

DESARROLLO E INSTRUMENTACIÓN DE UN BANCO DE ENSAYOS TERMOMECAÑICOS PARA LA GENERACIÓN DE COMPETENCIAS EN EL ALUMNO DE INGENIERÍA

Sebastián L. Russillo¹, Matías W. Orué², Rodrigo M. Agosta³, Andrés Giuliani⁴,
Justina M. Chavez⁵ y Victor H.J. Marelli⁶

¹ Grupo de Ing. Mecánica Aplicada - Dto. Acad. de Mecánica – UTN FR Santa Fe
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina- srussillo@frsf.utn.edu.ar

² Grupo de Inv. en Enseñanza de la Ing.- Dto. Acad. de Mecánica – UTN FR Santa Fe Lavaisse 610,
Santa Fe, Argentina - morue@frsf.utn.edu.ar

³ Grupo de Inv. en Enseñanza de la Ing.- Dto. Acad. de Mecánica – UTN FR Santa Fe Lavaisse
610, Santa Fe, Argentina - ragosta@frsf.utn.edu.ar

⁴ Grupo de Ing. Mecánica Aplicada - Dto. Acad. de Mecánica – UTN FR Santa Fe Lavaisse 610,
Santa Fe, Argentina - agiuliani@frsf.utn.edu.ar

⁵ Secretaría Académica – UTN Facultad Regional Santa Fe Lavaisse 610,
Santa Fe, Argentina- jchavesgalizzi@frsf.utn.edu.ar

⁶ Grupo de Ing. Mecánica Aplicada - Dto. Acad. de Mecánica – UTN FR Santa Fe
Lavaisse 610, Santa Fe, Argentina - vmarelli@frsf.utn.edu.ar

RESUMEN

El desarrollo tecnológico no sólo está cambiando la economía, sino también la naturaleza de los mercados de trabajo y de la mano de obra. En este contexto, las instalaciones termomecánicas siguen ocupando un espacio importante en la industria, particularmente, las instalaciones térmicas destinadas a la generación y transporte de calor entre fluidos. La generación y uso de vapor de agua para fines técnicos tiene una participación central en el ámbito de las industrias de proceso (calefacción de procesos en elaboración de lácteos, frigoríficos, plantas químicas, bebidas y alimenticias en general).

Para el funcionamiento seguro y eficiente de las mismas debe tenerse un conocimiento completo y tecnológicamente actualizado de los elementos que la conforman y su comportamiento bajo diferentes condiciones operativas.

Este trabajo pretende poner en evidencia las ventajas formativas de tener un banco de ensayos termomecánicos en las carreras de Ingeniería de la Facultad Regional Santa Fe de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN - FRSF), ya que representa un área de gran interés por su aplicación en la industria regional para los futuros profesionales que se forman en dicha Casa de estudios.

Este desarrollo se enmarca en el Proyecto de Investigación “Desarrollo e instrumentación de un banco de ensayos termomecánicos para la generación de competencias en el alumno de ingeniería con perspectiva hacia la transformación digital”, que se encuentra en etapa inicial, por lo que el mismo aborda de forma exploratoria las características de diseño y constructivas necesarias, para optimizar los recursos en la búsqueda del enfoque tecnológico aplicado que integre el conocimiento teórico adquirido en el aula, es decir, articular en el proceso de enseñanza-aprendizaje los conceptos teóricos con las experiencias que pueden ejemplificar, en un contexto real, la problemática que los alumnos de ingeniería podrían enfrentar en el espacio laboral profesional.

Palabras Clave: Termomecánica; Digitalización; Competencias; Enseñanza.



1. INTRODUCCIÓN

Las instalaciones térmicas ocupan un espacio importante en la mayoría de los sectores de consumo, ya sean del tipo industrial o el de los edificios públicos y comerciales. De acuerdo con el artículo publicado *Renewables 2021 Global Status Report* [1], los usos de energía térmica en 2018, que incluyen calentamiento de agua y calefacción, refrigeración de espacios y calor de procesos industriales, representaron más de la mitad (51%) del total de la energía final que se consume. Asimismo, según datos de la IEA [2], el 32% del consumo mundial de energía se emplea en la industria, y el 74% de esas necesidades energéticas en la industria son de calor. Las instalaciones térmicas destinadas a la generación y transporte de calor utilizan fluidos de distinta naturaleza para llevar a cabo un sinnúmero de operaciones y procesos. El vapor, el agua caliente y el aceite térmico sirven de medio calefactor, aunque el vapor saturado se considera el medio más eficaz de transmitir el calor en procesos industriales. A este le siguen los aceites térmicos y el agua caliente. Esta última suele tener más aplicaciones en sistemas de climatización de grandes espacios [3].

La generación y uso de vapor de agua y agua caliente para fines técnicos continúa teniendo una gran participación en el ámbito de las industrias de proceso de la zona de influencia de la FRSF_UTN. Ejemplo de esto lo representan las diversas empresas dedicadas a la elaboración de productos lácteos, frigoríficos de vacunos, porcinos y aves, plantas químicas, de elaboración de bebidas y alimenticias en general con las que cuenta nuestra región [4]. En ellas es posible encontrar equipos generadores de calor, sistemas de enfriamiento, bombas centrífugas y equipos de proceso que fundamentalmente funcionan como intercambiadores de calor.

Los objetivos globales de emisiones de CO₂ de la Agenda 2030 [5] y los costos energéticos demandan ciclos de mejora continua que afecten a la eficiencia de estas instalaciones, motivo por el cual la industria debe optimizar sus procesos y alcanzar un mayor ahorro en el consumo de los recursos. La clave para lograr estos objetivos reside en tener procesos cada vez más automatizados y contar con una buena monitorización de los consumos para su posterior análisis, de forma que se puedan determinar las oportunidades de mejora. En adición, para el funcionamiento seguro y eficiente de estas instalaciones, debe contarse con la posibilidad de regulación, control y medición de los parámetros de funcionamiento, además de un conocimiento completo y actualizado de los elementos que la conforman y su comportamiento bajo diferentes condiciones operativas. En este sentido, un resultado de aprendizaje que se podría incorporar en la planificación de las asignaturas destinatarias del proyecto sería optimizar el sistema en todas sus etapas; desde el muestreo de las variables físicas, hasta la generación de indicadores por medio de gráficas representativas de las dinámicas del sistema, en cada una de sus partes y en tiempo real [6].



Por otra parte, la sociedad demanda a las instituciones de educación superior respuestas a la problemática de globalización y el desarrollo tecnológico; ya a fines del siglo pasado en Europa se genera el Espacio Europeo de Educación Superior [7], a partir de allí inician cambios necesarios para que los estudiantes desarrollen la capacidad de “aprender a aprender”, y aparece el proyecto Tuning [8] para la formación basada en competencias [9]. Actualmente, los docentes de ingeniería conocemos las instituciones y organismos que diseñan y proponen bases normativas y recomendaciones para mejoras en los procesos de enseñanza y aprendizaje; tal es así, y de forma preponderante en el ambiente de las carreras de ingeniería, que el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI), concibe documentos para formalizar los conceptos de competencias en el ámbito específico de la ingeniería [10], y en 2018 presentó su reconocido Libro Rojo con el objetivo de actualizar y consolidar el actual modelo de formación de ingenieros [11]. Por este motivo, para la enseñanza de la ingeniería, es conveniente contar con equipamiento moderno de tal manera que las universidades se conviertan en un centro de formación integral para diferentes niveles de conocimiento y garanticen el egreso de profesionales capaces de insertarse y desempeñarse en los contextos laborales actuales [12]; por lo que el laboratorio tiene un rol fundamental para la integración de la teoría y la experimentación [13].

2. OBJETIVOS

Mediante este trabajo, se busca mostrar y poner en debate los resultados preliminares alcanzados en las etapas de documentación y diseño desarrolladas del proyecto del banco de ensayos, siendo el objetivo principal del proyecto lograr un diseño que combine conceptos tradicionales de termodinámica con nuevas tecnologías de medición y visualización gráfica. De esta forma, el banco de ensayos permitirá realizar pruebas en equipos de intercambio de calor y estudiar su comportamiento real.

Además, su implementación posibilitará recopilar información y analizar variables relacionadas con el funcionamiento de equipos industriales de intercambio térmico, utilizar herramientas de simulación para estudiar los fenómenos físicos y buscar mejoras operativas para un uso eficiente de los equipos. De igual manera, se podrán desarrollar actividades de laboratorio para formar las competencias necesarias en la aplicación de los fenómenos de transferencia de calor en sistemas térmicos.

3. PUNTO DE PARTIDA

3.1. Actividades reservadas y Competencias

Conforme describe el “Libro Rojo” del CONFEDI [11], y la Resolución 1254/2018 del Ministerio de Educación de la Nación [14], las “actividades profesionales reservadas exclusivamente al

título” refieren a aquellas habilitaciones que involucran tareas que tienen un riesgo directo sobre la salud, la seguridad, los derechos, los bienes o la formación de los habitantes, lo que anteriormente se denominaba “incumbencias” en la Ley de Educación Superior [15]. En el caso de Ingeniería Mecánica es concreta la relación con el área de las tecnologías del calor y los sistemas térmicos, y en la Tabla 1 se realiza una síntesis de dichas actividades y competencias para este contexto.

Tabla 1. Resumen de Actividades Reservadas y Competencias Específicas para Mecánica, relativas al área de sistemas térmicos

Actividad Reservada	Competencia Específica
1. Diseñar, proyectar y calcular sistemas térmicos.	1.1. Diseñar y desarrollar proyectos de sistemas térmicos.
2. Controlar la construcción, operación y mantenimiento de sistemas térmicos.	2.2. Realizar la gestión del mantenimiento. 2.3. Operar y controlar proyectos de ingeniería mecánica.
3. Certificar el funcionamiento y/o condición de uso o estado de los sistemas térmicos.	3.1. Determinar y certificar el correcto funcionamiento y condiciones de uso de lo descripto. 3.2. Interpretar la funcionalidad y aplicación.
4. Proyectar y dirigir lo referido a la higiene y seguridad en lo concerniente a su actividad profesional.	4.1. Proyectar y dirigir en lo referido a la higiene y seguridad en los proyectos de ingeniería mecánica según lo descripto.

3.2. Generador de vapor

Actualmente, en el Laboratorio de Ing. Mecánica de la Facultad Regional Santa Fe, se cuenta con una serie de equipos e instalaciones que pretenden ser utilizadas como base para el desarrollo de este proyecto. Las mismas surgieron como iniciativa de la cátedra “Tecnología del Calor” perteneciente al 4º año de la carrera Ingeniería Mecánica, con el propósito de disponer de material didáctico para desarrollar diversas actividades relacionadas con la enseñanza práctica de la materia y funcionar con la idea de Laboratorio de vapor. A partir del año 2018 se puso en funcionamiento un equipo generador de vapor con capacidad de producir 200 [kg/h] de vapor saturado y una presión máxima de 16 [kg/cm²] (Figura 1). Su provisión bajo requerimientos de la FRSF-UTN, fue realizado por una empresa local. Cuenta con todos los elementos de seguridad y sistemas necesarios para un funcionamiento completamente automático. En la elección, la tipología acuotubular prevaleció sobre la humotubular, debido a la ausencia de riesgo de explosión.



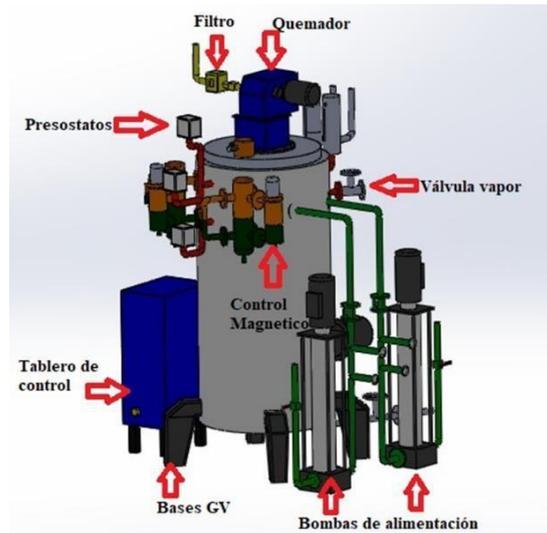


Figura 1: (a) Caldera instalada en taller del Dpto. de Ingeniería Mecánica UTN FRSF.
 (b) Diseño 3D de la caldera y detalle de componentes.

Hoy en día se utiliza para la realización de estudios de campo, reconocimiento de componentes, mediciones de combustión y ensayos de rendimiento.

3.3. Otros equipos

Como complemento del generador de vapor, se dispone de una serie de equipos y dispositivos característicos de instalaciones térmicas adquiridos por el Departamento Ing. Mecánica a lo largo de los años y también gracias al aporte y colaboración de empresas de la zona y docentes de la casa. Los mismos se utilizan habitualmente como elementos demostrativos en diferentes cátedras de la carrera. Entre los más importantes se encuentran:

- Intercambiadores de calor de placas.
- Intercambiador de calor de casco y tubos.
- Intercambiador de calor de tubos aletados.
- Torre de enfriamiento de agua tiro forzado.
- Bomba centrífuga.
- Válvula reductora de presión de vapor.
- Válvula termostática para vapor.
- Trampas de vapor de diferentes tipos (termodinámica, de flotante y termostática).

4. METODOLOGIA

Para alcanzar los objetivos, se definieron etapas de desarrollo para que el avance se produzca de forma organizada, con resultados medibles, correctamente fundamentados mediante la recopilación de información.

En un primer momento, se consideraron especialmente las experiencias prácticas de interés para las cátedras del área, incluyendo las técnicas industriales de uso del vapor y agua caliente como fuente de calor, así como la infraestructura requerida para su manipulación.

Con este análisis preliminar, se planteó un esquema general de las instalaciones y equipos necesarios que incluyó el estudio de:

- Sistemas de tuberías de vapor y condensado,
- Intercambiadores de calor,
- Sistemas de calentamiento y enfriamiento de agua,
- Sistemas de medición de caudal, presión y temperatura.

Por último, se procedió al diseño de las instalaciones y sistemas, en base a las necesidades y las restricciones de espacio existentes, materiales, elementos que pudieran asociar riesgos a la salud por su manipulación, entre otros.

5. RESULTADOS

Desde el inicio del proyecto, se pudo avanzar en una serie de actividades que incluyen el relevamiento de las asignaturas relacionadas, actividades potenciales que se podrían desarrollar, acercamiento a las competencias que se pueden trabajar y su relación con los alcances y finalmente una propuesta de diseño de las instalaciones.

5.1. Asignaturas relacionadas

Se realizó un relevamiento e identificación de las cátedras afines a la temática que pretende abordar el proyecto, o que tienen un interés particular en utilizar el banco para demostraciones u obtención de datos, aunque no tengan una relación intrínseca con el área de conocimiento mencionada.

En las Tablas 2 y 3 siguientes se muestra el impacto esperado del desarrollo dentro del plan de estudios de cada uno de los de los departamentos académicos de UTN Santa Fe.

Tabla 2. Ingeniería Mecánica

Asignaturas relacionadas	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Física II (2° Nivel) ○ Termodinámica (3° Nivel) ○ Tecnología del calor (4° Nivel) ○ Mecánica de los fluidos (4° Nivel) ○ Instalaciones Industriales (4° Nivel) ○ Electrónica y Sistemas de Control (4° Nivel) ○ Maquinas Alternativas y Turbomáquinas (5° Nivel) ○ Diseño de Inst. y equipos en Termomecánica (electiva. 5° Nivel) ○ Aire Acondicionado y calefacción (electiva. 5° Nivel) 	<p>Relacionadas 20%</p> <p>Otras 80%</p>

Tabla 3. Impacto de la temática en las otras ingenierías de UTN FRSF

Ingeniería Industrial	Ingeniería Eléctrica
<p>Relacionadas 16%</p> <p>Otras 84%</p>	<p>Relacionadas 13%</p> <p>Otras 87%</p>
Ingeniería Civil	Ingeniería en Sistemas
<p>Relacionadas 9%</p> <p>Otras 91%</p>	<p>Relacionadas 8%</p> <p>Otras 92%</p>

5.2. Actividades propuestas

Como resultado del relevamiento realizado entre las cátedras afines de los diferentes departamentos de estudio, se han propuesto una serie de actividades prácticas las cuales podrían llevarse a cabo con el banco de ensayos:

- Medición de la eficiencia de generadores de vapor por vía directa e indirecta.
- Eficiencia en instalaciones de vapor, pérdidas y aislaciones.
- Determinación y Apreciación de la variación del título del vapor producido por el generador de vapor en relación con la producción de vapor.

- Determinación de consumo de vapor de equipos.
- Comparación de tecnologías de intercambiadores de calor.
- Determinación de los coeficientes peliculares en los IQ.
- Comportamiento de trabajo de distintos tipos de trampas de vapor, con y sin subenfriamiento de condensado.
- Ensayos de una torre de enfriamiento. Estudio de parámetros de funcionamiento.
- Ensayos de intercambiadores de tubos aletados aire-agua.
- Manipulación de variables (válvulas reguladoras de temperatura y presión).
- Recolección y gestión de datos para el desarrollo de curvas características y respuestas transitorias.

5.3 Esquema de instalación propuesto.

En base al análisis de los requerimientos y al material disponible, se ha planteado el esquema operativo de la figura 2. En el mismo se pueden distinguir dos circuitos principales que hacen a la operatividad del mismo:

- Circuito de Vapor–Condensado: Este consiste en un circuito que en su tramo inicial recibe vapor desde el distribuidor del generador de vapor. Previo al ingreso al banco se encuentra un separador de condensado (SC) con una trampa de vapor (TTD) para el drenado de condensado de la cañería hacia una batea de desagüe. Luego del separador se dispone de un cuadro de reducción-regulación de presión (VRP) para poder ajustar los parámetros del vapor de entrada según las necesidades del banco. A partir de ahí la cañería de vapor toma dos caminos:
 - CIQ Circuito intercambiadores: En su comienzo dispone de una válvula termorreguladora (VTR), seguido por dos intercambiadores de calor dispuestos en paralelo (uno del tipo casco y tubo (IC C+T) y uno del tipo de placas (ICP1), ambos para intercambio vapor-agua), con la opción de seleccionar cual poner en servicio mediante el accionamiento de válvulas de maniobra. El caudal de vapor se regula automáticamente por medio de la VTR en función de la temperatura deseada en el agua a la salida de los intercambiadores. El vapor una vez terminado su recorrido por el interior de los intercambiadores continua como condensado, y se dirige hacia una batea en donde se encuentran tres trampas de vapor en paralelo (TTD – TF – TTE).

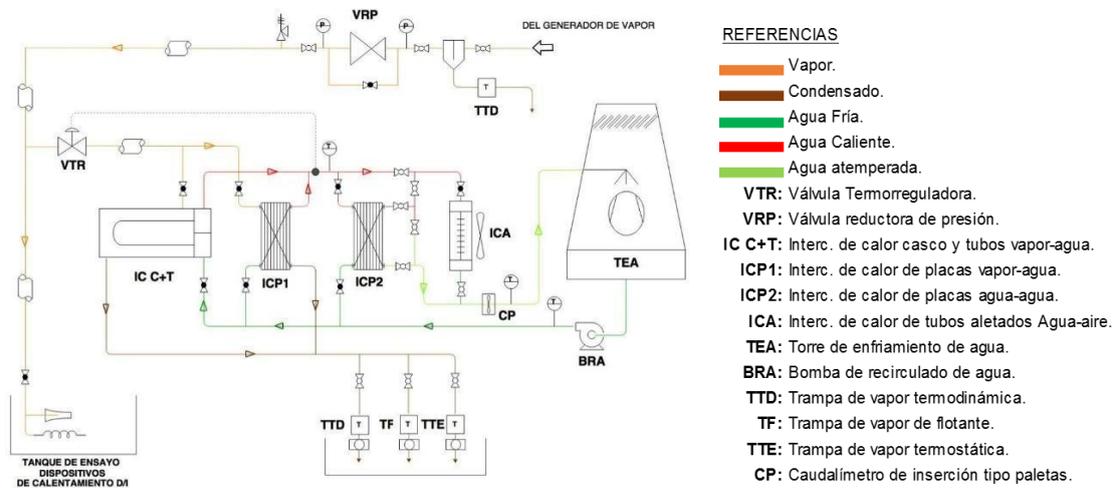


Figura 2: Esquema general del banco de ensayos propuesto y referencias de equipos.

- CB Circuito tanque: El vapor finaliza su recorrido en un tanque de ensayos en donde se podrá emplear para la prueba de diversos dispositivos de calentamiento de tipo directo o indirecto.
- Circuito de Calefacción-Refrigeración de agua: Consiste en un circuito cerrado, que partiendo de una torre de enfriamiento (TEA) de donde proviene agua fría, que mediante una bomba de recirculado (BRA), es enviada para su calefacción a los intercambiadores de C+T (vapor – agua) y ICP1 (vapor – agua). El agua caliente obtenida a la salida de estos intercambiadores tiene la posibilidad de pre-enfriarse en un tercero ICP2 (intercambiador de placas agua – agua), pasar por un intercambiador de tubos aletados aire-agua (ICA) o pasar consecutivamente por estos últimos para finalmente entrar a la torre de enfriamiento para su posterior refrigeración, cerrando de esta manera el circuito.

6. CONCLUSIONES

El desarrollo del banco de ensayos propuesto representa un recurso didáctico de gran interés y presenta un considerable impacto dentro del plan de estudios de la carrera Ing. Mecánica de la UTN-FRSF. Su implementación ofrece la oportunidad de enriquecer el proceso de aprendizaje al proporcionar un entorno práctico donde los estudiantes pueden, por ejemplo, aplicar y experimentar los conceptos teóricos abordados en diversas cátedras. Esto contribuye a una formación más integral y aplicada en ingeniería. Además, se pueden involucrar cátedras de formación básica de todas las carreras de ingeniería, como Física y Estadística. Esto demuestra

la versatilidad y aplicabilidad de la instalación en los diseños curriculares actuales con enfoque en competencias.

Desde un punto de vista más general, la planta de ensayos ofrece la posibilidad de integrar de manera horizontal y vertical los contenidos de las diferentes carreras de ingeniería. Los estudiantes tienen la oportunidad de aplicar sus conocimientos en un sistema físico, lo que les permite realizar análisis de datos concretos y predecir comportamientos a través de la utilización de modelos de simulación basados en magnitudes reales.

Dicho esto, y tomando en cuenta que solo se han obtenido resultados preliminares, tener un sistema físico didáctico, pero con toda la potencialidad de simular un entorno industrial verdadero, constituye una herramienta de gran eficacia para el aprendizaje significativo en las carreras de ingeniería.

Por último, se plantea en una etapa posterior instrumentar el mismo con diversos sensores en diferentes puntos de interés del circuito para monitorear y registrar las principales variables involucradas (presión, temperatura, caudal) en los ensayos que se pretenden realizar.

REFERENCIAS.

- [1] *REN21. Renewables 2021 Global Status Report*. ISBN 978-3-948393-03-8 (REN21 Secretariat. Paris). 2021.
- [2] International Energy Agency (IEA), *World Energy Statistics*, online tables. 2016.
- [3] Comité Argentino del Consejo Mundial de Energía. *“Guía de Eficiencia Energética en Sistemas de Vapor”*. CACME, 2020.
- [4] Gobierno de la Pcia. de Santa Fe/ FISFE, *“Oferta Industrial de Santa Fe”*. Disponible en <http://www.oisfe.com.ar>.
- [5] Organización de las Naciones Unidas, *“Transformar nuestro mundo. La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible”*, Asamblea General ONU, Res 70/1, 2015.
- [6] L. A. Flores, L. A. y González, P. S. V. *“Modelo de base para la transformación digital en la Industria 4.0”*, en 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education Caribbean Conference for Engineering and Technology, 2021.
- [7] Fernández, A.B. *“Desarrollo y evaluación de competencias en educación superior”*. Narcea Ediciones, 2009.
- [8] Tuning América Latina, *“Reflexiones y perspectivas de la Educación Superior en América Latina”*. Universidad de Deusto, 2007.
- [9] Arroyo, B. S. *“La formación en competencias: un desafío para la educación superior del futuro”*. Universidad Politécnica de Cataluña, 2005.
- [10] Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI), *“Competencias en Ingeniería”*. Universidad FASTA Ediciones, 2014.
- [11] Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI), *“Propuesta de estándares de segunda generación para la acreditación de carreras de ingeniería en la república argentina (Libro Rojo de CONFEDI)”*. Universidad FASTA Ediciones, 2018.



[12] Osorio, Y. W. *“El experimento como indicador de aprendizaje”*. Boletín PPDQ, No. 43, pp. 7-10, 2004.

[13] Marín, Q. M. *“El trabajo experimental en la enseñanza de la química en contexto de resolución de problemas”*. Revista EDUCyT, pp. 1, 37-52, 2010.

[14] Resolución 1254/2018. ALCANCES DEL TITULO – DETERMINACION. Ministerio de Educación de la Nación Argentina. 2018. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/310000-314999/310461/norma.htm> .

[15] Ley N° 24.521. Ley de Educación Superior. Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina. 1995. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/25000-29999/25394/texact.htm#:~:text=ARTICULO%203%C2%BA%20%E2%80%94%20La%20Educaci%C3%B3n%20Superior,las%20actitudes%20y%20valores%20que>