

Diseño de la coquilla para fundición de pistones Yuchai

Tania María Pérez-Sajudo

Universidad de Pinar del Río
Departamento de Ingeniería Mecánica
Calle A, entre 2da y 5ta,
reparto 26 de Julio, Pinar del Río.
CUBA

Tel. +(53)54735372
correos electrónicos (email):
tsanjudo@gmail.com,
taniap@upr.edu.cu

Recibido 31-07-2018, aceptado 30-11-2018.

Resumen

Cuba a través de sus años de revolución ha cruzado por una economía abierta y dependiente de sus relaciones económicas externas, no estando exonerada de los impactos de la crisis que se han manifestado en la inestabilidad de los precios de los productos que intercambia. Debido a esto y como parte de la reorganización de la industria metalmeccánica, la fundición de pistones que estuvo enclavada en el Cerro-La Habana, pasó a Pinar de Río a la entidad llamada Empresa Integral de Servicios Automotores (EISA), quien asume el reto de continuar la fundición de este importante elemento de máquina, para lo cual debía dotarse de las herramientas necesarias. Para lograr este objetivo se propuso una tecnología para la fundición de pistones Yuchai en moldes metálicos, contribuyendo así a cumplir junto a la compañía su encargo social, al sustituir importaciones en la importante tarea de la remotorización y recuperar el transporte automotor.

Palabras clave: pistón Yuchai, fundición, moldes metálicos.

Abstract (Yuchai Piston Casting Mold Design)

Cuba through its years of Revolution has crossed by an open economy and dependent on its external economic relations, not being exempt from the impacts of the crisis that have manifested in the instability of the prices of the products that it exchanges. Due to this and as part of the reorganization of the Metal-Mechanical Industry, the piston smelter that was located

in Cerro-La Habana, went to Pinar de Río to the entity called Integral Company of Automotive Services (EISA), who assumes the challenge of continuing the casting of this important machine element, for which it had to equip itself with the necessary tools. To achieve this goal, a technology for the casting of Yuchai pistons in metal molds was proposed, thus contributing to fulfill the social commitment with the company, by substituting imports in the important task of remotorization and recovering automotive transport.

Index terms: Yuchai piston, cast iron, metal molds.

1. Introducción

Desde el año 2005, en Cuba, se evidenciaron las limitaciones de la economía para enfrentar el déficit de la cuenta financiera de la balanza de pagos, las retenciones bancarias de transferencias al exterior y el elevado monto de los vencimientos de la deuda, todo lo que significó una gran tensión en el manejo de la economía. En enero del 2012 en el Sexto Congreso del Partido se tomaron como acuerdos o lineamientos, poner en práctica algunos cambios que favorecieran la economía dentro del país. Se pusieron entonces en práctica un importante grupo de inversiones industriales de carácter estratégico en cuanto al desarrollo del país. Cada una de estas se introdujeron dentro las empresas e instituciones, priorizando las que fuesen potencias productoras en cada provincia. Como un ejemplo eficaz de esto se encontraba la empresa fundada el 1 de enero de 1983, en su forma abreviada EISA Pinar actualmente integrada al Grupo Industrial Automotriz (UNECAMOTO), subordinada al Ministerio de la Industria Sidero-Mecánica (SIME), con nombre comercial ALMEC.

Esta fue creada con la finalidad de producir piezas de repuestos para la disminución de las importaciones de las mismas. Para cumplir con su objeto social, la empresa cuenta entre otros locales con un taller de fundición con la siguiente tecnología de trabajo: un horno de fusión, capacidad de 500 kg, tres hornos eléctricos de crisol con una capacidad de 250 kg cada uno, dos bancos de coquilla hidráulicos y dos cubas de enfriamiento, un banco de coquilla neumático, espectrómetro y un taller de preparación de muestras.

De manera que, dicha empresa ha llegado a ser un puntal dentro de la industria mecánica y automotriz, utilizando la fundición como parte de uno de los procesos de obtención de pie-

zas y semiproducto, en lo cual es más ventajosa que los demás procesos, especialmente, si son piezas grandes o de configuración compleja hechas de materiales, que por sus propiedades no pueden ser obtenidos por otro método.

Entre los autos a los que les da mantenimiento se encuentran las guagua de transporte público, las cuales trabajan con pistones Yuchai en su motor, los que no se producen en el país, por lo que no se cuenta con la tecnología de fundición de los mismos.

Como objeto del trabajo entonces se propone el proceso de fundición en moldes metálicos y como objetivo el diseñar la tecnología de fundición del pistón Yuchai por el método de moldes metálicos.

2. Materiales y métodos

La tecnología se desarrolla a partir de un plano de maquinado en el que vienen consignados las medidas finales que va a tener la pieza, el peso de la misma y el material a emplear. En este punto se procederá al análisis, basándonos en que existen varios métodos de moldeo: en moldes metálicos o coquillas, colada centrífuga, a la cera perdida, en cáscara, arena manual o convencional y moldeo en arena a máquina. Para la elección del proceso tecnológico más adecuado se deben tener en cuenta diferentes aspectos:

- Cantidad de piezas a obtener (50000 unidades).
- Dimensiones y complejidad de la pieza ($d = 108$ mm, $h = 111$ mm con una complejidad media).
- Tipo de aleación (aluminio y 12% de silicio).
- Peso de la pieza (1,2 kg).

Metodología de cálculo

Esta fue elaborada mediante [1] y [2]:

1. Análisis de las características constructivas de la pieza y justificación del método de fundición seleccionado.
2. Posición de la pieza en el molde y selección del plano divisor.
3. Cálculo de sobremedida de maquinado.
4. Determinación de las inclinaciones de salida.
5. Contracción de fundición.
6. Cálculo del sistema de alimentación.
7. Mazarota.
8. Diseño de la coquilla.

2.1. Geometría de la pieza

En los dibujos de la pieza fundida se indica la superficie de división del molde de la plantilla, la posición de la pieza fundida durante el vertido, las partes sueltas de la plantilla, márgenes de maquinado, machos, mazarotas y respiraderos, tragaderos y enfriaderos. Todo esto se realiza bajo las normas y requisitos establecidos para diseñar y dibujar un plano de pieza. En el Anexo 1 y Anexo 2 se muestran los planos de pieza, con las dimensiones principales del pistón Yuchai [3].

2.2. Cálculo de los espesores mínimos

Esto se hace para ver si la pieza puede ser obtenida por fundición o maquinado, se realiza a partir de la dimensión equivalente calculada por la expresión siguiente, y el tipo de aleación.

$$N = \frac{2l + b + h}{3} \quad (1)$$

Donde:

N : dimensión equivalente, en m.

l, b, h : dimensiones máximas de la pieza (longitud, ancho, altura), en m.

2.3. Posición de la pieza en el molde y selección del plano divisor

Se realiza teniendo en cuenta los aspectos expuestos a continuación [4], [5]:

- Las superficies importantes (maquinado y de fricción) deben quedar hacia abajo o a los lados o en el fondo.
- Extracción fácil de la plantilla, esto se logra con pocas partes sueltas (método de las sombras).
- Al ubicar la pieza en el molde hay que seguir el principio de la solidificación dirigida, ya que esta asegura la obtención de la pieza con la porosidad de contracción mínima, al igual que las cavidades.
- Las paredes más delgadas deben quedarse hacia abajo y si es posible en dirección vertical, ya que tienen poco espesor.
- La cantidad de machos debe ser mínima o se cambiarán por machos naturales si esto no aumenta la tolerancia de fabricación.
- Los machos deben de quedar lo más estables posibles. Para eliminar el surgimiento de las sopladuras de gas, la posición escogida durante el llenado tiene que asegurar la salida de los gases preferiblemente por encima de los machos.
- Fácil y segura evacuación de gases.
- Fácil corte de los sistemas de alimentación.

2.4. Cálculo de sobremedida de maquinado

La sobremedida es el exceso de material que se adiciona a la superficie de las piezas fundidas, para llevarlas mediante el maquinado a la medida establecida en el diseño de la pieza terminada. La cantidad de sobremedida se indica en una tabla especial al margen del diseño. El extremo de la sobremedida se hace en escala con lápiz rojo y se sombrea en la superficie de corte de la pieza fundida con el sombreado rojo. Está determinada por la NC-1007, sus dimensiones están establecidas por la dimensión básica y la determinante [4].

2.5. Dimensiones de la sobremedida

Básica: determina la magnitud de la sobremedida para el maquinado, adoptándose como tal la distancia entre las superficies maquinada o entre una superficie maquinada y otra, o un eje de referencia.

Determinante: es la mayor medida perpendicular a la dimensión básica que afecte a la misma. Es aquella que determina la longitud de la superficie a elaborar.

Los sobreespesores vienen determinados según el grado de precisión y el tipo de aleación con que se va fundir, para este trabajo específicamente los grados de precisiones son: a) aquel que se aplica a piezas fundidas moldeadas mecánicamente, b) para producciones de piezas fundidas en serie, moldeadas mecánicamente, c) se aplica a la producción de piezas fundidas moldeadas manualmente. El tipo de aleación se designa por los números 1 y 2, que significan (1) aceros y (2) otras fundiciones. Una vez analizado estas condiciones se obtienen los valores requeridos para cada superficie [4].

2.6. Determinación de las inclinaciones de salida

Estas inclinaciones se le adicionan a la pieza fundida, si esta no las tiene de construcción, permitiendo un fácil moldeo y asegurando la extracción de la plantilla de forma cómoda. Estas inclinaciones se realizan en aquellas superficies de la pieza que sean perpendiculares al plano divisor. La magnitud de las inclinaciones de moldeo se reglamenta según NC-1008 (Tabla 2.12, página 48). Esta norma establece las inclinaciones requeridas en los modelos metálicos o de madera para piezas de metales no ferrosos.

2.7. Cálculo del sistema de alimentación

Existen diferentes métodos para el cálculo del sistema de alimentación para aleaciones de aluminio. En este proyecto se tomó la fórmula análoga a la que se utiliza para calcular piezas de acero en moldes de arena [2].

Se comienza entonces por el cálculo de área, en este caso la de la sección del tragadero:

$$F_t = G/tk \quad (2)$$

Donde:

F_t , área de la sección del tragadero (cm²).

G , peso del metal fundido que pasa por el alimentador (kg).

t , tiempo de colada (s).

k , velocidad específica de vertido (kg/scm²).

$$t = s\sqrt{G} \quad (3)$$

Donde:

t , tiempo de colada (s).

s , coeficiente que depende del espesor medio de la pared de la pieza.

G , peso del metal fundido que pasa por el alimentador (kg).

k , velocidad específica de vertido (kg/scm²)

Depende de k_v , que no es más que la compatibilidad relativa de la pieza (kg/dm³)

$$k_v = G_p/V_e \quad (4)$$

$$V_e = lah \quad (5)$$

Donde:

G_p , peso de la pieza fundida (kg).

V_e , volumen espacial, determinado por las dimensiones máximas externas de la pieza (dm³).

Después de efectuar los cálculos de las ecuaciones según este orden 3, 4 y 5 y hacer las sustituciones correspondientes se calcula la sumatoria de áreas de los conductos de alimentación. Utilizando la siguiente relación de colada. Obteniéndose las dimensiones para cada parte del sistema de alimentación.

Relación de colada: $\Sigma F_{ir} : \Sigma F_{esc} : \Sigma F_{at} = 1:2:3$

2.8. Cálculo de la mazarota

Método de los módulos [5] :

$$M_m \geq 1.2 M_p \quad (6)$$

Donde:

M_m , módulo de la mazarota (dm).

M_p , módulo de la pieza (dm).

$$M_p = dh/2(d+2h) \quad (7)$$

Donde:

d y h , diámetro y altura del espesor de la pieza que se ve involucrado con la mazarota, respectivamente (dm).

$$V_m \geq V_p R_e / U R_e \quad (8)$$

Donde:

V_m , volumen de la mazarota (dm³).

R_e , rechupe específico del metal (%).

U , utilización del metal en la mazarota (%).

V_p , volumen de la pieza fundida (dm³)

$$V_p = \pi d^2 h \quad (\text{mm}^3) \quad (9)$$

Despejando en la fórmula del volumen de la mazarota obtenemos:

$$h_m = 4V_m / \pi d \quad (\text{mm}) \quad (10)$$

3. Resultados y discusión

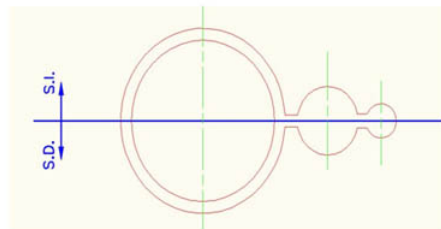
A partir de la ecuación (1) y teniendo como datos: largo = 108 mm, ancho = 108 mm y altura = 111 mm, se obtiene $N=0,145$ m, y se va a la tabla TDP-8 de la página 414 [2], donde se reco-

mienda para aleaciones de aluminio que se pueden utilizar espesores mínimos de 3,77 mm. Este valor se logra interpolando en la tabla e incrementándolo en un 30% ya que es para molde metálico y la velocidad de enfriamiento es menor. Para las piezas fundidas de cualquier aleación es recomendable igualar los espesores para disminuir las tensiones. Por tanto, se puede obtener por fundición.

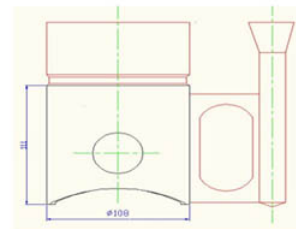
En el plano divisor (véase Fig. 1a) previsto para dicha pieza, la plantilla queda dividida en dos partes sin necesidad de partes sueltas, pero con dos machos en su configuración exterior y cinco machos para lograr la interior.

Los sistemas de alimentación (véase Fig. 1b) verticales de ranura son más adecuados porque garantizan un llenado pasivo del molde, manteniendo la solidificación dirigida necesaria, y debido a que la elevación de metal líquido en la cavidad del molde y en el sistema de alimentación se efectúan a la vez, y también las porciones del metal líquido caliente que entran por arriba garantizan la alimentación de las partes que se encuentran más abajo. Su ventaja es que garantiza una alimentación tranquila, buenas condiciones para la eliminación de escorias y gases.

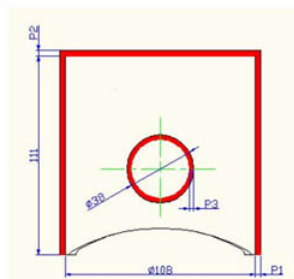
Sobremedidas para el maquinado (véase Fig. 1c):



a. Plano divisor de la pieza (vista superior).



b. Representación del sistema de alimentación y llenado de la pieza.



c. Sobremedida para el maquinado.

Fig. 1. a) Plano divisor de la pieza (vista superior), b) Representación del sistema de alimentación y llenado de la pieza, c) Sobremedida para el maquinado.

Superficie	Z(mm)	S(mm)
P1 108	111	3.0 mm
P2 111	111	3.0 mm
P3 38	108	2.5 mm

Resultados de los cálculos para ver el método de obtención de los orificios (véase Fig. 2a):

Agujero	d- Diámetro del agujero	h- Altura del agujero	
1	d= 38 mm	h= 29 mm	d > 18,7 mm
2	d= 108 mm	h= 82 mm	d > 34,6 mm
3	d= 3 mm	h= 13 mm	d < 13,9 mm

3.1. Descripción de los agujeros [1]

1. Orificio por donde pasa el bulón, que se ajusta posteriormente a la biela.
2. Orificio perteneciente al vaciado del pistón.
3. Orificios de lubricación del pistón.

3.2. Cálculo del sistema de alimentación

Siguiendo el método expuesto en capítulo anterior tenemos que con los datos $l = h = 1,11$ dm y $a = 1,08$ dm, se obtiene $V_e = 1,33$ dm³.

Sustituyendo este valor en (4) resulta $k_v = 0,88$ kg/dm³.

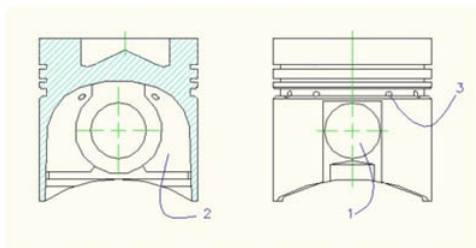
El cual se introduce en la Tabla 1 para tener la velocidad específica de vertido.

Se tiene que $k = 0,22$ kg/s cm².

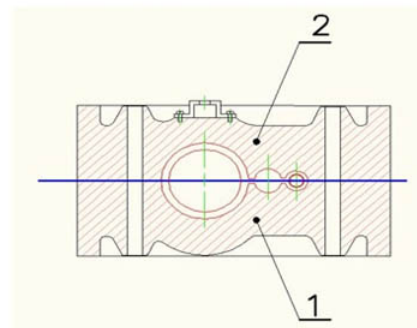
El área de la sección del tragadero es $F_t = 2,84$ cm².

Con este valor y la relación de colada para piezas de aluminio, obtenemos:

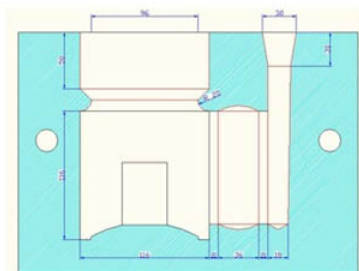
Relación de colada: $\Sigma F_{tr} : \Sigma F_{esc} : \Sigma F_{al} = 1:2:3$



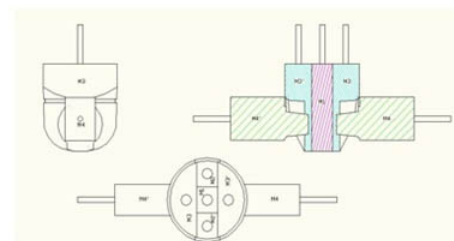
a. Orificios fundidos o maquinados (de la pieza terminada).



c. Diseño de la coquilla.



b. Sistema de alimentación y mazarotado.



d. Diseño de los machos

Fig. 2. a) Orificios fundidos o maquinados (de la pieza terminada), b) Sistema de alimentación, c) Diseño de la coquilla, d) Diseño de los machos.

Tabla 1. Valor de la velocidad específica de vertido k en (kg/s cm²).

Compactividad relativa de la pieza	hasta	hasta	hasta	hasta	hasta	hasta	hasta
k_v en kg/dm ³	0,30-0,50	0,6-1,0	1,1-1,5	1,6-2,0	2,1-2,5	2,6-3,0	3,1-4,0
Velocidad específica de vertido							
k en kg/s cm ²	0,20	0,22	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45

$$F_a = 3F_t = 8,52 \text{ cm}^2$$

$$F_e = 2F_t = 5,68 \text{ cm}^2$$

$$d_a = 4F_e / \pi = 36 \text{ mm}$$

$$d_e = 4F_t / \pi = 18 \text{ mm}$$

Del alimentador tenemos que:

(ancho) $b = 100$ mm y (altura) $a = 8$ mm,

se toman lo más corta posible y (largo) $l = 5$ mm.

Teniendo en cuenta lo anterior expuesto queda como resultado del diseño de la coquilla (véase Fig. 2c) y los valores: $Q = 277632,2863$ cal, $t_m = 60,56275892$ s, $q = 4584,208039$ cal/s, $L_c = 5,360126133$ cm. La coquilla tendrá un espesor de 54 mm en cada cara. El espesor obtenido por este criterio es mayor que el de los criterios prácticos expuestos por varios autores, por tanto, se propone tomar este como espesor final para del diseño de la coquilla.

3.3. Valoración económica

Como aspecto relevante además de los anteriormente mencionados, no puede dejar de destacarse el hecho de que, el precio según la metodología de cálculo empleada para los semiproductos de la coquilla elaborada por la tecnología propuesta es de 2 916,6 CUP y 116,6 CUC. Estos costos de fabricación se determinaron teniendo en cuenta los gastos directos de producción y los indirectos de producción, como son salario de los obreros y especialistas que intervinieron en la fabricación y el diseño, los gastos de transportación el consumo de energía, el costos de los materiales y las herramientas de corte, el material de oficina, la depreciación de los equipos entre otros.

Esta pieza es de origen brasileño y el precio de esta coquilla en el mercado internacional se encuentra valorada entre 20000 - 25000 USD. La empresa ha remotorizado alrededor de 500 carros con pistones importados, teniendo un gasto de 7000,00

CUC. Esto es solo en la provincia, si contamos en todo el país sería mayor el dinero utilizado para reponer el pistón en los motores Yuchai.

El precio según la metodología de cálculo empleada en EISA Pinar para el pistón Yuchai elaborado por la tecnología propuesta es de 6,62 CUC y 0,27 CUP; mientras que antes este salía a 14,00 USD, siendo importado. Como puede verse el precio disminuye en más del 90 %, por lo que es rentable la elaboración de la fundición de la coquilla para EISA Pinar, ya que ayuda a aumentar los ingresos y la posibilidad de comprar equipos y materias primas necesarias para el aumento de la producción y aumentar el salario de los trabajadores a través del estímulo.

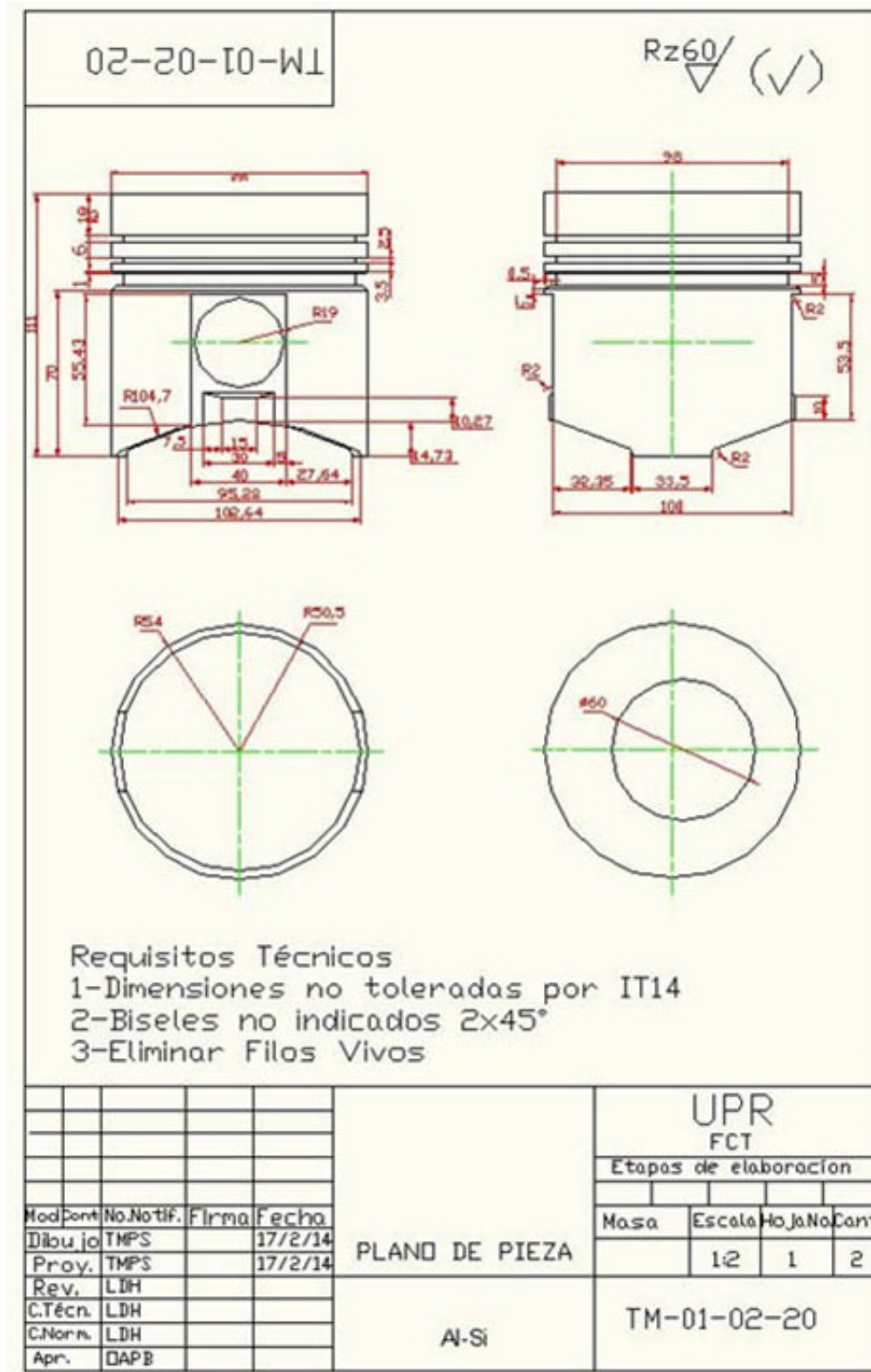
4. Conclusiones

- Teniendo en cuenta los parámetros tecnológicos para la elaboración de moldes metálicos, así como las condiciones de explotación del pistón Yuchai y las aleaciones requeridas, se puede contar con la coquillas para la función de las los dispositivos en Cuba.
- La utilización de estas herramientas ayuda al país en la remotorización de automóviles pesados con los estándares de seguridad requeridos internacionalmente.
- Se logró una producción de estos elementos con un costo económicamente factible para la empresa y el país.

Referencias

- [1] F. Enrique, *Manual del fundidor*, La Habana: Científico-Técnica, 1986.
- [2] U. C. Villas, *Guía tecnológica de fundición*, La Habana: ISPJAE, 1970.
- [3] E. Yuchai, *Manual de operaciones y mantenimiento del motor de diesel*, China: Guangxi Ltda, 2009.
- [4] L. Goyo, *Tecnología de fundición II*, La Habana: ISPJAE, 1984.
- [5] N. Titov, *Tecnología de fundición*, Moscú: MIR, 1981.

Anexo 1. Plano de pieza, dimensiones y diámetros principales del pistón.



Anexo 2. Plano de pieza, dimensiones y diámetros interiores del pistón.

