

EQUIPO DE COMPACTACIÓN Y SINTERIZADO SIMULTÁNEO CON ATMÓSFERA DE VACÍO PARA LA CONSOLIDACIÓN DE NANOCOMPUESTOS POR METALURGIA DE POLVOS

Marco Melo-Pérez

Instituto Politécnico Nacional, México

German Rodríguez-Castro

Instituto Politécnico Nacional, México

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



Resumen: La compactación y la sinterización son dos procesos que se realizan por separado en la metalurgia de polvos (MP). Sin embargo, los procesos se han mejorado mediante la combinación simultánea de ambos. Este hito tecnológico implica que estos equipos requieren un costo de inversión alto, pero es redituado en la calidad final de los materiales conformados presentando mejores características mecánicas contra los fabricados por procesos separados. La formación de nanomateriales demanda procesos más controlados, requiere de equipos que combinen varios procesos a la vez y sean capaces de retroalimentarse en tiempo real para evitar la degradación de los materiales y lograr nanocompuestos funcionales [1]. Se propone un diseño, que controle el sistema eléctrico, de calentamiento y enfriamiento, electromecánico de compactación y electro-neumático de vacío. Esto para generar una temperatura de sinterizado hasta de 1200 °C. La precisión del control del proceso es reflejada directamente en la calidad de los materiales conformados, así como, permitir el uso de atmósferas controladas con gas inerte. Empleando los recursos tecnológicos actuales, se implementarán componentes de calidad en los subsistemas que intervienen en el proceso [2].

Palabras clave: Compactación, sinterización, conformado, metalurgia de polvos, nanorefuerzos.

INTRODUCCIÓN

El siglo XXI se caracteriza por sus avances científicos y tecnológicos en el estudio, análisis y desarrollo en el campo de los materiales, la metalurgia de polvos (MP) es un área de la ingeniería la cual emplea el procesamiento de metales, primeramente, se debe entender que un polvo es un sólido finamente dividido en partículas que van de 50 μm hasta 100 μm dependiendo del tipo de matriz metálica

empleada [2].

La metalurgia de polvos (MP), manufactura directamente un polvo de matriz metálica transformándolo en la forma final deseada, obteniendo partes estructurales de manera económica con geometrías complejas y alta precisión, la producción y el tratamiento de estas estructuras influyen en la calidad del producto final. Los componentes fabricados por (MP) pueden obtener densidades muy elevadas cercanas al 98%, con una micro estructura fina, homogénea y distribución uniforme, dichas características son difíciles de obtener por medios convencionales [3].

Contar con un equipo de compactación adecuado a las características de presión (P) y de carga aplicada (Pa) a cada matriz, consolida y proporciona resistencia temporal al elemento hasta que es sinterizado estableciendo los enlaces metalúrgicos de acuerdo a condiciones de temperatura por debajo del punto de fusión, pero lo suficientemente alta permitiendo la adhesión de las partículas individuales del material base con el refuerzo, esto en una atmósfera al vacío.

La aleación mecánica y metalurgia de polvos (MP) es una ruta para la formación de nuevos materiales y pueden ser diseñados a nano escala, que forman parte de la nanotecnología. Los nanomateriales son sustancias químicas o materiales cuyas dimensiones de partícula están en un rango de 1 a 100 nm en al menos una dimensión. Su incremento de la superficie específica por unidad de volumen dan características únicas al material base.

METODOLOGÍA/DESARROLLO

El diseño del equipo de compactación y sinterización (ECS), surge de la necesidad de fabricar muestras de calidad para su análisis mecánico, en base a esta premisa se aplica la metodología del despliegue de la función de calidad (QFD) la cual proporcionara un

mejor análisis de acuerdo a las necesidades del cliente [3].

En la Figura 1 se observa el procedimiento para identificar el problema y delimitarlo, la recopilación de información para generar alternativas empleando los procesos actuales de producción de materiales compuestos, desarrollando la técnica del QFD para generar la propuesta del ECS que cumpla los requerimientos del cliente [3].



Fig. 1.- Metodología de diseño.

Para identificar las necesidades del cliente, se aplican cuestionarios a los usuarios del ECS del Grupo de Ingeniería de Superficies (GIS), en los cuales se aborda la siguiente temática:

- Generalidades del ECS; sistema hidráulico, de vacío y temperatura
- Condiciones específicas de operación; presión de compactación (P), temperatura (T) y tiempo (t) de sinterización.
- Calidad del ECS; estabilidad, repetibilidad, precisión y confiabilidad de los componentes.

Realizando el análisis del estudio de las necesidades del cliente cuyo enfoque se centralizo en desarrollar un ECS con dos módulos, el primero de prensado en frio y el segundo de prensado en caliente al vacío, obteniéndose de esto los requerimientos del cliente.

A partir de este punto se tiene la información necesaria para jerarquizar, generar los ¿qué? y los ¿cómo? auxiliándose en software de cómputo Figura 2, con el fin de implementar la casa de calidad Figura 3 mediante la correlación de matrices obtenidas por los requerimientos del cliente.

Con la ayuda del software QFDcapture se obtiene la matriz de correlación entre los ¿qué? Vs los ¿cómo?, la importancia de cada requerimiento que debe cumplir la propuesta del ECS a desarrollar. Unos de los resultados de la implementación del QFD es la función global Figura 3 que se representa como sistema total o caja negra, la cual ejecuta un proceso de transformación de materia prima a través del uso de energía térmica, eléctrica, motriz y de trabajo.

Otro resultado de la técnica QFD es la matriz morfológica Tabla 1, en la cual se observan distintas propuestas del ECS con características únicas de operación.

A partir del resultado de la matriz morfológica se generan las especificaciones de ingeniería, es decir el criterio técnico que deben cumplir los componentes empleados en la manufactura del ECS.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los sistemas resultantes de la aplicación QFD de acuerdo a los requerimientos del cliente son:

- a. Cámara de vacío Figura 4
 - Generador de vacío Figura 5
- b. Horno
 - Sistema de aislamiento térmico

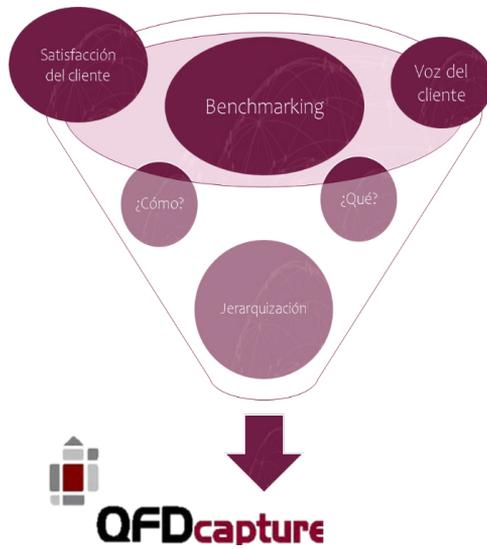


Fig. 2.- Variables que alimentan al QFDcapture.

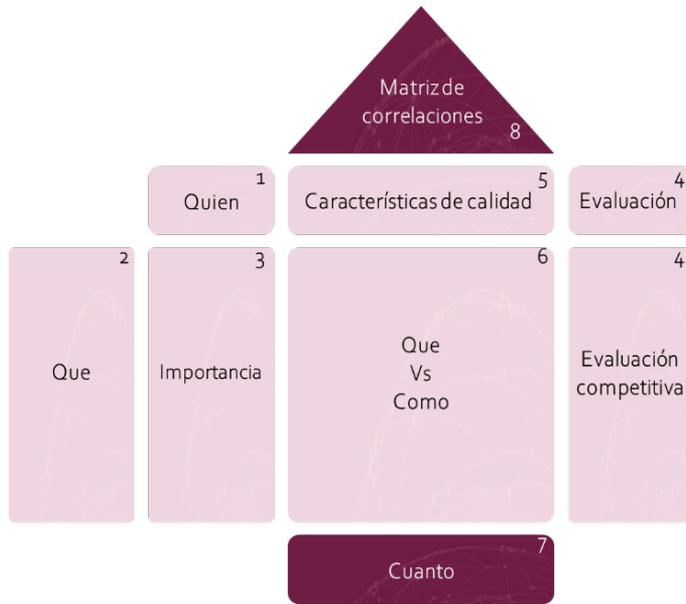


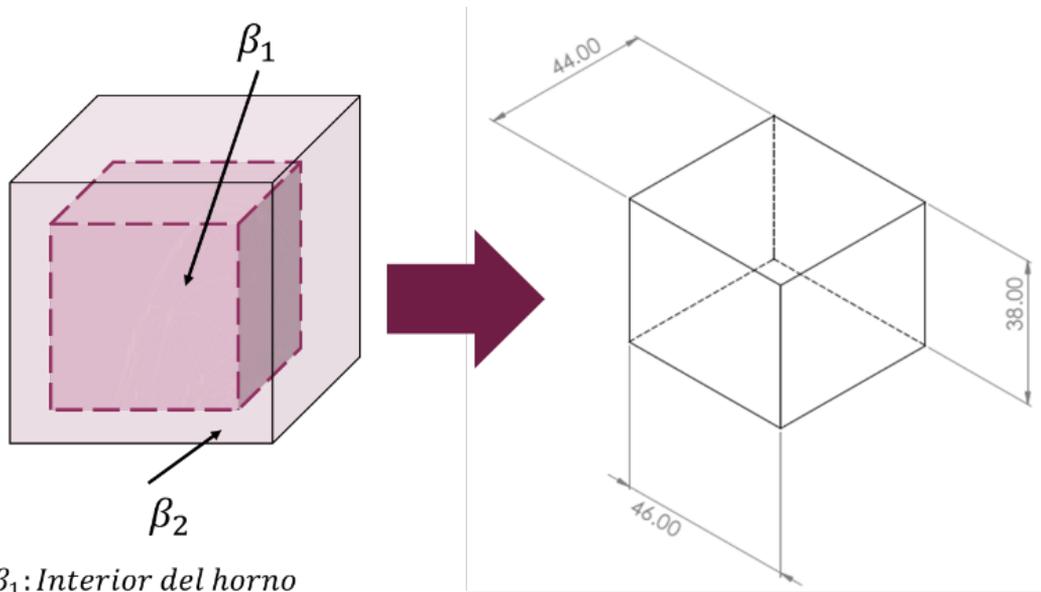
Fig. 3.- Casa de calidad.



Fig. 3.- Función global.

Función	Sistema Automatizado	Sistema Automático	Sistema Manual
Sistema Hidráulico			
Control	PID	P, ON/OFF	ON/OFF
Bomba de hidráulica	Electro bomba 50T	Electro bomba 50T	Porto 50T
Pistón	doble efecto	doble efecto	Efecto Simple
Conexiones hidráulicas	alta presión	alta presión	alta presión
Mangueras para	alta presión	alta presión	alta presión
Aceite hidráulico			
Medición de carga	Transmisor indicador (P)	Transmisor indicador (P)	Manómetro
Sistema de compactación en matriz cilíndrica			
Punzones	Acero Inoxidable AISI 310	Acero Inoxidable AISI 310	Acero Inoxidable AISI 310
Lubricación	Bórax, grafito y estearato de zinc	Bórax, grafito y estearato de zinc	Bórax, grafito y estearato de zinc
Sistema de Temperatura			
Control	PID	P, ON/OFF	ON/OFF
Sensor temperatura	RTD	Termopar K	Termopar K
Termo pozo	Acero Inox 304	Acero Inox 304	Acero Inox 304
Extensión termopar	6 m	3 m	3 m
Brida termopar	Acero Inox 304	Acero Inox 304	Acero Inox 304
Brida Conexiones eléctricas	Acero Inox 304	Acero Inox 304	Acero Inox 304
Resistencias	1440 °C	1440 °C	1440 °C
Sistema de Aislamiento Térmico	Ladrillo + lana aislante + lamina	Ladrillo + lana aislante + lamina	Ladrillo + lana aislante + lamina
Sistema de Vacío			
Control	PLC, Variador	PLC, Variador	
Compresor	2.5HP, 35l, 120Vca	2.5HP, 35l, 120Vca	2.5HP, 35l, 120Vca
Venturi	3-7 bar	3-7 bar	3-7 bar
Conexiones	Rápidas ¼ aire	Rápidas ¼ aire	Rápidas ¼ aire
cierre	Electro Válvula	Electro Válvula	Válvula
Indicador de presión	Indicador transmisor (P)	Indicador transmisor (P)	Mano vacuómetro
Sistema eléctrico			
Control	120 Vca	120 Vca	120 Vca
Potencia	220 Vca	220 Vca	220 Vca
Control			
Maquina	PLC	PLC	Manual
Instrumentación	Tablero de control maestro	Tablero de control maestro	Tablero ON/OFF

TABLA 1. MATRIZ MORFOLOGICA.



β_1 : Interior del horno
 β_2 : Sistema de aislamiento de 3 capas

Fig. 4.- Cámara de vacío, unidades en cm (SolidWorks, 2020).

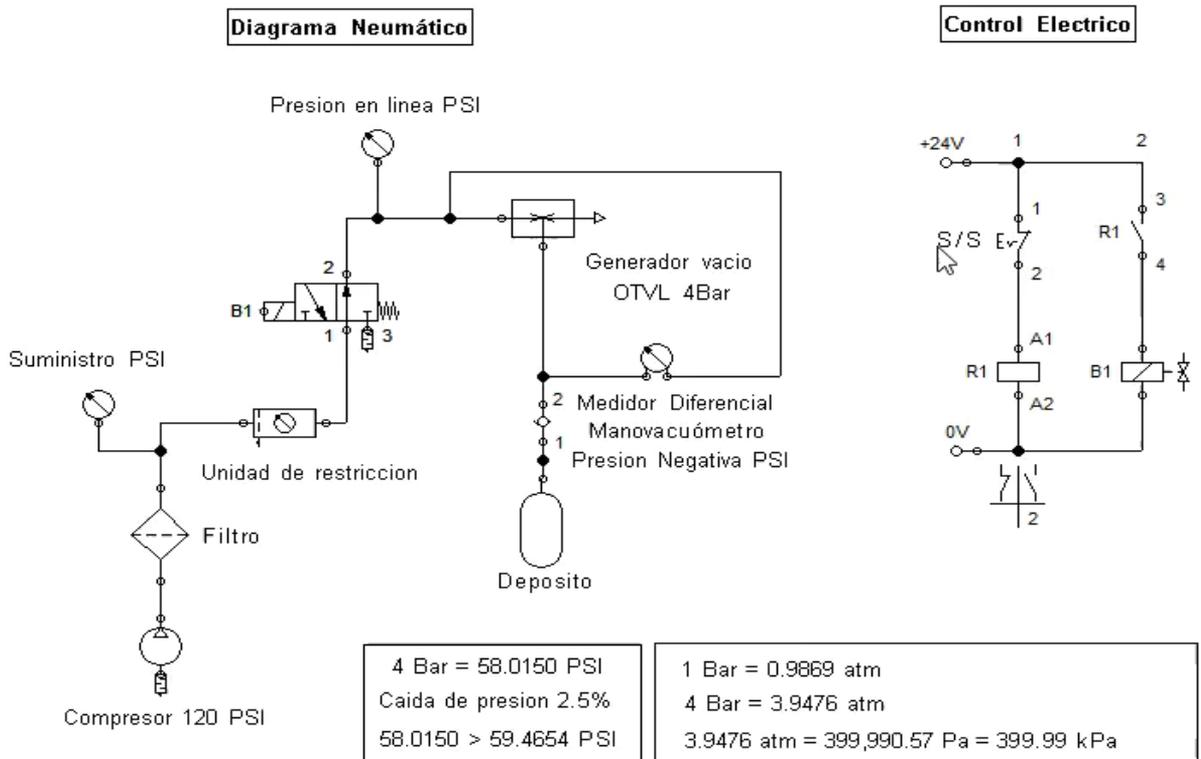


Fig. 5.- Sistema generador de vacío (Festo, 2009).

- i. Capa refractaria Figura 6
- ii. Capa aislante Figura 7
- iii. Chapa metálica Figura 8
- iv. Simulación de capas Figura 9

11

- c. Sistema Hidráulico Figura 12

De la simulación de la eficiencia del sistema de aislamiento térmico, a una temperatura de 1200 °C al interior del horno, en un ambiente de 20°C, el resultado es que la chapa metálica eleva su temperatura 20°C a 33.45°C, lo cual muestra la gran eficiencia de las capas de aislamiento Figura 10.

Figuras 9 a 12, abajo.

CONCLUSIONES

La aplicación del método QFD proporciona la información necesaria para desarrollar el ECS, enfocándose en los principales requerimientos del cliente realizando una comparación de las características técnicas con respecto a equipos del mercado.

Se cumplen las necesidades de desempeño que el cliente solicitó en sus principales requerimientos de presión (P), temperatura (t) y vacío.

Al establecer varios análisis de componentes de los subsistemas del ECS se lograron optimizar costos.

Derivado del análisis se implementaron innovaciones tecnológicas en el desarrollo del diseño.

Trabajos futuros.

- Dibujos de ensamble en Solid Works.
- Actualización de cotizaciones de materiales
- Manufactura del prototipo
- Validación del ECS mediante fabricación de probetas y análisis mecánicos de las muestras.

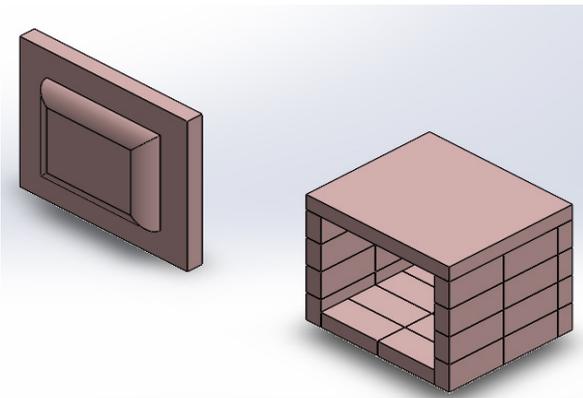


Fig. 6.- Capa refractaria 2.36” espesor
(SolidWorks, 2020).

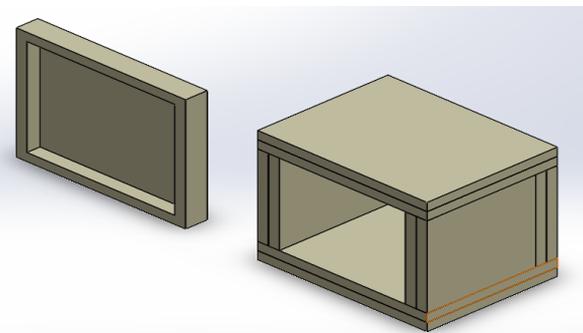


Fig. 7.- Capa de aislante o de soporte 1426 °C
(SolidWorks, 2020).

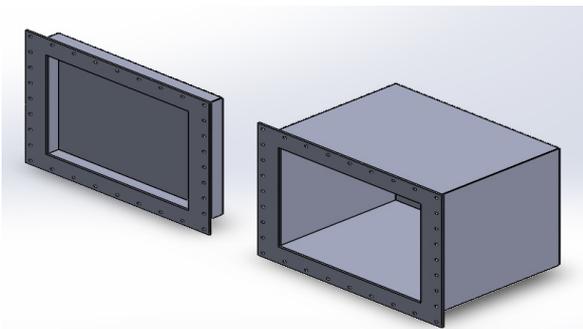


Fig. 8.- Capa de aislante o de soporte 1426 °C
(SolidWorks, 2020).

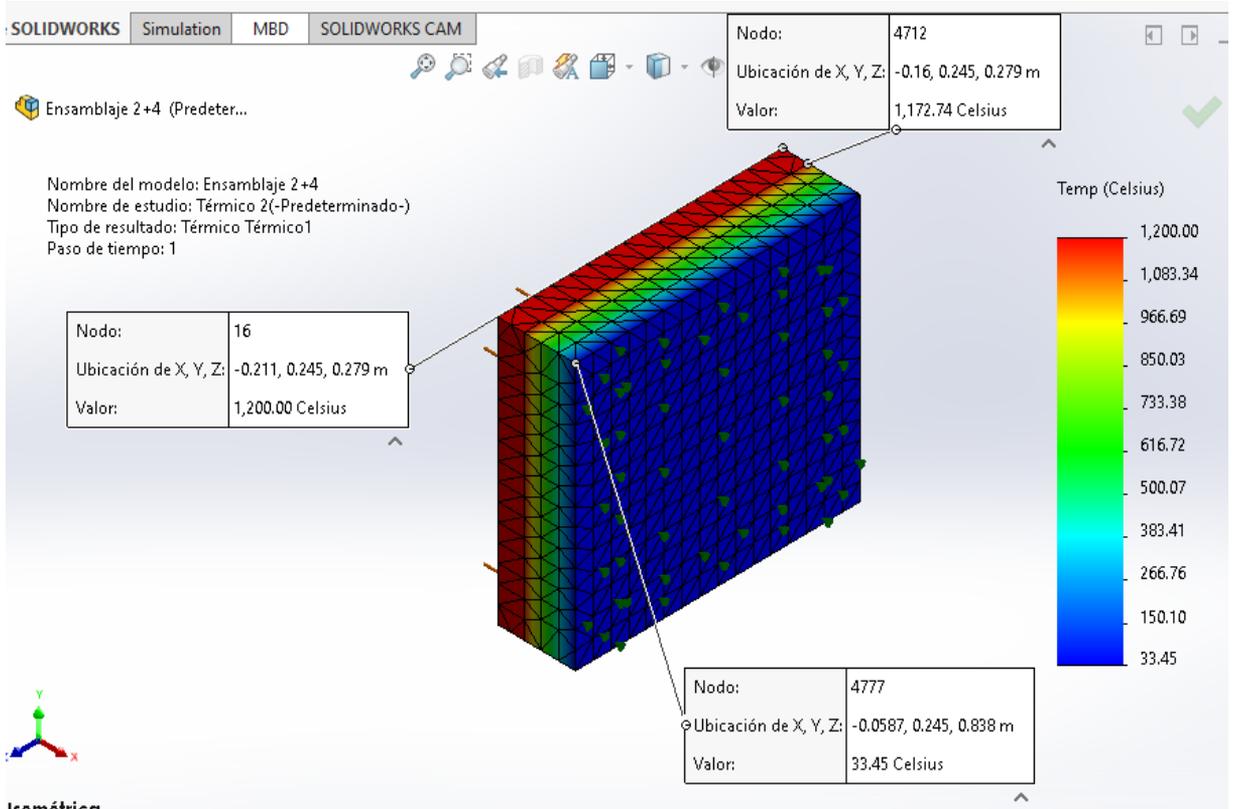


Fig. 9.- Simulación de la eficiencia de sistema de aislamiento térmico (SolidWorks, 2020).

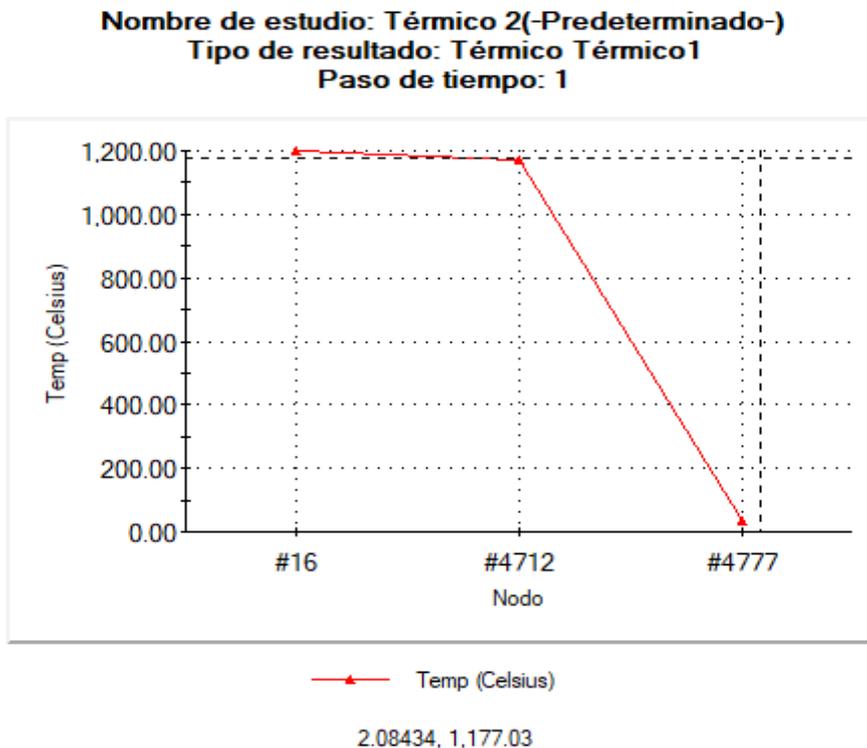


Fig. 10.- Curva de eficiencia térmica (SolidWorks, 2020).

Modulo de control eléctrico
120 Vca, 1 F+Gnd, 60 Hz.

Cámara de compactación y sinterizado,
50 T, 3 atm de vacío, 1200 °C

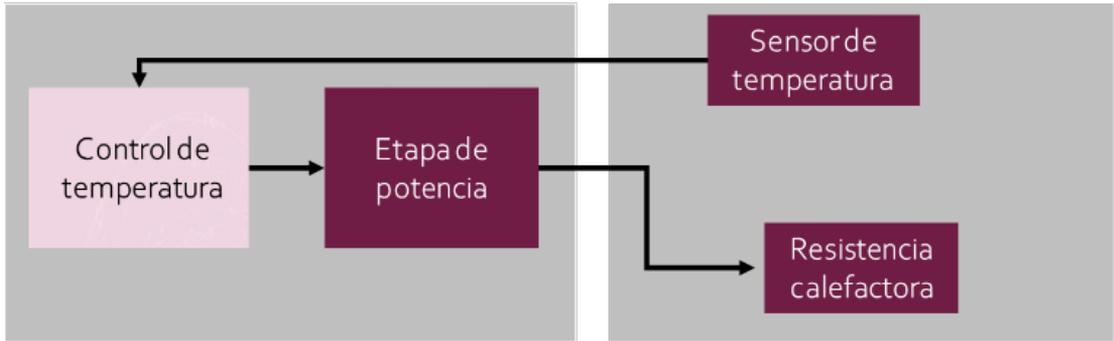


Fig. 11.- Sistema calentamiento.

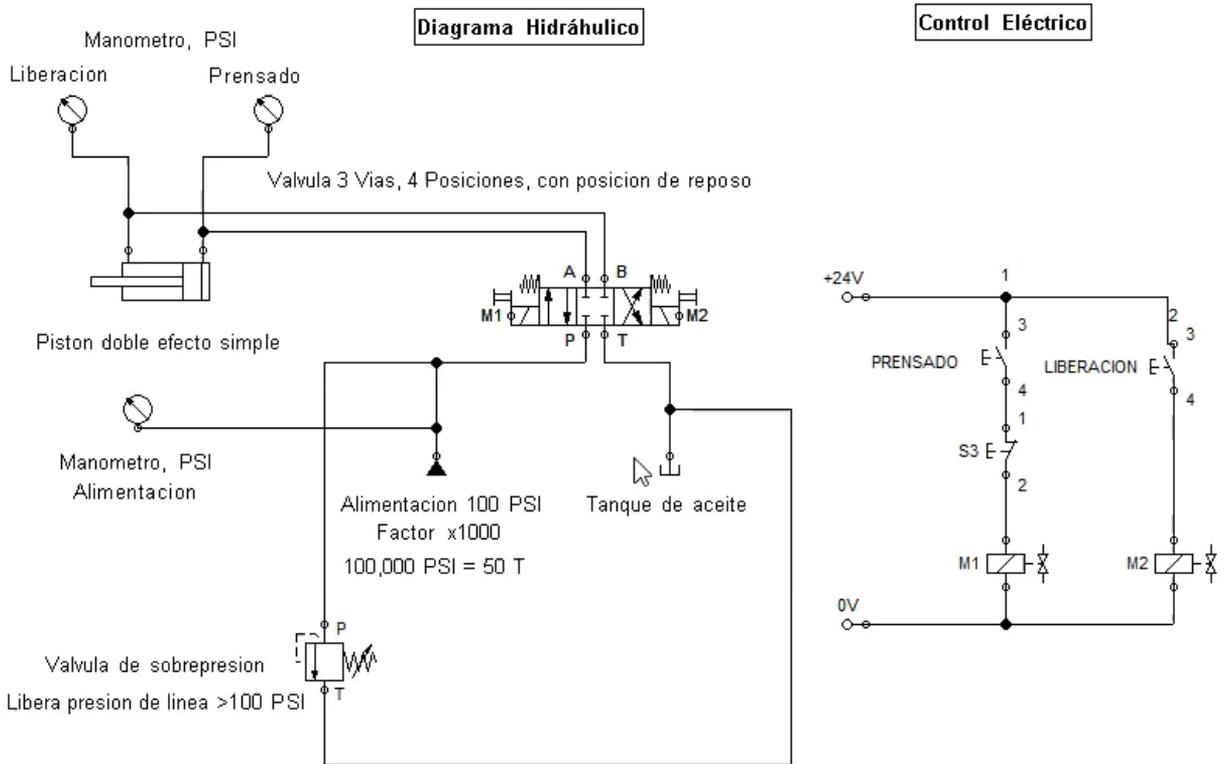


Fig. 12.- Sistema hidráulico (Festo, 2009).

REFERENCIAS

1. C. Fernandez y P. Baptista, Metodologia de la investigacion, vol. I, 6a ed, McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., paginas 36-66
2. S. Kalpakjian, S. R. Schmind y H Musa, Manufacturing Engineering and Technology, 6a ed., Pretince Hall, paginas 56-82
3. W. D. Callister, D. G. Rethwisch. Ciencia e Ingeniería de Materiales: Introducción 9ª Edición, Wiley; 9a edición, paginas 182-215
4. D. G. Ullman, The mechanical design process, 4a edición, McGRAW-HILL, paginas 45-275