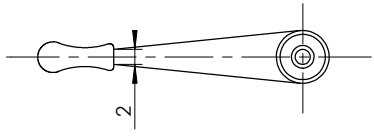
Commande de distribution (Rep 21)



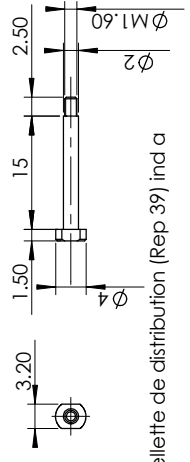
Biellette de commande (Rep 22)



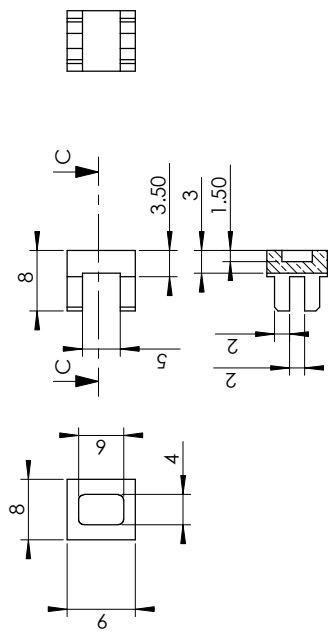
Coulisse (Rep 18) ind a
Inox épaisseur 1,5



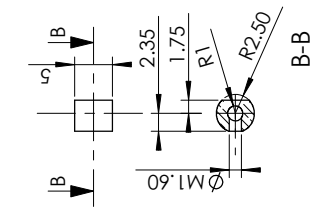
Axe de coulisse (Rep 45)



Axe de bielle de distribution (Rep 39) ind a



Tiroir (Rep 27)



Bague de tiroir (Rep 26)



DISTRIBUTION

© J.L. Soumard – Commercialisation interdite.

Indice a : modifications du 14-08-2002

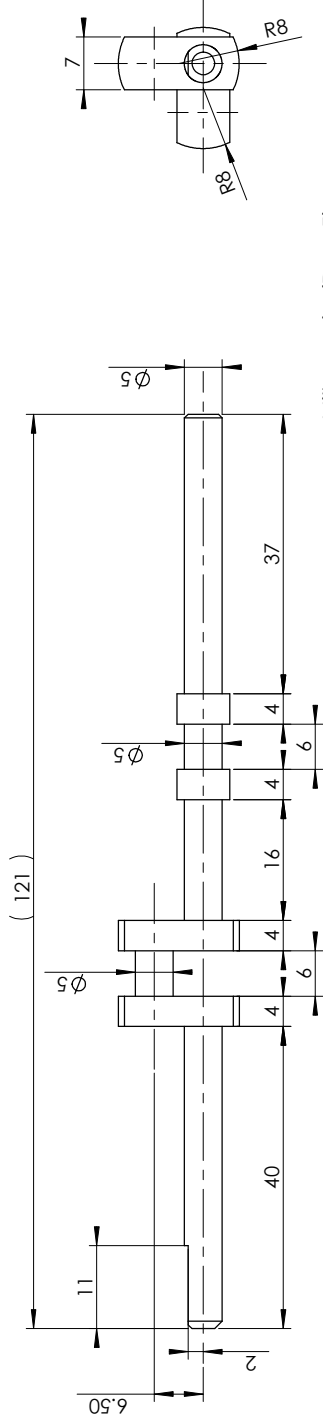
Moteur à vapeur bicylindre modèle JLS 13-2

Echelle 1/1

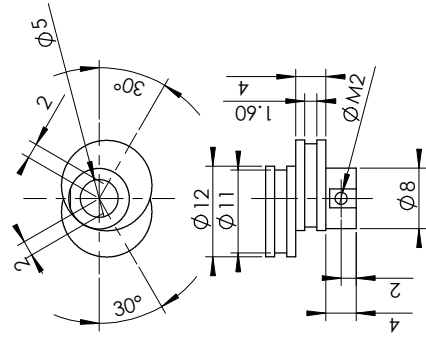
Janvier 2001

MV-007a

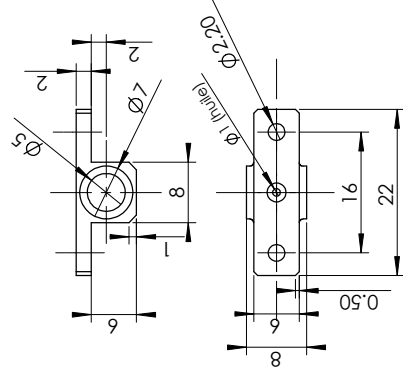
Cette distance représente 100mm



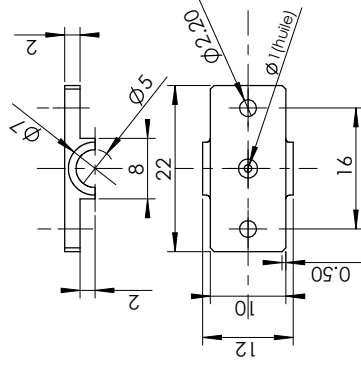
Vilbrequin (Rep 5)



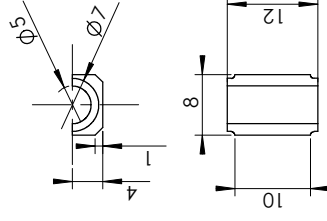
Excentrique (Rep 16)



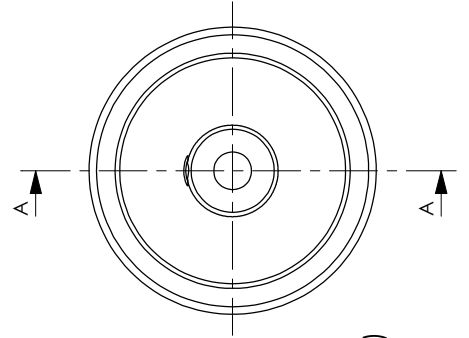
Palier Extérieur (Rep 4)



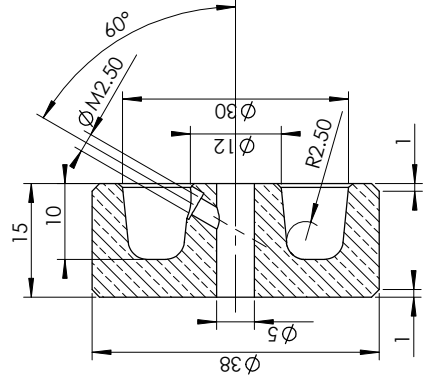
Palier Intérieur Supérieur (Rep 28)



Palier Intérieur Inférieur (Rep 38)



Volant (Rep 15)



A-A

Cette distance représente 100mm

Moteur à vapeur bicylindre modèle JLS 13-2

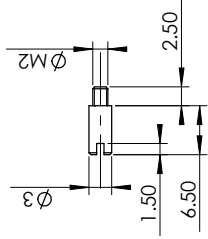
Echelle 1/1

Janvier 2001

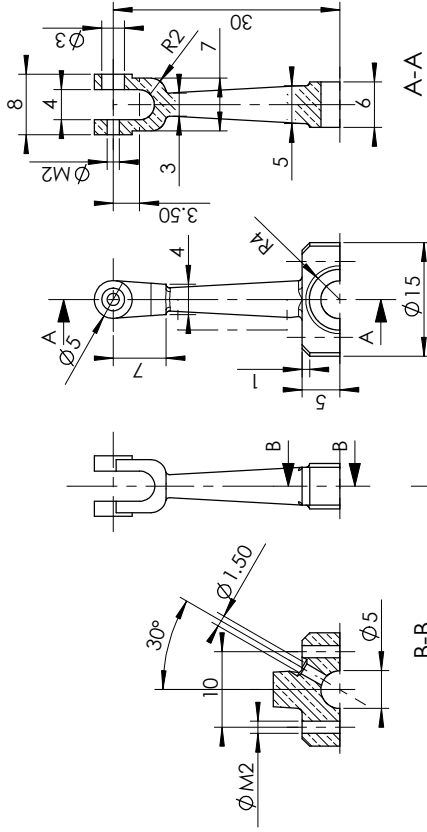
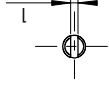
MV-009



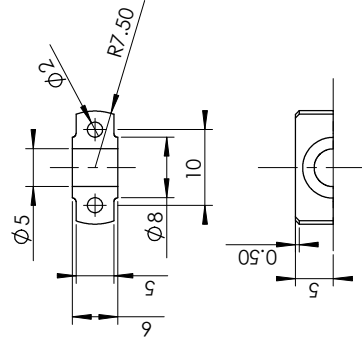
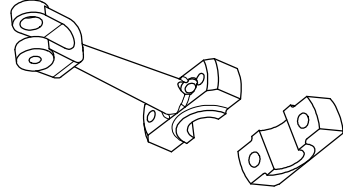
LIGNE D'ARBRE
© JL Soumard – Commercialisation interdite.



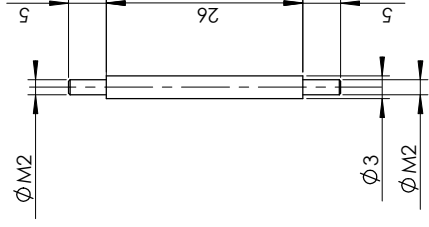
Axe de Tête de Bielle (Rep 44)



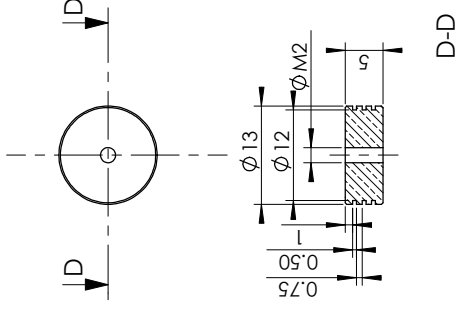
Bielle (Rep 6)



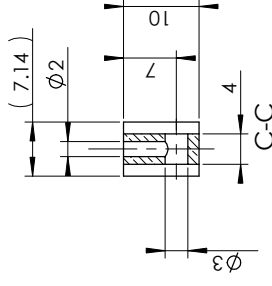
Pied de Bielle (Rep 37)



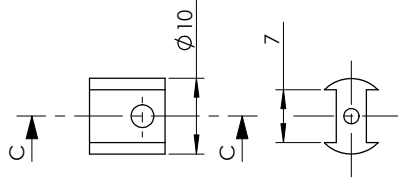
Tige de piston (Rep 9)



Piston (Rep 8)



Coulisseau (Rep 7)



Moteur à vapeur bicylindre modèle JLS 13-2

EMBIELLAGE et PISTON

© J.L. Soumard – Commercialisation interdite.

Echelle 1/1

Janvier 2001

MV-008

Cette distance représente 100mm

REFERENCIAS

- [1] Kuang-Hua Chang, “E – Design, computer-Aided Engineering Design”.
- [2] <https://www.3ds.com/es/acerca-de-3ds/historia/1981-1997/>
- [3] Francis C. Moon, “Social Networks in the History of Innovation and Invention”.
- [4] María Gloria del Rio Cidoncha, María Eugenia Martínez Lomas, Juan Martínez Palacios, Silvia Pérez Díaz, “El libro de Catia V5”.
- [5] <http://jean-luc.soumard.pagesperso-orange.fr/bicylindre.htm#prochainement>
- [6] Juan Luis Cifuentes Lemus, Pilar Torres García, Marcela Frías, “El océano y sus recursos VIII. El aprovechamiento de los recursos del mar”.
- [7] <http://www.abpn-nantes.com/pages/les-navires-de-l-abpn/vedette-des-ponts-et-chaussees-le-lechallas-premier-navire-fluvial-classe-monument-historique.html>