

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA FRAGUA METALÚRGICA A GAS PARA EL CENTRO DE ADIESTRAMIENTO Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (CADETEC) DEL INSTITUTO UNIVERSITARIO POLITÉCNICO “SANTIAGO MARIÑO” EXTENSIÓN MATURÍN

Jesús Moya

jesushmoyag50@gmail.com

Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”

Extensión Maturín

Resumen

En este artículo se aborda la investigación que se adelantó con el objeto de diseñar y construir una fragua metalúrgica a gas para el Centro de Adiestramiento y Desarrollo Tecnológico (CADETEC) del Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” (IUPSM), Extensión Maturín. Se trata de un proyecto factible que incorpora aspectos propios de un diseño de campo; su nivel de investigación es descriptivo, y la unidad de estudio fue la fragua metalúrgica a gas. Para el logro del objetivo propuesto se realizó un diagnóstico de la situación que para el momento de realización de la investigación presenta el Centro en referencia, en lo concerniente al área de metalurgia del forjado de los aceros al carbón. Obtenidos los resultados se procedió a examinar lo referente al diseño de una fragua de tal naturaleza; posteriormente se diseñó el correspondiente equipo, generándose los planos respectivos; se efectuó el análisis de costo – beneficio para determinar la factibilidad del mismo, aspecto este último que arrojó logros altamente favorables, procediéndose luego a la construcción y prueba de la fragua metalúrgica. Durante la prueba del equipo, el desempeño obtenido fue óptimo, de acuerdo a la establecido en el diseño.

Palabras clave: fragua, forja, metalúrgica, diseño, construcción, prueba.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A GAS-FIRED METALLURGICAL FORGE FOR THE TRAINING AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT CENTER (CADETEC) OF THE “SANTIAGO MARIÑO” POLYTECHNIC UNIVERSITY INSTITUTE, MATURÍN EXTENSION

Abstract

This article addresses the research conducted to design and construct a gas-fired metallurgical forge for the Training and Technological Development Center (CADETEC) of the “Santiago Mariño” Polytechnic University Institute (IUPSM), Maturín Extension. This is a feasible project that incorporates aspects of a field design; its research level is descriptive, and the unit of study was the gas-fired metallurgical forge. To achieve the proposed objective, a diagnostic assessment was carried out of the Center’s current situation regarding the metallurgy of carbon steel forging. Once the results were obtained, the design of such a forge was examined; subsequently, the corresponding equipment was designed, and the respective plans were generated. A cost-benefit analysis was conducted to determine the project’s feasibility, which yielded highly favorable results. The metallurgical forge was then built and tested. During the equipment test, its performance was optimal, as specified in the design.

Key words: forge, metallurgy, design, construction, testing

Introducción

El conformado de aceros al carbono en los procesos metalúrgicos de laboratorios de fabricación mecánica representa actualmente un crucial exponente en el ámbito de la manufactura de elementos de máquina, aspecto considerablemente costoso de implementar en los pensum de educación superior gerenciados por las universidades más especializados en el tema debido a su potencial económico. Tal particularidad, en las casas de estudio con dificultades en su capacidad adquisitiva constituye una situación problemática por cuanto les resulta complicado obtener los equipos requeridos para desarrollar de manera eficiente las dependencias organizativas – funcionales (departamentos) que tienen bajo sí la responsabilidad de planificar, ejecutar y evaluar, lo concerniente a la especialización de las prácticas relacionadas a la forja y la metalurgia.

Es de acotar que en nuestro país varias instituciones universitarias confrontan obstáculos que limitan significativamente la formación de los estudiantes, pues no cuentan con los equipos necesarios para la implementación de actividades prácticas requeridas, pese a que la fragua metalúrgica a gas es el estandarte a propósito de llevarlas a cabo porque permite inducir calor mediante el uso de gas doméstico a través de quemadores y por procesos de carburación, a fin de lograr la inducción de temperatura que permita calentar el horno a temperatura de forja valiéndose del uso de materiales refractarios y obtener las condiciones para forjar los metales.

En razón de lo anterior se estimó procedente diseñar y construir una fragua metalúrgica a gas que posibilite, a instituciones universitarias del estado Monagas y del país, la realización de las prácticas relacionadas a la forja y la metalurgia que proporcionen a los estudiantes el conocimiento y las competencias sobre tal campo del saber, contribuyendo de esta manera a optimizar la calidad de los graduados y a poner de manifiesto la calidad de las instituciones donde se forman.

El autor del presente artículo fue el diseñador y constructor de la fragua metalúrgica a gas a que se alude en el mismo, propuesta dirigida al Centro de Adiestramiento y Desarrollo Tecnológico (CADETEC) del Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”, Extensión Maturín.

Referentes Teóricos

Definición de fragua

Una fragua es un horno que se usa para realizar trabajos de forja y de metalurgia. Según Tembladera es un “fogón que se utiliza para la forja de metales” (2017, p.9). Consta de una estructura llevada a altas temperaturas, específicamente a temperatura de forja y dependiendo del tipo de fragua se determina la inducción del calor. Diversos trabajos de herrería se pueden realizar con una fragua, como la fabricación de piezas de maquinaria, láminas, puertas, herraduras, entre otros.

Tipos de fraguas

Existen diversos tipos de fraguas, siendo los tres principales: a leña y/o carbón, a gas y eléctricas.

Fragua a leña y/o carbón

Es el tipo más arcaico y sencillo de fabricación. Consta de una estructura tipo fogón, ocasionalmente recubierto y a veces descubierto, cuya inducción de calor es alimentada por el calor que emana del carbón o leña, posee un fuelle o alimentador que sirve para avivar el fuego y aumentar la densidad de las llamas.

Fragua a gas

Tipo de fragua metalúrgica más popular y utilizado. Su estructura

corresponde a un recubrimiento refractario que facilita la permanencia del calor en el interior de éste, el cual puede ser de una colcha refractaria, cemento refractario, los bloques refractarios de Chamote que son los más usados.

Fragua por inducción de media frecuencia

Fundamentalmente utilizada en el esquema industrial. Su principal característica es que el calor es generado por inducción mediante sistemas de alimentación eléctrica, logrando densidades de potencia de hasta 1000 kw por tonelada de hierro. Tiene como primordial función la fundición; se caracteriza por poseer condensadores, sistemas de refrigeración, enfriadores, transformadores, entre otros elementos.

Tratamiento térmico

De los procesos más importantes en el tratamiento de los metales para lograr el producto final se tiene el térmico. Según la empresa española Almacenes Siderometalúrgicos, S.A. “Son procesos que se aplican al material empleando la temperatura como principal variable” (ALISIMET, 2021). Consisten en calentar y luego enfriar un metal en estado sólido para modificar su estructura, ya sea para cambiar su dureza, reducir los esfuerzos internos, entre otras propiedades.

El tratamiento térmico representa el ámbito más importante durante el proceso de forja, debido a que otorga al metal el calor necesario para afectar su estructura y, de acuerdo a las técnicas empleadas se pueden otorgar diversos parámetros para lograr el producto final.

Variables requeridas para el diseño de una fragua metalúrgica a gas

Parámetros técnicos de la fragua

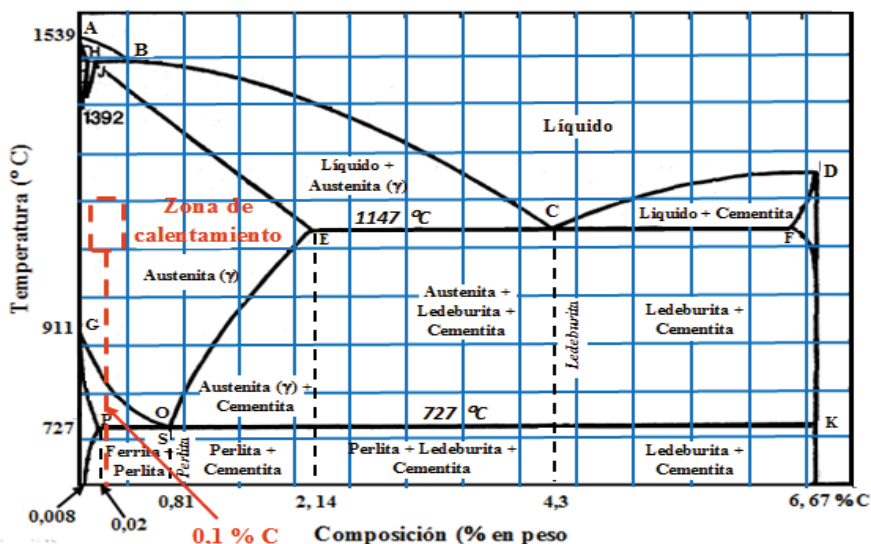
La fragua se concibe como un medio de calentamiento con múltiples propósitos, entre los que se encuentran el calentamiento de piezas para prácticas de laboratorio de conformación en caliente de aceros; también para la fundición de aleaciones de bajo punto de fusión como el aluminio. Las correspondientes actividades y tareas han de realizarse en el equipo sin afectar su integridad. En este sentido procede acotar que en la investigación realizada el parámetro temperatura de calentamiento ha sido tomado en cuenta.

Respecto a la determinación de la temperatura de calentamiento del metal se tiene que predeterminar el material a ser tratado. En este caso para las prácticas de deformación en caliente (mayor temperatura) se emplearán aceros estructurales A 36; su designación no especifica la composición química, sino las particularidades **mínimas de resistencia a la tracción**, cuyas propiedades mecánicas son de resistencia mínima a la rotura 36 Ksi (400 MPa) y límite elástico 32 Ksi (220 MPa) según Grados Material Mundial (2019).

Para valores de resistencia como los referidos, estos aceros suelen tener muy bajo porcentaje de carbono y ningún elemento aleante que aumente su dureza y resistencia, por lo que se puede considerar su cantidad de carbono de aproximadamente 0,1 por ciento. Con tales valores es posible determinar la máxima temperatura de calentamiento de éste para su conformación en caliente, empleando el diagrama de fases binario Fe–C que se muestra a continuación.

Figura 1

Diagrama de fases Fe-C con la zona de calentamiento del acero A36 para los procesos de deformación en caliente.



En relación con el establecimiento de la temperatura se tiene en cuenta que la fase presente en el momento de la deformación debe ser la Austenita por ser más maleable debido a su mayor número de coordinación (12) respecto a la ferrita (8). Además, ha de tenerse en consideración que la temperatura de forja no debe ser muy elevada, porque se manifiesta el fenómeno de crecimiento del grano de la microestructura, lo que trae consigo una disminución sensible de la resistencia y la posibilidad de agrietamiento.

En este diagrama se enmarca la zona calentamiento habitual de estos materiales, que suele estar entre 1.100 y 1.200 °C.

Otro de los parámetros a determinar son las dimensiones de la cámara, y teniendo en cuenta su empleo docente en el Laboratorio de Materiales de

CADETEC no debe ser muy grande, porque si su tamaño alcanza magnitudes de horno industrial es más difícil su manipulación y el tiempo que demora en calentar, lo que alcanzaría el tiempo de una práctica de laboratorio convencional de dos horas clases (1,5 horas). Por estos motivos su tamaño (o sea el largo) en este caso debe ser suficiente para el calentamiento de las muestras a ser ensayadas.

Operaciones que también se pueden realizar en este equipo de laboratorio son las relacionadas con la fusión de aleaciones de aluminio, para lo cual se requiere introducir un crisol resistente a la temperatura y al metal fundido dentro de la fragua; el que contendrá el metal sólido, y una vez alcanzada la temperatura necesaria para su fusión (temperatura de colada 750 °C) el metal se transforma en líquido (metal fundido), pudiendo vaciarse en los moldes ya elaborados con anticipación. La dimensión a definir por esta variable es la altura, porque los crisoles suelen ser recipientes en forma de cuerpo de revolución cuya altura es mayor que su diámetro.

Cuadro 1.

Características técnicas del crisol

Parámetro	ITEM	Valor
Crisol	Capacidad	2 Kg

Ecuación 1.

$$V = \frac{m}{\gamma}$$

Donde:

V : Volumen del metal fundido

m : masa (1 Kg)

γ : Peso específico (2698,4 Kg/m³)

$$V = \frac{2 \text{ kg}}{2698,4 \text{ kg/m}^3} = 0,00074 \text{ m}^3$$

El volumen real de un crisol se calcula por la siguiente formula:

Ecuación 2.

$$V_{\text{crisol}} = \frac{1}{3} * \pi * h * (r_M^2 + r_m^2 + r_M * r_m)$$

Donde:

V_{crisol} : Es el volumen real del crisol

h : Altura del crisol

r_M : radio máximo del crisol (0,057 m)

r_m : radio mínimo del crisol (0,0365 m)

$$h = \frac{3 * V_{\text{crisol}}}{\pi * (r_M^2 + r_m^2 + r_M * r_m)}$$

$$h = \frac{3 * 0,00074 \text{ m}^3}{\pi * ((0,057 \text{ m})^2 + (0,0365 \text{ m})^2 + 0,057 \text{ m} * 0,0365 \text{ m})} = 0,111 \text{ m}$$

De acuerdo con los cálculos expuestos, se considera que la altura de la fragua debe ser ligeramente mayor que la del crisol para que entre de manera holgada, permita su manipulación, y evite problemas de tratamiento del material ocasionado por el poco espacio para el crisol, debiendo **añadirse unos 0,05 m más a la altura de la cámara para otorgar una mayor autonomía de manipulación.**

Medio de calentamiento

La fragua que utiliza como único medio de energía el gas GLP es muy similar al tipo de fragua que usan los herreros en EE.UU., siendo de fácil transportación hacia el lugar de trabajo, pues para su uso no se necesita de energía eléctrica. La temperatura puede regularse a las condiciones de trabajo de tal manera que siempre se pueden tener varias piezas en el fuego sin que se quemen. Con suficiente presión de gas y un adecuado diseño de la cámara de combustión (ladrillos refractarios aislantes de calor) se logra obtener sin dificultad altas temperaturas. Al respecto, algunos autores como Hillenkamp (2012) reportan hasta 1580 grados centígrados, en las pruebas.

El funcionamiento de este tipo de medio de calentamiento consiste en la salida del gas desde una bombona con una opresión determinada. En el sistema del quemador se genera un efecto Venturi que produce una depresión en el interior de reductor, el cual aspira el aire. La mezcla de gas y aire corre por el tubo del quemador de diámetro $\frac{3}{4}$ de pulgada ampliando a una zona de 1 pulgada. Posteriormente pasa a la cámara de combustión donde se quema la llama ardiente. Para obtener buena eficiencia se necesita una distancia de choque mayor a 13 cm, que provoque una presión contraria e impida escapar la llama. La superficie para el choque de la llama debe ser idéntica a las del suelo de la fragua que se calienta, y cuando se introducen las piezas transfieren el calor al metal.

De acuerdo con Hillenkamp (2012):

Para lograr la combustión se emplea solo el aire que entra por el quemador que se le conoce como aire primario. Para reducir la cantidad de aire se necesita de un mecanismo que reduzca su entrada para disminuir el caudal de aire denominado estrangulador que facilita el encendido y calentamiento de la fragua. Además, este permite controlar el tipo de llama reductora u oxidante. Cuando es reductora el acero casi no se oxida y puede mantenerse caliente por mucho tiempo sin pérdidas de

oxidación, pero la producción de calor de una llama reductora es más pequeña y existe la posibilidad de que produzca monóxido de carbón tóxico en el ambiente (s/n).

Por tanto, después de un considerable análisis de los diversos factores que intervienen en el proceso de calentamiento, se determina que los parámetros técnicos para el correcto diseño de la fragua metalúrgica a gas deben ser una temperatura mínima aproximada de 1200°C, una longitud que sea superior a 200 mm y una altura que logre ser no menor de 130 mm, para obtener las óptimas condiciones.

Diseño de la fragua metalúrgica a gas

El diseño del equipo centro de atención en la investigación llevada a efecto, comprende varios aspectos, los cuales en el presente artículo pueden visualizarse en el aparte correspondiente a resultados donde, a propósito del diseño de la fragua para el Laboratorio de Procesos de Fabricación y Materiales de CADETEC, se aportan a nivel de detalle alcances teóricos y prácticos específicos.

Metodología

Con el objeto de lograr el diseño y construcción de la fragua metalúrgica a gas, se cumplieron las siguientes fases: I diagnóstico, II solución, III propuesta.

Fase I. Diagnóstico

En esta fase inicial se realizó un análisis de la situación de las instalaciones de CADETEC, a propósito de evaluar el lugar más adecuado para la realización de las prácticas con la fragua metalúrgica, utilizando herramientas visuales para llevar a cabo la tarea; se establecieron medidas de

diagnóstico en el área de la metalurgia del forjado de los aceros al carbono, con el fin de conocer las necesidades en este ámbito, tomando en cuenta herramientas tanto cualitativas como cuantitativas, ya sean encuestas, recopilación de datos, entre otras, para adaptar las necesidades al diseño de la fragua metalúrgica a gas.

Fase II. Solución

Una vez concluida la primera fase se procedió a examinar los aspectos que intervienen en el diseño de la fragua metalúrgica a gas, de acuerdo a los requerimientos correspondientes, a objeto de optar a la adquisición de las piezas necesarias para su construcción. Posteriormente, se efectuó un diseño preciso de conformidad con lo pautado y los materiales adquiridos para lograr su construcción.

Fase III. Propuesta

Concluido el desarrollo de la fase precedente (solución) se procedió al diseño y construcción de la fragua, cuyos alcances se exponen en el aparte que se presenta bajo el título RESULTADOS. En este aparte, además se plantea y fundamenta la propuesta, se establecen los procedimientos metodológicos seguidos, y los recursos necesarios para su ejecución, se efectuó el análisis costo beneficio que permitió evaluar la rentabilidad del equipo propuesto, y otorgar factibilidad a su implementación. El análisis fue evaluado de acuerdo al costo total de la construcción de la fragua metalúrgica a gas y el beneficio que aportará a la institución al ponerse en práctica el proyecto. Posteriormente se procedió a realizar una cuidadosa y precisa construcción de la fragua en referencia, para establecer la efectividad de su funcionamiento.

Técnicas de recolección de datos

Observación directa

La observación directa proporcionó un amplio margen de captación de los hechos, utilizando principalmente la vista. Se usaron distintos métodos de observación, es por ello que su implementación en el Centro de Adiestramiento y Desarrollo Tecnológico (CADETEC) del Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” Extensión Maturín, supuso un aporte significativo a la recolección de datos, ya que posibilitó la captación de la problemática en tiempo real y brindó información sobre datos cruciales para evaluar las dimensiones necesarias y el espacio requerido para realizar las prácticas. De otra parte, se consiguió el apoyo del Instituto para aprovechar una mesa de trabajo almacenada en CADETEC para llevar a efecto las prácticas y colocar la fragua. A partir de ahí y acogiendo principios termodinámicos y de resistencia de materiales, se tomaron en cuenta las medidas necesarias para el diseño y construcción de la fragua metalúrgica a gas.

Revisión documental

Técnica que posibilitó recopilar información de diversas fuentes y otorgar un margen amplio de información relacionado con la investigación de acuerdo al beneficio de aporte de datos, tanto cualitativos como cuantitativos, así como no sólo fundamentar sino también desarrollarla hasta puntos concluyentes. Al respecto vale la pena destacar las investigaciones de Cabello y Herrera (2018), e igualmente la de Monroy (2022), las cuales sirvieron como una fuente de información crucial debido a las semejanzas con la investigación expuesta en el presente artículo.

Varios cálculos de transferencia de calor, resistencia y comportamiento de materiales, consideraciones técnicas y referencias, sirvieron como base

y punto de partida para la investigación llevada a efecto. Por lo demás, durante la utilización de la técnica en referencia, se emplearon instrumentos de recabación de la respectiva información tales como: lápiz papel, laptop, cámara fotográfica, entre otras.

Entrevistas no estructuradas

Las entrevistas no estructuradas sirvieron como medida de referencia para obtener datos que la población vinculada a la unidad en estudio podía proporcionar en relación con las necesidades sentidas. Este tipo de técnica de investigación fue implementada en el Centro de Adestramiento y Desarrollo Tecnológico (CADETEC) del Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño” Extensión Maturín, con el propósito de obtener la opinión de los afectados y poder conseguir los referentes previstos en los objetivos. Las opiniones logradas se constituyeron en valiosos aportes para conocer las distintas medidas de seguridad del Centro, y adaptar la fragua a éstas, además de saber cómo se alinean ciertas asignaturas con respecto a los conceptos y prácticas en las que la fragua metalúrgica puede servir como valiosa herramienta de enseñanza aprendizaje.

Análisis de datos cualitativos

El proceso de análisis de datos cualitativos permitió estudiar y explorar los datos, otorgarle una estructura, describir las experiencias de los involucrados, descubrir los patrones o variaciones que presentaron los datos para darles sentido, comprender el contexto que vincula la información obtenida, enlazar los resultados con el conocimiento disponible para luego obtener teorías fundamentadas en los datos, posibilitando el desarrollo de la investigación.

Análisis de datos cuantitativos

El correcto uso de la técnica supone un arraigado método de análisis que permita el eficaz estudio de los datos mediante distintas herramientas a objeto de evaluar, con lógica y términos estadísticos, los distintos parámetros que los métodos y técnicas de recolección de datos proveyeron a la investigación. Éstos permitieron formular alcances teóricos sobre la temática abordada, y los sistemas empíricos y cuantitativos comprobarlos.

Resultados

Diagnóstico situacional

El cumplimiento de cuanto estaba previsto en la Fase I: diagnóstico, permitió determinar que la carencia de un equipo como una fragua limita el aprendizaje práctico de la metalurgia, restringiendo a los estudiantes a conocimientos puramente teóricos en materias cruciales para su formación como lo son Laboratorio de Materiales y Laboratorio de Procesos de Fabricación. El hecho de que puedan no solamente interpretar sino también ser parte de un proceso de fabricación, así como presenciar los cambios de temperatura de los diferentes tipos de metales utilizados comúnmente en la industria manufacturera y la aplicación de las técnicas y especialización de estos procesos en vivo y en directo, es una inclusión sin precedentes para el estudio y formación de los estudiantes en el área, implementado en las mejores universidades del mundo, y ahora también en el IUPSM.

Diseño y construcción de la fragua metalúrgica a gas

En este alcance temático del presente artículo se exponen: el diseño conceptual de la fragua metalúrgica a gas, la selección del material de la estructura las consideraciones en el diseño del quemador de gas, los cálculos energéticos de la fragua, el cálculo de pérdidas por calor,

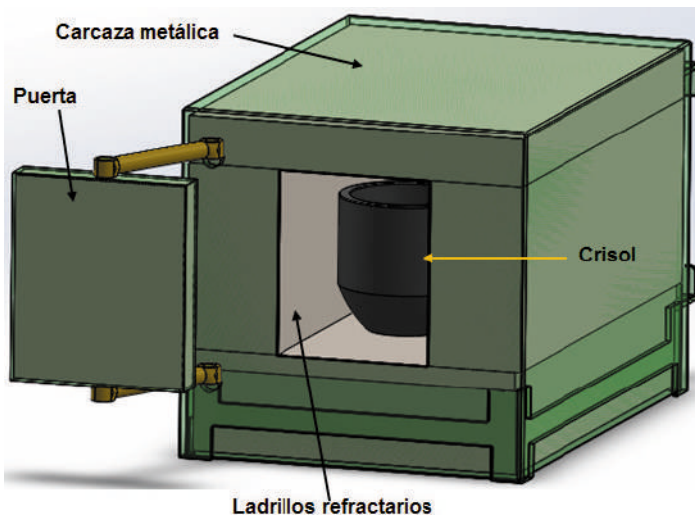
la determinación de la carga térmica, el balance de energía y flujo de combustible, el dimensionamiento geométrico, la factibilidad económica, la fragua metalúrgica construida y en funcionamiento.

Diseño conceptual de la fragua metalúrgica a gas

El diseño de la fragua metalúrgica para el Laboratorio de Procesos de Fabricación y Materiales de CADETEC consiste en una armazón de láminas metálicas con revestimiento interior de ladrillos refractarios de Chamote. Este modelo es similar a la fragua a gas para la forja, pero a diferencia de ésta tiene una puerta que mantiene la cámara cerrada, lo que permite la homogeneidad de la temperatura y, por lo tanto, la ejecución de prácticas de tratamientos térmicos de fundición.

Figura 2.

Diseño conceptual de la fragua metalúrgica a gas para el laboratorio de CADETEC.



La fragua está constituida por varias partes, y cada una debe ser fabricada con materiales diferentes según las funciones que cumplan. A continuación, se detallan las partes que la componen.

Cuerpo de la fragua. Alberga la cámara de combustión. La temperatura de trabajo de la cámara es de 1200°C; inferior al punto de fusión de los aceros y fundiciones, los cuales se pueden emplear. Sin embargo, éstos presentan el problema de alta conductividad térmica, lo que causaría grandes pérdidas de calor por convección al ambiente. Los materiales más empleados mundialmente son cerámicos, conocidos como refractarios, que tienen gran estabilidad y resistencia a las altas temperaturas, y baja conductividad térmica.

Tales materiales se suministran en forma de ladrillos que deben sujetarse a una estructura para mantener la estabilidad estructural. Suele emplearse cemento refractario para unirlos y, además de fijarlos, tapa las grietas que puedan existir, evitando fugas de calor. Otra forma de mantener la posición del refractario en la estructura es mediante sujeción mecánica, para lo cual se usan tornillos que le otorgan buena resistencia en el trabajo y también a la hora de transportar la fragua.

Otro de los materiales que se emplean son las fibras cerámicas, que permiten obtener la forma de la cámara sin necesidad de ajustar el tamaño de los ladrillos y colocan su debida sujeción. Sin embargo, tienen el inconveniente de su alto costo en el mercado nacional y la dificultad de conseguirlas, y como ventaja el hecho de que, al aplicar dos capas de ésta, el volumen que ocupa es menor al de los ladrillos convencionales.

Por tanto, para la cámara de combustión se selecciona el ladrillo refractario que le brinda la protección adecuada para alcanzar la temperatura de trabajo con buenas propiedades de aislamiento para la retención de calor dentro de ésta; por otra parte, tiene un menor costo, una alta duración, y alta

resistencia a diferentes condiciones climáticas.

Estructura metálica. A objeto de sostener los ladrillos de la cámara de combustión se selecciona un determinado material para la estructura. Este debe ser de metal por su alta resistencia mecánica, lo que le otorga la posibilidad de transportar el equipo. La estructura estará formada con ángulos de acero que serán soldados por seguridad; éstos pueden ser de materiales resistentes a la corrosión, o de otros sin estas características que posteriormente deben ser protegidos de la corrosión y oxidación con pintura para altas temperaturas. A continuación, se analizan algunas alternativas de materiales.

Alternativa 1: acero inoxidable ASTM 304. Es el más utilizado de los austeníticos al cromo/níquel. El Tipo 304L se emplea en las aplicaciones de soldadura para excluir la formación de carburos de cromo durante el enfriamiento en la región afectada por el calor de la soldadura. Estas aleaciones presentan una gran combinación de resistencia a la corrosión y facilidad de fabricación; se utilizan tanto en la industria de alimentos como en la farmacéutica. La composición química del acero inoxidable ASTM 304 puede visualizarse seguidamente.

Cuadro 2.

Composición química del acero inoxidable ASTM 304 y 304L

Elemento	Tipo 304	Tipo 304L
Carbón	0.07 máx.	0,030 máx.
Manganeso	2.00 máx.	2,00 máx.
Azufre	0.030 máx.	0,030 máx.
Fósforo	0.045 máx.	0,045 máx.
Silicio	0.75 máx.	0,75 máx.
Cromo	17.5 a 19.5 máx.	18,0 a 20,0

Cuadro 2. (Continuación)

Níquel	8.0 a 10.5 máx.	8,0 a 12,0
Nitrógeno	0.10 máx.	0,10 máx.

Nota: Tomado de Metalisteria v3.

Alternativa 2: acero Inoxidable ASTM 316. Es un acero inoxidable de cromo y níquel austenítico que contiene molibdeno. Es un elemento aleante que aumenta la resistencia a la corrosión general, mejora la resistencia a picaduras de soluciones de iones de cloruro, y proporciona mayor resistencia a temperaturas elevadas. Las propiedades son similares a las del Tipo 304, pero con la salvedad de su mayor resistencia a temperaturas elevadas. Su composición puede observarse en el Cuadro 3 expuesto a continuación.

Cuadro 3.

Composición química del acero inoxidable ASTM 316

Elemento	Tipo 316
Carbón	0.08 máx.
Manganeso	2.00 máx.
Azufre	0.030 máx.
Fósforo	0.045 máx.
Silicio	0.75 máx.
Cromo	16.0 a 18.0 máx.
Níquel	10.00 a 14.00 máx.
Molibdeno	2.00 a 3.00 máx.
Nitrógeno	0.10 máx.

Nota: Tomado de *ASTM A240*.

Alternativa 3: acero al carbono ASTM A36. Este tipo de carbono, también conocido como acero estructural, constituye una proporción importante de los aceros producidos en las plantas siderúrgicas. No presenta alta resistencia a la corrosión porque no cuenta con elementos aleantes que mejoren esta propiedad. Históricamente el acero al carbono representa un 90% de la producción mundial, en tanto el 10% restante son aceros aleados. La composición química de los aceros al carbono es simple, además del hierro y el carbono que generalmente no supera el 0,2%, en la aleación hay elementos necesarios que se añaden en su proceso de producción, como silicio, manganeso; otros se consideran impurezas por la dificultad de excluirlos totalmente, azufre, fósforo, oxígeno, hidrógeno. Estos materiales tienen un costo bastante menor que los anteriores. Su composición química puede observarse en el Cuadro incluido seguidamente.

Cuadro 4.

Composición química del acero al carbono ASTM A36

Elemento	Tipo 36
Carbón	0.26
Manganeso	No hay requisito
Fósforo	0.04
Azufre	0.05
Silicio	0.40
Cobre	0.20

Nota: Tomado de Acero Estructural Acero ASTM A36.

Alternativa 4: acero galvanizado. Es un tipo de acero estructural al carbono procesado que ha sido sometido a un tratamiento termoquímico en el que el metal queda recubierto de Zinc. Esta capa superficial de Zinc protege al acero de la oxidación frente a factores atmosféricos. El acero

galvanizado también es un material con un acabado más duradero, resistente a las ralladuras y que resulta más atractivo para muchos consumidores. Sin embargo, no presenta resistencia a la corrosión elevada a altas temperaturas, porque suele deteriorarse el recubrimiento en corto tiempo.

Selección del material de la estructura

Al hacer un análisis de las condiciones de trabajo de la fragua se nota que este equipo no se diseña para el uso de productos alimenticios ni de consumo humano, por lo que el requisito de la contaminación del producto no es esencial, descartándose el empleo de aceros inoxidable por su elevado costo. El acero galvanizado posee buena resistencia a la corrosión a temperatura ambiente, pero al interactuar con altas temperaturas el recubrimiento se deteriora y tendría que emplearse pintura por fuera y por dentro, quedando expuesto a la oxidación. Por esas razones se utiliza el acero al carbono A 36 que cumple con los requisitos de resistencia y su costo es mucho menor, además tiene menor coeficiente de dilatación, lo que hace que no se deteriore el revestimiento refractario.

Aislante térmico (lana mineral)

Uno de los aislantes más usado en la industria es la lana mineral, caracterizada por su alta resistencia térmica; es bien conocida su aplicación como aislamiento térmico.

Este material establece una barrera que impide el paso del calor, en este caso, hacia el exterior. La lana mineral permite soluciones diversas, es de fácil colocación, y cumple perfectamente con los principios de resistencia mecánica. Para lograr tales propósitos se necesitan revestimientos protectores ligeros y de larga vida útil.

Figura 3.

Lana mineral.



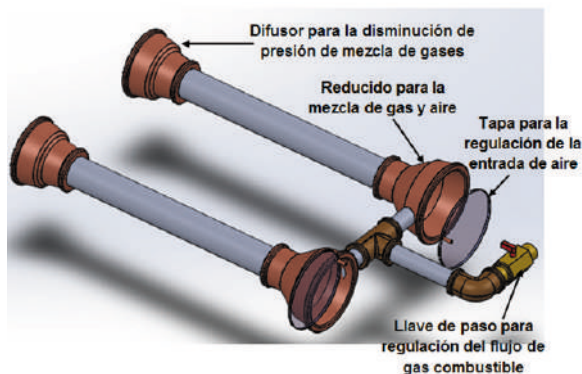
Nota: Aporte de Ferretería Lautaro.

Consideraciones en el diseño del quemador de gas

El quemador es un dispositivo que permite la mezcla del combustible con el aire, y cuando la cantidad de metal a calentar o la temperatura no es tan elevada se emplean los quemadores atmosféricos, que no poseen ningún elemento que incremente el flujo de aire. La velocidad con la que entra el flujo de gas por la válvula succiona el aire del exterior a través de una abertura y lo hace pasar a través del quemador. La velocidad del gas al mezclarse con el aire se convierte en presión estática, necesaria para impulsar la mezcla hacia la salida, la cual combustiona al hacer contacto con alguna chispa o llama. Este diseño se presenta en la figura siguiente:

Figura 4.

Diseño del quemador de la fragua.



Cálculo de los parámetros geométricos del quemador.

$$D = \sqrt[4.82]{\frac{59,74 * \left(12,27 \text{ m}^3/\text{h}\right)^{1.82}}{0,0028}} = 20,30 \text{ mm}$$

El diámetro de la tubería para el mezclador es de 20,30 mm, lo que es aproximadamente una tubería comercial de $\frac{3}{4}$ de pulgada.

Cálculos energéticos de la fragua

La energía necesaria para calentar el metal hasta la temperatura de forja la provee la combustión del GLP en condiciones de un quemador atmosférico. La misma puede ser simplificada teniendo en cuenta que la conductividad térmica es transitoria y no varía en ciertos intervalos de temperatura. Por este motivo se considera la capacidad calorífica del metal a calentar, en este caso el acero A 36, lo que posibilita calcular la cantidad de calor suficiente

para alcanzar la temperatura de forja.

Para los cálculos se toma en cuenta que el acero estudiado es una aleación de hierro y carbono, que posee otros elementos como impurezas: fósforo, azufre, manganeso y silicio. Para calcular el calor necesario, a fin de lograr la temperatura de forja, se estima que el metal no cambiará de estado y se utiliza la siguiente fórmula.

Ecuación 3.

$$Q_{necesaria} = m * C_p * \Delta T$$

Donde:

Q : Calor necesario

m : Masa del acero

C_p : Capacidad calorífica del material

ΔT : Variación de temperatura

Según Matmach (2022), la capacidad calorífica del acero A 36 es 465 J/Kg*K. La cantidad de metal que se puede forjar a esa temperatura está dada por la ecuación siguiente:

Ecuación 4.

$$m_{acero} = \rho * V_{cámara\ de\ combustion}$$

Donde:

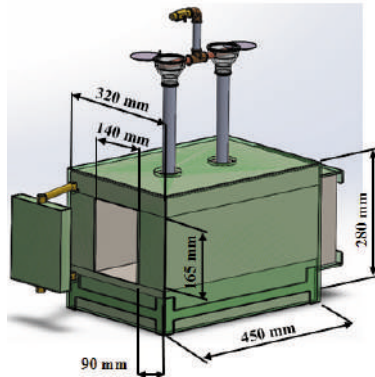
m_{acero} : Es la masa del acero que se puede calentar

ρ : Peso específico del acero (A 36 es de 7,85 g/cm³)

$V_{cámara\ de\ combustion}$: Volumen de la cámara de combustión de la fragua

Figura 5.

Dimensiones de la cámara de combustión



$$m_{\text{acero}} = 0,00785 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} * [10\text{cm} * 10\text{cm} * 35\text{cm}] = 27\text{kg}$$

$$Q_{\text{necesaria}} = 27\text{Kg} * 465 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}} * [1200\text{ }^{\circ}\text{C} - 30\text{ }^{\circ}\text{C}]$$

Se realiza la conversión de unidades de grado Celcius a temperatura absoluta (K).

$$Q_{\text{necesaria}} = 27\text{Kg} * 465 \frac{\text{J}}{\text{Kg} * \text{K}} * [1443\text{ K}] = 18435\text{ KJ}$$

El valor del calor calculado es solo el necesario para calentar el metal dentro de la cámara de combustión. Pero si se consideran las pérdidas por transferencia de calor a través de la paredes, este valor se debe incrementar. Por tanto se realiza el cálculo de la perdida calor.

Calculo de pérdidas por calor

Pérdidas por conducción. Este tipo de pérdidas se genera cuando un

cuerpo caliente entra en contacto con otro de menor temperatura; el cuerpo frío absorbe la energía proveniente del cuerpo caliente hasta quedar en equilibrio y se convierte en un aislante que evita la pérdida de calor. Las pérdidas por conducción en la fragua metalúrgica se producen entre las paredes refractarias y la carcasa de metal.

Cuadro 5.

Pérdidas por conducción

Fórmula	Calor por Conducción
$Q_{cond\ pared} = \left(\frac{T_c - T_f}{\Sigma R t_{cond}} \right)$	1635,6 W

Pérdidas por convección. Se calculan conociendo los valores de los coeficientes de transferencia de calor (h) de las superficies. Para su cálculo se hace uso de las tablas del libro de Oropeza (2014) “Transferencia de calor”.

Cuadro 6.

Pérdidas por convección

Fórmula	Calor por Convección Interna	Calor por Convección Externa
$Q_{conv} = \frac{\Delta T}{R t_{env}}$	2445	732,5
Total	3177,5 W	

Pérdidas por radiación. En la fragua metalúrgica tal tipo de pérdidas están dadas por la transferencia de calor entre la superficie y los alrededores, y las paredes internas y el medio.

Cuadro 7.

Pérdidas por radiación

Fórmula	Calor por Radiación Interna	Calor por Radiación Externa
$Q_{rad} = \varepsilon * A_s * (T_s^4 - T_{alred}^4)$	92,3 W	42,97 W
Total	135,23 W	

Pérdidas totales de calor. El calor requerido se calcula por la suma de las pérdidas de calor por conducción, convección y radiación.

Cuadro 8.

Pérdidas totales de calor

Pérdidas de Calor	Valores (W)
Pérdida de calor por conducción	1635.6
Pérdida de calor por convección	3177.5
Pérdida de calor por radiación	135.23
Total	4948.33

Potencia del quemador

Para determinar cuánto debe ser el calor a suministrar al quemador es necesario conocer el flujo de combustible que ha de proveer, y las pérdidas de energía a través del recubrimiento de la fragua.

Ecuación 5.

$$P_{quemador} = \frac{Q_{total} + Q_{acero}}{\eta}$$

Donde:

Q_{total} : Pérdidas de calor de la fragua

Q_{acero} : Calor necesario para calentar la masa de acero a forjar

η : Eficiencia del sistema [0,7 según Monrroy E. (2022)].

Si se considera que el tiempo de calentamiento del metal a forjar será de una hora (3600 segundos).

$$Q_{acero} = \frac{Q_{necesaria}}{Tiempo} = \frac{18435 \text{ KJ}}{3600 \text{ s}} = 5,12 \text{ KW}$$

$$P_{quemador} = \frac{4,95 \text{ kW} + 5,12 \text{ kW}}{0,7} = 14,4 \text{ KW} = 49135 \frac{\text{Btu}}{\text{h}}$$

Para calcular el flujo masico del quemador se emplea la fórmula siguiente:

Ecuación 6.

$$Flujo \text{ masico} = \frac{Q_{total} + Q_{acero}}{PCI * \eta}$$

Donde:

PCI : Poder calorífico del gas (4635 kJ/kg) según Monrroy E. (2022).

Q_{total} : 4,95KW * 3600s= 17820 Kj

$$Flujo \text{ masico} = \frac{17820 \text{ kJ} + 18435 \text{ kJ}}{4635 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}} * 0,7} = 11,17 \text{ kg}$$

Para calentar el acero a la temperatura de forja se necesitan 11,17 kg de GLP.

Determinación de la carga térmica perdida

Aplicando la Ley de Fourier para paredes compuestas, se determinó que las pérdidas por conducción a través del revestimiento refractario son de 1635,6 W. Así mismo, las pérdidas por radiación en la apertura frontal, calculadas mediante la constante de Stefan – Boltzmann, ascendieron a 135.23W.

Balance de energía y flujo de combustible

Para alcanzar la temperatura de forja deseada (aprox. 1200° C) se calculó una demanda calorífica total de 4948,33W. Esto se traduce en un consumo de GLP de 11,17 Kg. por ciclo de operación, garantizando la autonomía del equipo con cilindros comerciales.

Dimensionamiento geométrico

El análisis cuantitativo permitió definir una cámara de combustión con volumen interno de 0,00074m³, optimizando el espacio para el calentamiento uniforme de probeta de aceso de hasta 4 pulgadas.

Factibilidad económica

El estudio financiero llevado a efecto arrojó una relación Beneficio / Costo de 1,9. Esto indica que por cada unidad monetaria invertida se obtiene un retorno social y académico de 0,9, demostrando la alta rentabilidad del proyecto para la institución.

Fragua metalúrgica construida y en funcionamiento

Figura 6.

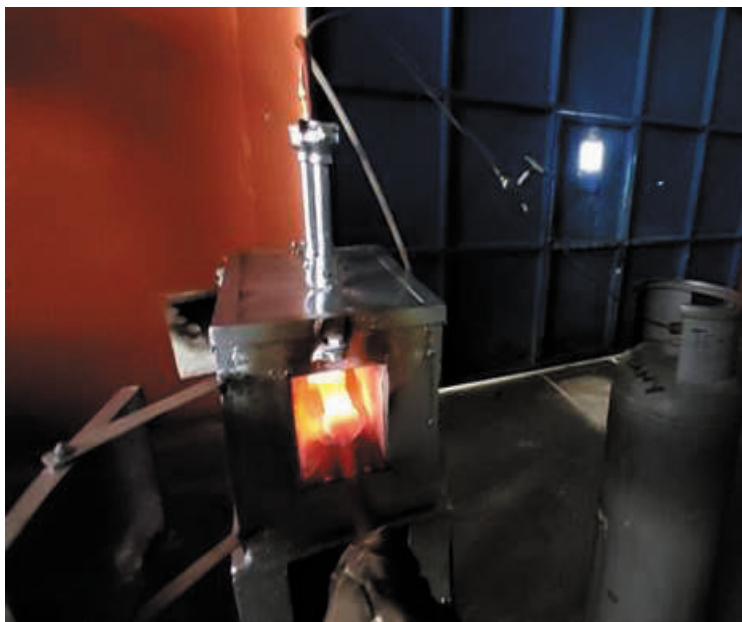
Fragua metalúrgica construida y en funcionamiento



Finalizada la construcción de la primera fragua metalúrgica a gas del estado Monagas, se procedió a realizar el forjado de una lámina de acero de alto carbono y, mediante distintos tratamientos térmicos y la aplicación de varios métodos de forja, se logró la creación de un cuchillo para taller; es el primero fabricado mediante forja no solamente en el Centro de Adiestramiento y Desarrollo Tecnológico (CADETEC), sino también en el estado mencionado.

Figura 7.

Fragua metalúrgica en funcionamiento.



Conclusiones

Los resultados obtenidos permitieron formular un conjunto de conclusiones, las cuales se exponen a continuación.

En primera instancia se logró trascender el diagnóstico situacional del Centro de Adiestramiento y Desarrollo Tecnológico (CADETEC), identificando las carencias críticas en el área de metalurgia y forjado de aceros al carbono. A partir de este hallazgo, se articularon estrategias técnico-académicas que no solo solventan un déficit de infraestructura, sino que garantizan un nivel óptimo de actividad práctica, alineando las capacidades del laboratorio con las exigencias de formación profesional del Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”, Extensión Maturín.

En términos de ingeniería conceptual, el éxito del prototipo radicó en la determinación rigurosa de variables críticas como la cinética térmica, la geometría de la cámara, y los gradientes de temperatura de calentamiento. Este estudio paramétrico fue el fundamento para la selección de la variante de diseño más eficiente, permitiendo la transición de un modelo abstracto a planos de fabricación de alta precisión. La selección estratégica de materiales y el cálculo estructural de los componentes aseguran que la fragua no solo cumpla con su función operativa, sino que posea una base teórica sólida respecto a su capacidad y seguridad termodinámica.

Un aporte fundamental del proyecto es la demostración de su viabilidad económica, a través de un análisis de costo-beneficio. Los resultados evidencian una rentabilidad superior en la construcción interna del equipo frente a la adquisición mediante compra genérica en el mercado industrial. Esta eficiencia financiera, sumada a la adaptabilidad del diseño “a medida”, demuestra que la gestión tecnológica institucional puede generar activos de alto valor técnico con una inversión optimizada, garantizando una autonomía operativa de largo plazo para el centro de adiestramiento.

Desde la perspectiva de la transferencia de calor y la ingeniería de procesos, la fragua metalúrgica a gas construida supera los métodos tradicionales de forja al ofrecer una combustión controlada mediante el sistema Venturi, lo que facilita una regulación precisa de la atmósfera interna. La construcción, ejecutada estrictamente bajo los lineamientos y cálculos derivados del diseño original, fue validada mediante protocolos de prueba que confirmaron un funcionamiento exitoso. Esto asegura una transferencia térmica homogénea hacia las piezas de acero, minimizando riesgos de descarburación o fallos estructurales durante las prácticas metalúrgicas.

Finalmente, el impacto de esta herramienta trasciende lo instrumental para insertarse en el ecosistema de innovación del CADETEC. Al

proporcionar un entorno seguro y tecnológicamente avanzado para el estudio de la plasticidad de los metales y los tratamientos térmicos, se potencia significativamente la calidad académica. Como prospectiva, la robustez del diseño actual permite proyectar la integración futura de sistemas de control automatizado y monitoreo digital, consolidando este prototipo como una plataforma escalable para la investigación aplicada y la excelencia en la ingeniería de materiales.

Referencias

Acero estructural Acero ASTM A36. (s.f). *Composición química del acero al carbono ASTM A36*.

ALISIMET (2021). ¿Cuáles son los principales tratamientos térmicos del metal? Valencia-España. <https://alsimet.es/es/noticias/principales-tratamientos-termicos-del-metal>

ASTM A240 (2025, 25 de mayo). ¿Qué es la norma ASTM A240. *Resumen de las especificaciones de la norma?* (Blog). <https://www.alekvs.com/es/what-is-astm-a240-overview-of-standard-specifications/>

Cabello, J. y Herrera, C. (2018). *Diseño y construcción de un horno tostador de café, tipo tambor rotatorio con capacidad de 40 kg, para los pequeños productores, de la hacienda Los Carlos, Cocollar, estado Sucre*. (Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero en Mantenimiento Mecánico, no publicado), Instituto Universitario Politécnico “Santiago Mariño”, Extensión Maturín, Estado Monagas – Venezuela.

Grado Material Mundial (2019). *Acero ASTM A36 propiedades, ficha técnica, dureza, densidad estructural*. <https://www.materialmundial.com/acero-astm-a36-propiedades-ficha-tecnica-estructural/>

- Hackett, M. (2019). *Forge, fire, quench: transformation processes of traditional blacksmithing into contemporary sculptural practices*. (Proyecto de Trabajo de Grado presentado para optar el título de Doctor en Filosofía, School of Art College of Design and Social Context, RMIT University - Australia).
- Hillenkamp, H. (2012). *Iron to live with*. New México – USA. <https://iron-to-live-with.com>
- Matmatch. (2022). *ASTM A36*. <https://matmatch.com/es/materials/minfm50563>
- Metalisteria v3. (2021, 30 de marzo). *Acero inoxidable 304: características y propiedades*. (Blog). <https://www.metalisteriav3.es/acero-inoxidable-304-caracteristicas-propiedades/>
- Monroy, E. (2022). *Diseño de una fragua a gas para forja con fines didácticos*. (Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Mecánico. Universidad del Salvador).
- Oropeza, A. (2014). *Transferencia de calor*. <https://www.academia.edu/8012938/transferencia-de-calor-libro>
- Tembladera, A. (2019). *Tecnología de construcción de una fragua y el forjado en el Instituto de Educación Tecnológica “Santiago Antúnez de Mayolo”* – Huancayo. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNCP_6d86468598ee7ba0a44866dddce08618/Details