



Investigación aplicada e innovación

Volumen 14, 2020 Lima, Perú • ISSN 1996-7551 | ISSN-L 2707-9368

Harry Yapu

Estudio de viabilidad de cinco centrales térmicas solares en La Joya, Arequipa

Pág. 5

Carlos Otiniano Noé

Plataforma IIoT para el monitoreo y operación remota aplicado a sistemas de control de movimiento industrial

Pág. 19



TECSUP

Pasión por la Tecnología

www.tecsup.edu.pe



INNOVACION

Estudio de viabilidad de cinco centrales térmicas solares en La Joya, Arequipa

..... Harry Yapu
5

Plataforma IIoT para el monitoreo y operación remota aplicado a sistemas de control de movimiento industrial

..... Carlos Otiniano Noé
19

Implementación de observadores dedicados para la detección de fallos de un intercambiador

..... Julio Mosaja
..... Luis Arias
33

Impacto económico de las impresoras 3D. ¿La 4.ª revolución industrial?

..... José Rojas Gómez
..... Carolina Guerra Ortiz
..... McDonald Villacorta Choque
49

Actitudes y prejuicios sobre la matemática: buscando respuestas desde la mirada de los estudiantes

..... Luis Almanza
..... David Laura
59

Director: Antonio Lazo de la Vega, Tecsup

Editor en jefe: Jorge Bastante Pazos, Tecsup.

Comité editorial: Aurelio Arbildo, *Inducontrol*; Carlos Hernández, *Alicorp*; Elena Flores, *UTEC*; Jack Vainstein, *Vainstein Ingenieros*.

Coordinadora editorial: Celene Alata Carhuavilca

Colaboradores: Arturo Rojas, Carlos Nina, Elena Flores, Enrique Ames, Eunice Villacaña, Henry Gomez, Hernando Prada, Juan Roldan, Luis Vizarrata, Milton Chuquiruna, Rocío Córdova, Ramón Robalino, Roberto Delgado.

Correctora de estilo: Laura Gómez Rojas

Diagramación: Tarea Asociación Gráfica Educativa

Impresión: Tarea Asociación Gráfica Educativa
Pasaje María Auxiliadora 156-164, Lima 5, Perú
Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú:
2007-04706
Publicado en diciembre 2020

Tecsup:

Sede Norte:

Vía de Evitamiento s/n Víctor Larco Herrera. Trujillo, Perú.

Sede Centro:

Campus Lima:
Av. Cascanueces 2221 Santa Anita. Lima, Perú.

Sede Sur:

Urb. Monterrey Lote D-8 José Luis Bustamante y Rivero. Arequipa, Perú.

Publicación anual:

Tecsup se reserva todos los derechos legales de reproducción del contenido, sin embargo autoriza la reproducción total o parcial para fines didácticos, siempre y cuando se cite la fuente.

Publicación Indexada en Latindex.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Suscripciones:

investigacioneinnovacion@tecsup.edu.pe

Nota: Las ideas y opiniones contenidas en los artículos son de responsabilidad de sus autores y no refleja necesariamente el pensamiento de nuestra institución.



Revisa todas las ediciones de la Revista I+i en versión digital

EDITORIAL

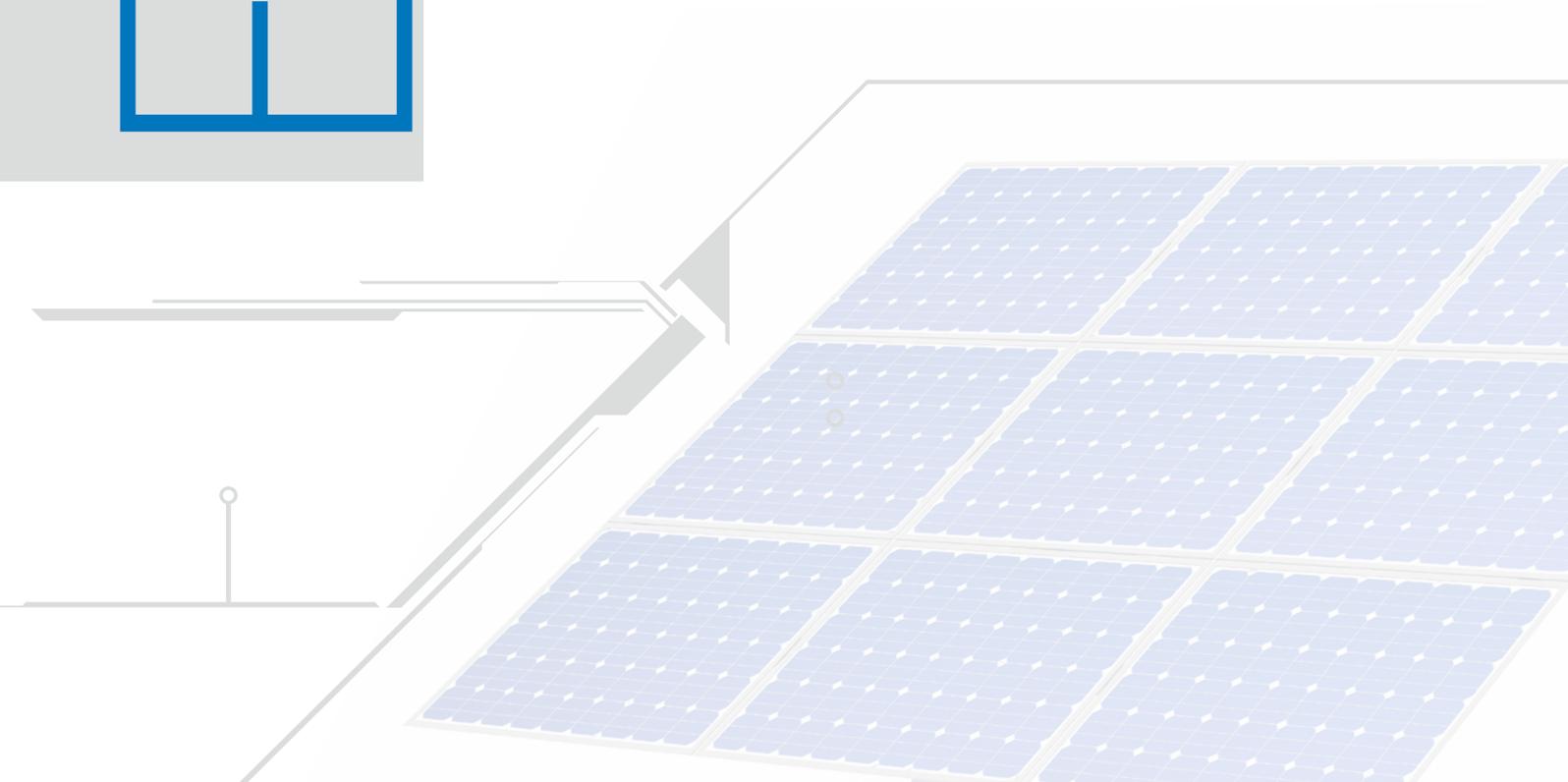
Apreciados lectores:

Es un gran honor presentarles la edición número catorce de nuestra revista en un año particularmente complejo para el mundo y más complejo aún para nuestro país. Este 2020 será recordado como el año en que rompimos muchos paradigmas y en el cual hemos sido testigos de una transición importante de servicios tradicionalmente presenciales a servicios remotos, entre ellos la educación. Nuestra revista está siendo parte de esta transición y por primera vez será distribuida en formato digital. Encontraremos artículos relacionados con IIoT (*Industrial Internet of Things*), mantenimiento preventivo, la cuarta revolución industrial, energías renovables, y eficacia del aprendizaje de matemáticas. Estos artículos son el resultado de investigaciones realizadas por profesionales tanto de nuestra institución como externos.

Valoramos la dedicación de los autores para la elaboración de los artículos, así como el trabajo del equipo de producción y edición que permite lograr una revista que año a año refleja calidad, innovación, y trabajo colaborativo, todos ellos principios declarados por nuestra institución.

Tengo la convicción de que esta edición satisfará en gran medida las expectativas de los lectores, marcará un hito en lo que a elaboración colaborativa de artículos se refiere, y marcará la línea del siguiente número a publicarse en 2021. Si usted está interesado en alguno de los artículos exhibidos, puede ponerse en contacto con los autores. De la misma manera, si quisiera colaborar en futuras ediciones, sienta la total libertad de comunicarse con nuestra coordinadora editorial quien gustosamente lo guiará en el proceso.

Antonio Lazo de la Vega Velarde
Director Académico Nacional



Las centrales térmicas solares con
almacenamiento térmico
son una alternativa de generación limpia de
energía, especialmente para la zona sur del Perú.



Estudio de viabilidad de cinco centrales térmicas solares en La Joya, Arequipa

Feasibility Study of Five Concentrated Solar Power in La Joya, Arequipa

RESUMEN

Este artículo trata sobre el cálculo de LEC (costo nivelado de energía) de cinco plantas CSP (centrales térmicas solares) de diferentes capacidades 20 MWe, 50 MWe, 100 MWe, 150 MWe y 200 MWe. Los cálculos toman como referencia los costos de generación de la planta Gemasolar (España) actualizados hasta el 2018, el LEC es calculado sobre la base de la planta óptima que nos configura el programa SAM (modelo de asesor de sistema), realizando en él dieciocho simulaciones por cada potencia de planta para determinar cual tiene el valor de LEC mínimo. Como las simulaciones están proyectadas para la ciudad de Arequipa, se usará la radiación directa de diseño de 1000 W/m² [3]. Esta radiación directa, se introdujo en el SAM para obtener la planta óptima en cada simulación. También se revisó el LEC para la proyección de ochos horas de TES (energía de almacenamiento térmico), usando valores del diseño de un trabajo de fin de máster proyectado para la ciudad de Arequipa para una planta termosolar de 100 MWe. Entre los principales hallazgos se encuentran que, si es viable la generación eléctrica con un LEC menor a la tarifa BT5B de SEAL, la planta de 100 MWe de un trabajo de fin de máster es posible, pero no es la mejor planta, ya que una planta de 200 MWe tiene menor LEC que esta. También se halló que la planta de 200 MWe y 8 horas de almacenamiento térmico es la mejor planta para la ciudad de Arequipa, pues tiene 2,73 % menos de costo que el LEC de la tarifa local BT5B.

ABSTRACT

This article deals with the calculation of LEC (levelized cost of energy) of five CSP (Concentrated solar power) plants of different capacities 20 MWe, 50 MWe, 100 MWe and 200 MWe, the calculations take as a reference the generating costs of the plant Gemasolar, updated in 2018, where the LEC is based on the optimal plant configured by the SAM (System Advisor Model) software, performing eighteen simulations for each plant power to determine which has the minimum LEC value. This LEC is also considered for the projection of eight hours of TES (Thermal Energy Storage) using design data out from a master's thesis project proposal for the city of Arequipa related to a 100 MWe solar thermal plant. Among the main findings is that, if electricity generation with an LEC lower than SEAL's BT5B rate is feasible, that the 100 MWe plant of a master's thesis is possible, even when it is not the best plant, since a 200 MWe plant has lower LEC than this one. It was also found that the 200 MWe plant and 8 hours of thermal storage is the best plant for the city of Arequipa, since it has 2.73 % less cost than the LEC of the local BT5B rate.



Palabras Claves

Central térmica solar, LEC, CSP, DNI.

Key words

Concentrated solar power, LEC, CSP, DNI.

INTRODUCCIÓN

Las centrales térmicas solares (CSP) con almacenamiento térmico son una alternativa de generación limpia de energía, especialmente para la zona sur del Perú. El departamento de Arequipa recibe de radiación directa normal (DNI) de 2632 kWh/m²/año [6] [5], siendo las recomendaciones para el diseño de centrales térmicas solares de 1800 kWh/m²/año o más [1].

En el caso peruano, el consumo de energía hasta el año 2014 fue de 730 mil terajoules, teniendo en cuenta que el 80 % de la energía generada se dio por combustibles fósiles. Esto es un riesgo para el futuro, ya que Perú no cuenta con reservas energéticas de combustibles fósiles. Además, las proyecciones de demanda energética para 2025 se estiman en 1 millón 300 mil terajoules [10] y este escenario resulta preocupante.

El departamento de Arequipa cuenta con dos plantas fotovoltaicas de 44 MW denominadas Repartición y Majes; sin embargo, con los estudios se pretende evaluar el costo (LEC) que tendría la generación a través de centrales térmicas solares con almacenamiento térmico. Para ello, se considerará que la investigación abarcará plantas de 50 MWe, 100 MWe, 150 MWe y 200 MWe de potencia eléctrica generada, aprovechando los parámetros de trabajo de la planta Gemasolar en Sevilla, España, de 19,9 MWe. Además, se generará un gráfico comparativo con el costo de generación eléctrica del proveedor SEAL (Arequipa) para una potencia contratada de 0,6 kW en la tarifa BT5B Residencial [11] para analizar su viabilidad.

Todos los valores de referencia y las potencias de CSP proyectadas serán cargados al programa SAM, para generar simulaciones de las plantas óptimas y, después, descargar los datos en tablas de Excel y tratarlos con Matlab para encontrar el mínimo LEC para las horas de almacenamiento correspondientes. El estudio realizará 19 simulaciones (0 a 18 TES) por cada CSP proyectado y una simulación extra para encontrar el diseño óptimo, lo que dará un total de 152 simulaciones.

C_T	Coste del terreno
C_L	Precio del terrero eriazo
A_T	Área total ocupada
A_H	Área del heliostato
N_H	Número de heliostatos
C_H	Coste del heliostato
P_H	Precio del heliostato
C_{TTH}	Coste de la torre
C_{Torre}	Costo de torre de referencia
THT	Altura de torre

C_R	Coste del receptor
C_{Pref}	Coste del receptor de referencia
A_R	Área del receptor de estudio
A_{Pref}	Área del receptor de referencia
C_{MS}	Coste de almacenamiento en sales fundidas
C_{MSRef}	Coste de almacenamiento de referencia
Q_{alm}	Calor almacenado
W_{ciclo}	Potencia eléctrica de la planta
η_{ciclo}	Eficiencia del ciclo
$\eta_{parásitas}$	Eficiencia debido a pérdidas
h_{TES}	Horas de almacenamiento proyectadas
C_{BOP+GV}	Coste del bloque de potencia y generador
C_{BOPRef}	Costo del bloque de potencia de referencia
$P_{in-exchanger}$	Potencia térmica entrante al intercambiador
$P_{Turbina,ref}$	Potencia de la turbina de referencia
C_D	Costos directos
C_{ID}	Costos indirectos
I_T	Inversión total
FCR	Ratio de gastos fijos
k_d	Tasa de interés real de la deuda
$k_{insurance}$	Tasa de seguro anual
n	Vida útil de la planta en años
$C_{O\&M}$	Costes de operación y mantenimiento
LEC	Levelized Energy Cost
DNI	Direct Normal Irradiation
CSP	Concentrated Solar Power

METODOLOGÍA

Detalles de las CSP de estudio

Las cinco plantas estarán proyectadas en la siguiente ubicación:

- 19,9 MWe, Gemasolar, está situada en el término municipal de Fuentes de Andalucía, en la provincia de Sevilla, España.
- 50 MWe, planta termosolar de receptor central proyectada para el departamento de Arequipa, Perú.
- 100 MWe, planta termosolar de receptor central proyectada para el departamento de Arequipa, Perú.
- 150 MWe, planta termosolar de receptor central proyectada para el departamento de Arequipa, Perú.
- 200 MWe, planta termosolar de receptor central proyectada para el departamento de Arequipa, Perú.

Las especificaciones generales, parámetros referenciales, técnicos y económicas, para las cinco CSP de estudio, quedarán resumidas en las siguientes tablas del 1 al 5:

Tabla 1
Especificaciones generales de las diferentes centrales térmicas solares

Nombre	CSP-1 (Gemasolar)	CSP-2	CSP-3	CSP-4	CSP-5
Capacidad	19,9 MWe	50 MWe	100 MWe	150 MWe	200 MWe
Localización	La Luisiana, Sevilla, España	La Joya, Arequipa, Perú			
Longitud / Latitud	37°33'38,2"N / 5°19'53,7"W	16°44'21,0"S / 71°50'59,0"W	16°44'21,0"S / 71°50'59,0"W	16°44'21,0"S / 71°50'59,0"W	16°44'21,0"S / 71°50'59,0"W
Fecha de operación	Noviembre, 2010	-	-	-	-
Área total (km ²)	17 936 3925	23 0043 996	46 296 198	70 881 291	98 465 328
Radiación directa (W/m ²)	-	1000	1000	1000	1000

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2
Parámetros fijos referenciados de CSP-1 (Gemasolar)

Área heliostato	m ²	115,7
Coficiente del coste de la torre	-	0,5796
Coficiente exponencial coste de la torre	-	0,012
Área receptor de referencia	m ²	300
Potencia térmica sobre el receptor de referencia	MWt	120
Coficiente receptor	-	0,8
Parásitas	-	0,89
Potencia del BOP	MWe	19,9
Coficiente BOP	-	0,8
Plant life time	años	30
FCR	-	0,09883
Disponibilidad de la planta	%x1	0,93

Fuente:[4].

Tabla 3
Valores técnicos de las plantas de estudio

		CSP-1 (Gemasolar) [4], [2]	CSP-2	CSP-3	CSP-4	CSP-5
Potencia de la turbina	kWe	19900	50000	100000	150000	200000
Número de heliostatos	-	2650	3682	7410	11345	15760
Altura de la torre	m	140	133,25	186,66	224,22	240,71
Diámetro de receptor	m	8,92	9,61	16,43	18,17	22,85
Altura de receptor	m	10,71	12,34	15,32	19,95	21,74
Área del receptor considerado	m ²	300,13	372,60	790,76	1138,96	1560,71
Eficiencia del BOP considerado	-	0,4248	0,4493	0,4493	0,4493	0,4493
Horas de almacenamiento térmico	h	15	0 a 18	0 a 18	0 a 18	0 a 18
Potencia térmica para la turbina en punto diseño	MWt	52,64	125,04	250,08	375,12	500,15

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4
Valores económicos de las plantas de estudio

		CSP-1 (Gemasolar) [2]	CSP-2	CSP-3	CSP-4	CSP-5
Precio base heliostato con seguimiento	€/m ²	145	145	145	145	145
Coste del terreno	€/m ²	2,00	0,97	0,97	0,97	0,97
Coste del receptor de referencia	€/kWt	200	200	200	200	200
Coste del almacenamiento térmico	€/kWht	30	30	30	30	30
Coste del BOP (Incl. intercambiador y generador)	€/kWe	1350	1350	1350	1350	1350
Indirectos	%	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
Coste de operación y mantenimiento	€/kWe	65	65	65	65	65

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5
Parámetros financieros de referencia

Parámetros financieros	Valor
Tasa de seguro anual ($K_{insurance}$)	1 %
Tasa de interés real de la deuda (K_d)	8 %
Vida útil de la planta (n, años)	30
Disponibilidad de la planta	93 %
Costos indirectos	16,50 %
Subsidios	No
Apoyo fósil	No

Fuente:[9].

Cálculo del costo nivelado de energía (LEC)

Para calcular el LEC, es necesario conocer los costes directos e indirectos que nos arrojará el costo total de la planta. Por ello, desarrollaremos cada uno:

Costo del terreno

El coste del terreno será el costo del terreno eriazado (C_L) y el área total necesaria por la planta (A_T). [8]

$$C_T = C_L * A_T \quad (1)$$

Área del terreno

El área del terreno será el producto del área ocupada por los heliostatos (A_H) y el número de heliostatos, todos ellos multiplicados por un factor 4,5 veces del área reflectiva y un incremento del 30 % para los elementos como tanques, torre, equipos, etc. [9]

$$A_T = A_H * N_H * 4.5 * 1,3 \quad (2)$$

Costo del heliostato

El costo del heliostato es el precio del heliostato (P_H) por metro cuadrado y el área del heliostato (A_H). [8]

$$C_H = P_H * A_H \quad (3)$$

Costo de la torre

El costo de la torre se calcula en base al costo de la torre de referencia (C_{Torre}) que es de un valor de $0,5796 * 10^6$ euros y la altura de la torre (THT). [1]

$$C_{TTH} = C_{Torre} * e^{THT} \quad (4)$$

Costo del receptor

El costo del receptor se calcula sobre la base del costo del receptor de referencia (C_{Pref}) multiplicado por el cociente entre área del receptor de estudio (A_R) y el área del receptor de referencia (A_{Rref}) elevado todo a un exponente de 0,8 aunque en la bibliografía [1] recomienda el valor de 0,7.

$$C_R = C_{Rref} * \left(\frac{A_R}{A_{Rref}}\right)^{0,8} \quad (5)$$

Costes de almacenamiento térmico

El costo de almacenamiento será el producto del costo de almacenamiento de referencia (C_{MSref}) por el calor de almacenamiento (Q_{alm}), teniendo en cuenta que el calor de almacenamiento depende de las horas de TES que proyectamos en la planta. [4]

$$C_{MS} = C_{MSref} * Q_{alm} \quad (6)$$

$$Q_{alm} = \frac{\dot{W}_{ciclo} * h_{TES}}{\eta_{ciclo} * \eta_{parásitas}} \quad (7)$$

Costos del bloque de potencia y generador

Este costo del bloque de potencia (C_{BOP+GV}) es el costo del bloque de potencia de referencia (C_{BOPref}) y el cociente de la potencia de ingreso intercambiador entre la potencia de la turbina de referencia ($P_{Turbina,ref}$) multiplicado por la eficiencia del ciclo para el bloque de potencia (η_{ciclo}) elevado al exponente 0,8. [1]

$$C_{BOP+GV} = C_{BOPref} * \left(\frac{\eta_{ciclo} * P_{in-exchanger}}{P_{Turbina,ref}}\right)^{0,8} \quad (8)$$

Costos directos

Los costos directos son la suma de todos los costos anteriores (costo de la torre, costo del heliostato, costo del receptor, costo de almacenamiento, costos del bloque de potencia y generador). [4]

$$C_D = C_T + C_H + C_{TTH} + C_R + C_{MS} + C_{BOP+GV} \quad (9)$$

Costos indirectos

Los costes indirectos se estimarán en un porcentaje del 16,5 % de los costos directos, ya que durante la construcción de una planta existen una serie de costes indirectos, como contingencias (10-12 % de los costes directos), el porcentaje de costes directos del propietario e ingeniería (EPC, entre 10 y 12 % de los costes directos) y costes de gestión (Land), que son costes asociados a la adquisición de terrenos y trámites administrativos (3-5 % de los costes directos). [1], [4].

$$C_{ID} = 0,165 * C_D \quad (10)$$

Inversión total: La inversión total es la suma de costos directos e indirectos.

$$I_T = C_D + C_{ID} \quad (11)$$

Ratio de gastos fijos (FCR): Es un factor que considera el valor presente de los servicios de deuda, el retorno del capital, las tasas de interés, los impuestos y los seguros. Queda calculado mediante la tasa de interés de deuda (k_d) y la tasa de seguro anual ($k_{insurance}$) (ver Tabla 5) proyectando la vida útil de la planta (n). [4]

$$FCR = \frac{k_d(1+k_d)^n}{(1+k_d)^n - 1} + k_{insurance} \quad (12)$$

Finalmente, con todos los datos anteriores podemos hacer el cálculo del LEC, teniendo en cuenta el ratio de gastos fijos (FCR), la inversión total (I) y los costos de mantenimiento, los costos de combustible (que no se toma en cuenta en este caso) y la energía neta producida por la planta (E_{neta} en kWh) [2].

$$LEC = \frac{FCR * I_T + C_{O\&M} + F_{fuel}}{E_{neta}} \quad (13)$$

RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran en la figura 1 el LEC para la planta Gemasolar con los valores usados de las tablas 2,3,4 y 5, vea que los valores se convirtieron a moneda local (soles). El LEC es de 0,6634 s/-kWh para esta planta, siendo los costes de heliostatos el de mayor valor, seguido de los costes del bloque de potencia.

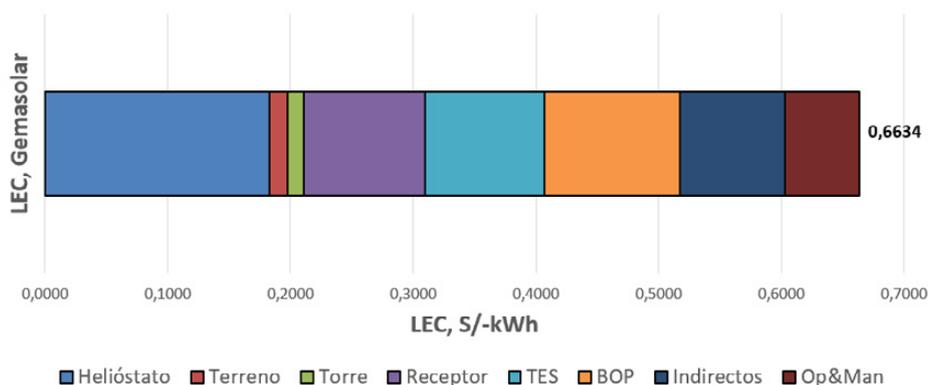


Figura 1. Composición de LEC (costo de nivel de energía), para Gemasolar (España).

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 2, podemos ver cada LEC mínimo en cada planta de estudio y este valor fue proyectado para 3 horas de almacenamiento. Vemos que los costos de la planta Gemasolar son mayores aún para plantas de mayor capacidad de generación eléctrica. Las 3 horas de almacenamiento fueron las recomendadas al buscar el valor mínimo mediante algoritmos en Matlab 2019Ra, con los datos exportados de Excel.

Una vez que logramos calcular el LEC de la planta Gemasolar, usamos este como elemento de comparación para obtener el

LEC mínimo, tal como se muestra en la figura 3. En esta imagen, vemos que, a medida que se incrementa la capacidad de la planta, el LEC se reduce. Además, obtenemos las componentes del LEC en fracciones de la moneda local. Tenga en cuenta que estos resultados son para un almacenamiento de 3 horas. Este valor fue calculado realizando las simulaciones en SAM de 0 a 18 horas de almacenamiento por cada CSP de estudio, luego, se aplicó la función «find(LEC==min(min((LEC))))» de Matlab R2019a. Así, logramos encontrar el valor mínimo y graficarlo en un mapa de contornos, como se observa en la figura 4.

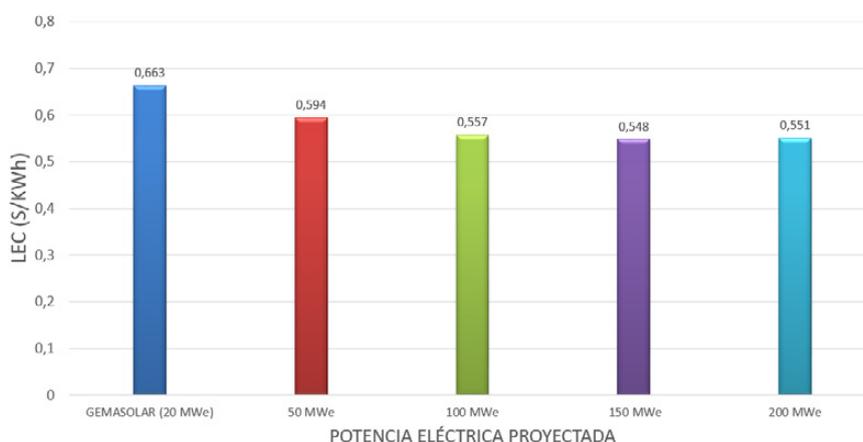


Figura 2. LEC mínimo con TES mínimo para las diferentes potencias eléctricas proyectadas.

Fuente: Elaboración propia.

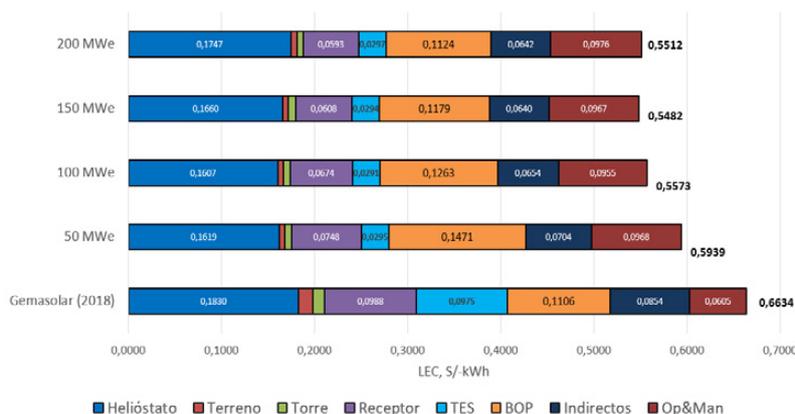


Figura 3. Valores mínimos del LEC para cada planta proyectada.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4 podemos obtener cualquier valor del LEC para las potencias eléctricas de 40 MWe a 200 MWe con las horas de almacenamiento (TES) de 1 a 18 horas, por lo tanto, resulta útil tener en cuenta que, a medida que se incrementan las horas de almacenamiento, se incrementará el LEC. El punto blanco representa el mínimo valor del LEC para toda la gama de potencias eléctricas, esta coincide con 3 horas de almacenamiento y una

potencia de 150 MWe, siendo su valor LEC: 0.5482 S/-kWh. La estrella en color rojo de la figura 4 representa el valor LEC para la planta calculada en el trabajo de fin de máster [14] para 8 horas de almacenamiento y 100 MWe, arrojando un valor de LEC: 0.5994 S/-kWh. Esta figura se obtuvo con la exportación de datos generados en SAM, almacenados en Excel y, posteriormente, tratados con Matlab 2019Ra.

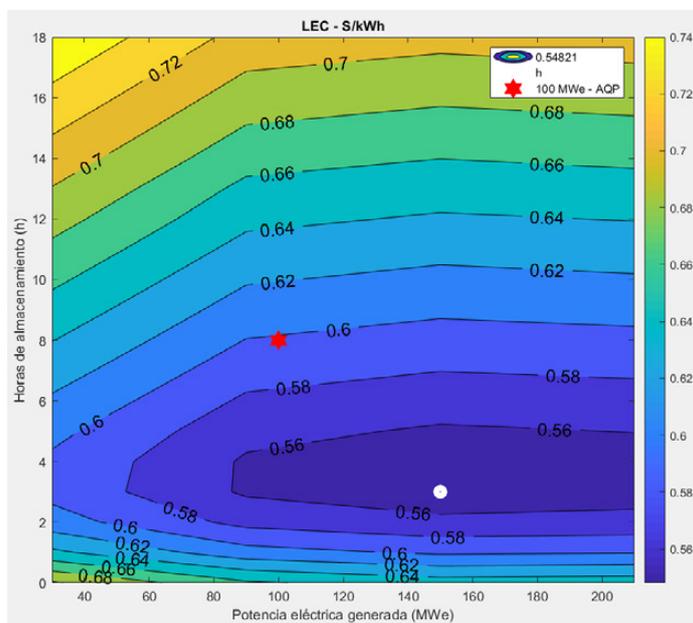


Figura 4. Mapa de contornos para LEC mínimo en Matlab 2019Ra.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5, comparamos los diferentes LEC para la planta de 100 MWe. Uno es el valor mínimo, el otro valor del trabajo de fin de máster 14[9] y estos comparados con el LEC vigente en 2020 de la tarifa BT5B en Arequipa. Notaremos que la diferencia entre una planta con 3 horas de almacenamiento y 8 horas es de 0.0421 S/-kWh y este valor obedece casi en su mayoría a un incremento del costo en del almacenamiento (TES) en color celeste.

la diferencia entre sus LEC es del orden de las milésimas de la moneda local. Esto nos indicaría que se puede incrementar la potencia eléctrica generada y mantenemos por debajo del costo del LEC local e igualar el LEC para una planta de 100 MWe con 8 horas de almacenamiento. La variación en los costes obedece al incremento del coste de los heliostatos, ya que, si observamos la tabla 3, pasamos de 7410 a 15 760 heliostatos para la planta de 200 MWe, también aumentarán los costes de operación y mantenimiento, así como los de almacenamiento térmico, ya que la planta de 200MWe tendrá un mayor volumen.

En la figura 6, vemos la diferencia entre las plantas de 100 a 200 MWe para 8 horas de almacenamiento térmico, observe que

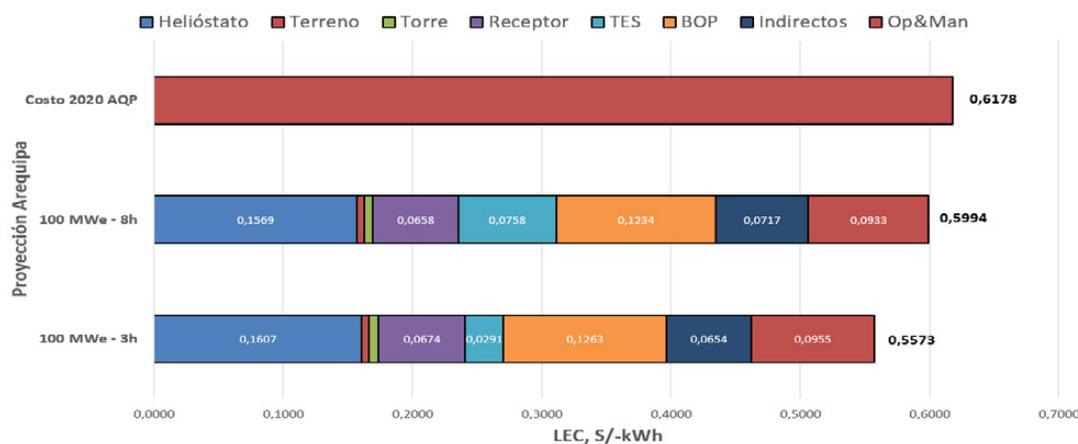


Figura 5. LEC para las planta de 100 MWe mínimo, LEC del trabajo de fin de máster analizado y LEC 2020 en Arequipa.
Fuente: Elaboración propia.

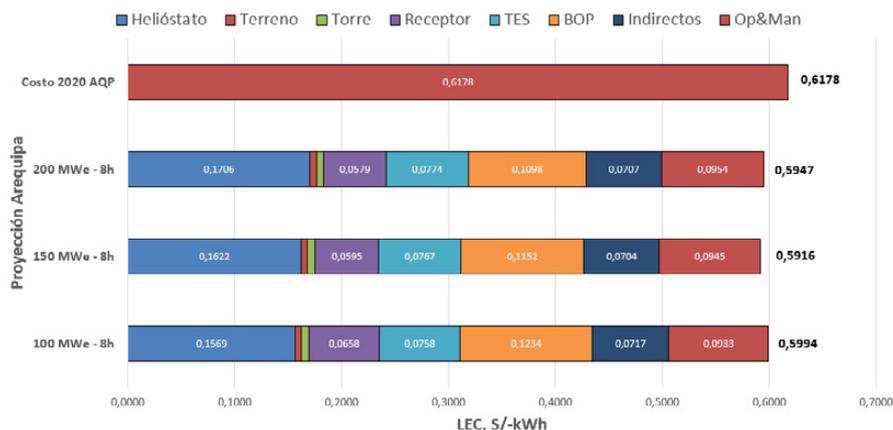


Figura 6. LEC para las plantas con 8 horas de almacenamiento y el LEC de Arequipa 2020. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 7, vemos los costos disgregados para plantas de 3 a 8 horas de almacenamiento, como apreciamos, todas las plantas CSP de 50 MWe a 200 MWe tienen un LEC menor que Gemasolar, también podemos notar que, para el bloque de 50 MWe, el incremento del LEC se debe mayormente al incremento de las horas de almacenamiento (TES) y así sucesivamente para cada potencia. Como segundo factor a tomar en cuenta en la

variación del LEC, se encuentra la reducción de los costos del bloque de potencia (BOP) por incrementar las horas de almacenamiento (TES). Otro valor que se reduce al incrementar las horas de almacenamiento es el costo del LEC en la partida de los heliostatos, pues vemos que se reduce alrededor del 3 % y aumentan las horas de almacenamiento.

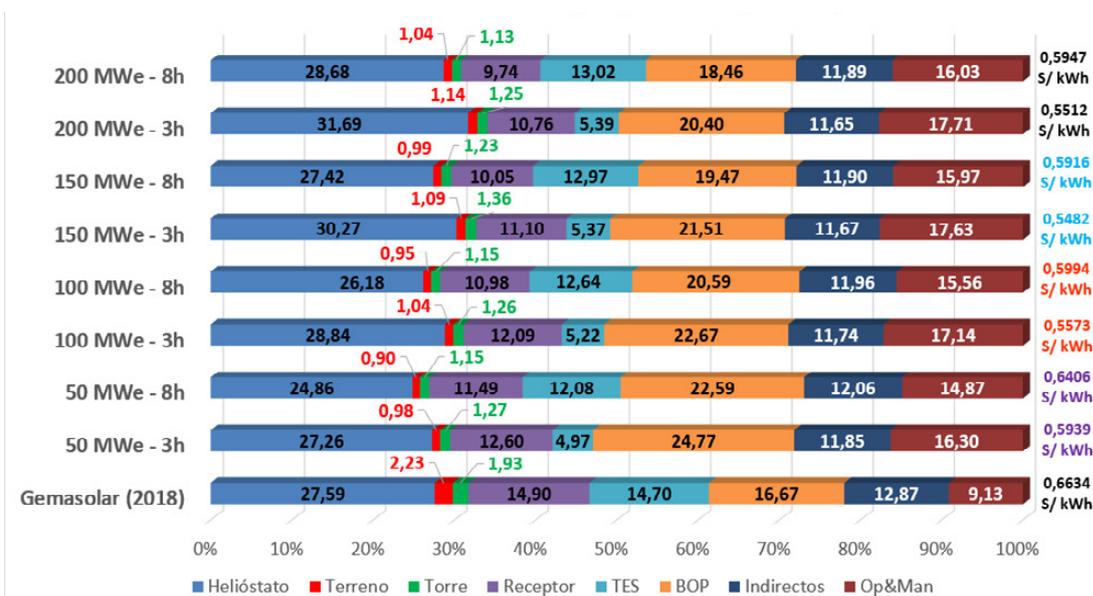


Figura 7. Variación del LEC por partidas en porcentaje para las plantas de estudio. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 8, vemos la generación de energía eléctrica anual para cada CSP. Al aumentar las TES, en las CSP-2 (50 MWe), se produce un incremento de aproximadamente 2 GWh anuales

de energía producida; para CSP-3, de 7 GWh; para las centrales CSP-4, de 10 GWh anuales y, para centrales CSP-5, de 14 GWh.

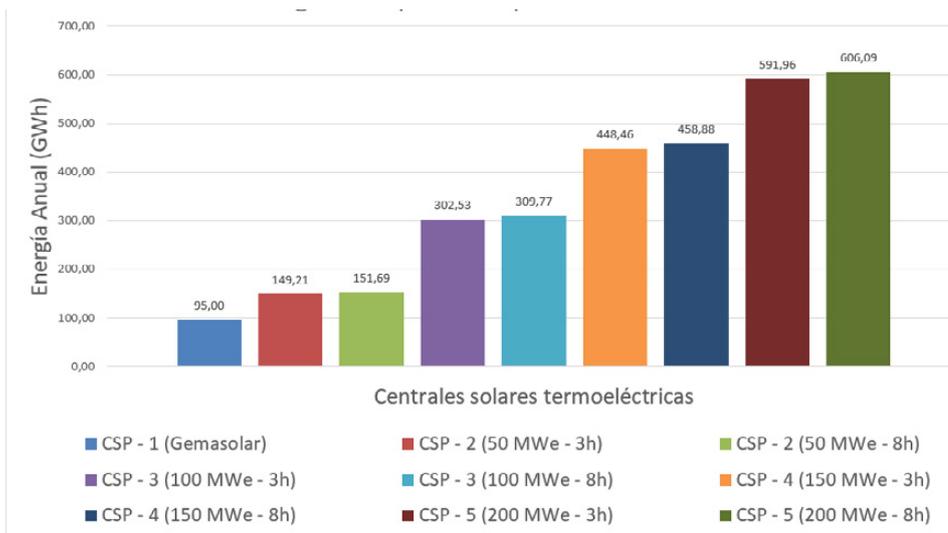


Figura 8. Generación termoelectrica anual para las centrales CSP de estudio.
Fuente: Elaboración propia.

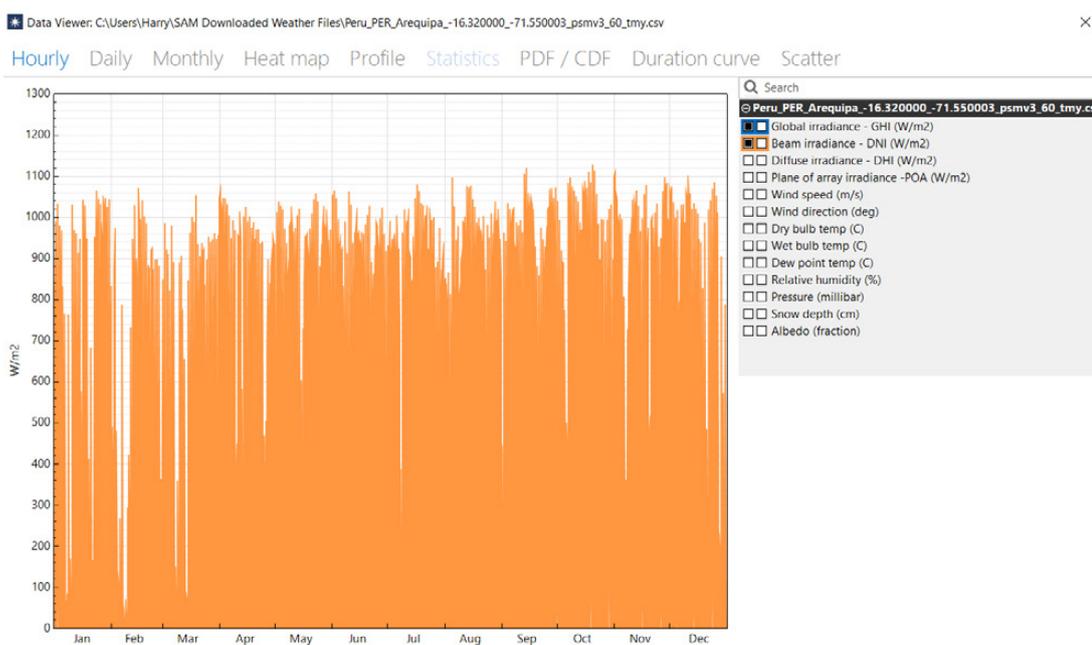


Figura 9. Radiación directa que arroja el SAM para las cinco plantas CSP proyectadas en Arequipa.
Fuente: [12].

La figura 9 nos muestra la radiación directa que nos arroja el SAM para las coordenadas ingresadas de 16°44'21,0"S/ 71°50'59,0"W, que son las mismas de proyección para el distrito

de La Joya en Arequipa. Estos valores coinciden con el estudio de las variables meteorológicas en el desierto de La Joya o Pampas de La Joya de 2004 a 2008 [3].

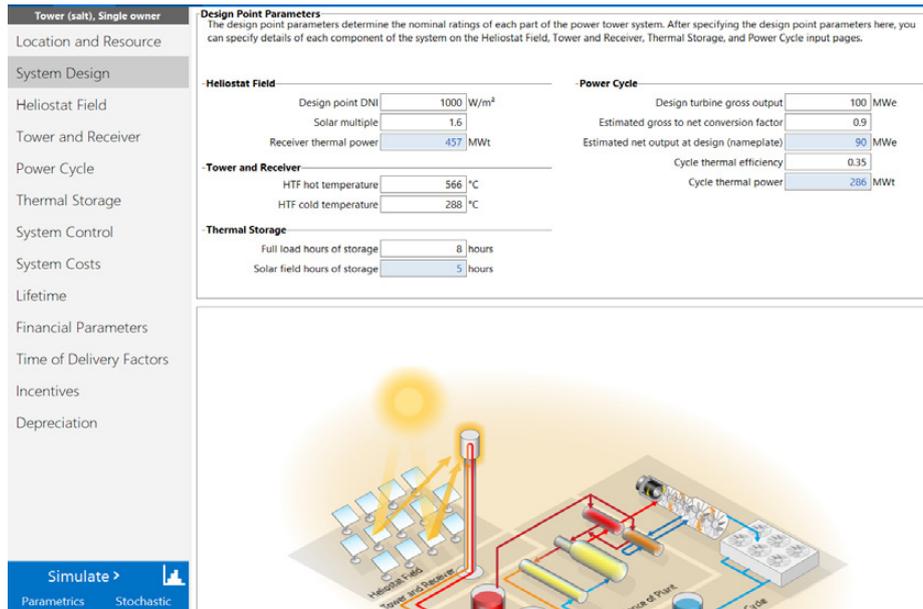


Figura 10. Parámetros de diseño insertados en SAM.
Fuente: [12].

La figura 10 muestra los valores que tendremos que ingresar como parámetros de diseño en el SAM, para luego pasar al diseño de campo de helioestatos y optimizar la planta. Como se aprecia, SAM cuenta con varias pestañas para lograr el diseño de la planta presionando el botón Simulate. Es necesario recordar que se hicieron 19 simulaciones por cada planta, es decir, 76 simulaciones sin optimizar. Con la optimización realizada, en total se dieron 152 simulaciones, para cada potencia proyectada y almacenamiento térmico. La optimización consiste en redimensionar la altura de torre, el tamaño del receptor, el número de helioestatos y la posición de estos. Si no hace ello, se incurrirá en sobredimensionamiento del área del terreno, sobrecostos en los helioestatos, sobredimensionamiento del receptor y altura

de torre. Además, el múltiplo solar es función de las horas de almacenamiento térmico, la potencia de salida de la turbina es el valor esperado en megawatts-eléctricos. Por otro lado, las temperaturas de las sales fundidas son 566 °C para el fluido caliente y 288 °C. Estos valores también fueron proyectados como valores estándar de centrales térmicas solares [14] [7]. Cabe mencionar que, en este software, el diseñador de la planta puede ingresar las potencias eléctricas deseadas en MWe, los datos que ingresamos fueron definidos en la tabla 1. Las dimensiones del receptor y la altura de la torre fueron obtenidas de la sección «Tower and Receiver» del software SAM, y esto nos llevó a obtener los datos en la tabla 3.

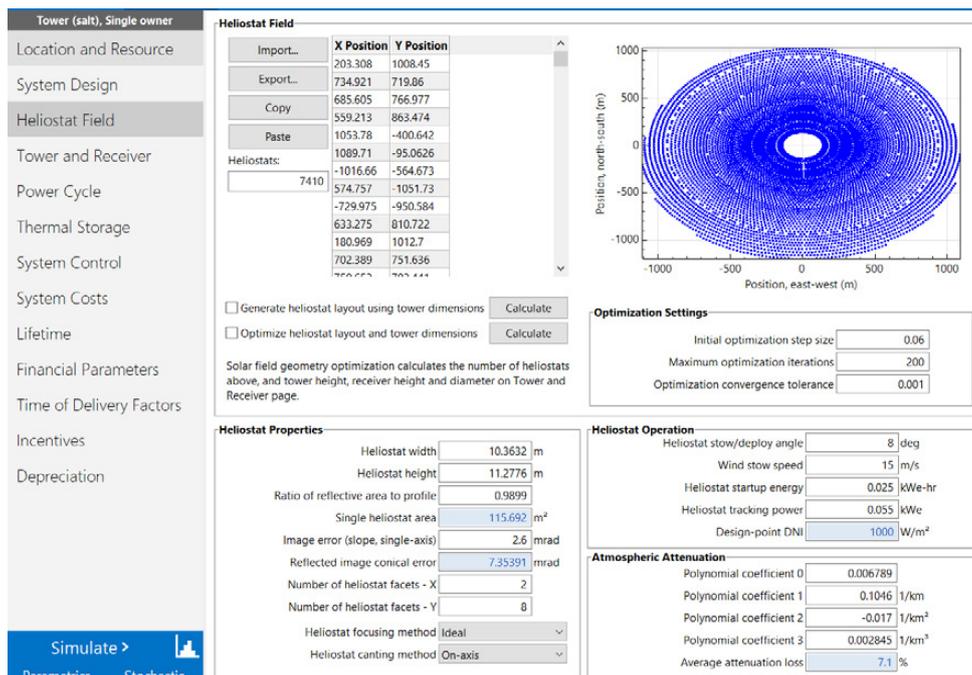


Figura 11. Diseño del campo de helioestatos para las plantas CSP en SAM.
Fuente: [12].

En la figura 12, podemos observar cómo sería la distribución del campo de heliostatos óptima para las plantas de estudio, cada punto azul representa la posición de los heliostatos. Esta representación

corresponde solo a las plantas con almacenamiento de 8 horas, se plasma de manera referencial, ya que publicar las 79 imágenes no sería razonable.

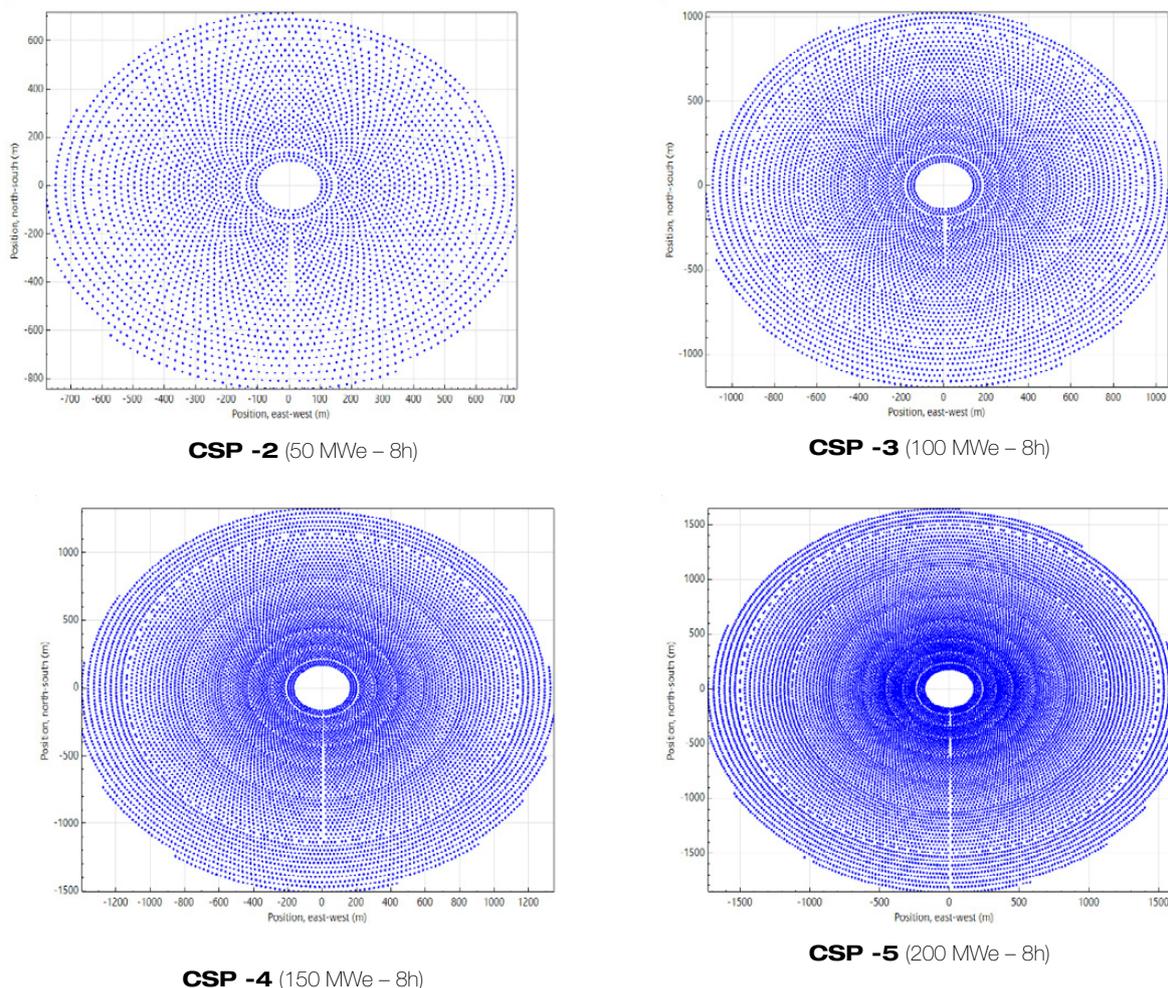


Figura 12. Distribución de heliostatos para las centrales solares termoeléctricas simuladas por SAM. Fuente: [12].

CONCLUSIONES

- De la figura 2 podemos concluir que el decremento del LEC, a medida que se incrementa la potencia eléctrica de diseño, se debe principalmente al incremento de la producción de energía eléctrica anual. Esto se puede comprobar fácilmente al observar la ecuación (13). Si la energía neta anual se incrementa, el LEC disminuirá.
- De la figura 3, vemos que el coste del terreno para la central Gemasolar en España fijado en la tabla 3 es de 2 euros el metro cuadrado, mientras que para el departamento de Perú en Arequipa fue estimado en 0,96 euros el metro cuadrado [10]. Esto ayuda a reducir los costos del terreno en la composición del LEC y, por lo tanto, tener un terreno más económico, y además llano, trae un LEC más rentable.
- La figura 4 nos permite conocer el LEC para cualquier CSP entre 40 y 200 MWe. Pudiendo concluir que las plantas de

200 MWe y 8 horas de TES tienen un LEC menor que el LEC local de SEAL. También se concluye que incrementar las horas TES más allá de 14 horas producirá un incremento del 10 % del LEC de SEAL.

- De la figura 5 podemos concluir que, para el diseño de la CSP de 100 MWe con 8 horas de almacenamiento del trabajo de fin de máster [9], es rentable construir la CSP, aunque no sea la planta con menor LEC. Esto se puede apreciar en la figura 7 donde se aprecia que la planta con mejores características es de 200 MWe y el LEC es menor que el LEC del trabajo de fin de máster. También se concluye que, aunque la planta de 100 MWe con 3 horas de TES tiene el menor LEC, no es rentable, ya que la planta solo trabajaría 3 horas en ausencia de sol y quedaría inoperativa hasta que vuelva a recibir radiación solar.
- De la figura 6 podemos concluir que es más rentable la instalación de centrales térmicas solares mayores a 100 MWe. Porque las CSP de 150 MWe y 200 MWe tienen un LEC menor que el LEC para la tarifa local de Arequipa. Siendo 2,73 % menor la CSP de 200 MWe con TES de

8 horas, 4,24 % la CSP de 150 MWe con TES de 8 horas. En conclusión, la planta de 200 MWe con 8 horas es la mejor alternativa de generación eléctrica.

- De la figura 7, el primer mayor costo del LEC de las centrales térmicas solares es el costo de los heliostatos con un rango entre el 20 % al 33 % aproximadamente. El segundo costo del LEC de las centrales térmicas solares es el costo del bloque de potencia que oscila entre 15 % y 25 %. El tercer bloque en importancia del costo del LEC son los de operación y mantenimiento que oscilan entre 13 % y 18 %. Como cuarto bloque, se encuentran los costos indirectos con un valor de 11 % a 13 %. Como quinto costo en grado de importancia, tenemos dos costos como son el costo del receptor en color morado entre 9 % y 13 %, y el costo del almacenamiento térmico (TES) entre de 4 % a 13 %. De esta misma figura también se concluye que, si bien el aumento en las horas de almacenamiento (TES) genera un incremento en el costo del TES de alrededor de un 7 % (barra celeste), esto solo genera un incremento en el costo total de 7,8 % en promedio, por lo que, cuando incremente en 5 horas las horas de almacenamiento, esto producirá un incremento de entre 7 % y 9 % en el LEC.
- De la figura 8 podemos concluir que el incremento de 5 horas de almacenamiento (TES) entre valores de 3 a 8 horas para todas las CSP de estudio producirá un incremento en la producción de energía anual de entre valores de 1,66 % a 2,38 %.
- De la figura 9 podemos concluir que la asunción de la radiación directa de 1000 W/m² es válida para la zona donde se proyecta las 5 plantas CSP. Aunque el gráfico proporcionado por SAM muestra que hay variaciones de la radiación a lo largo del año, el diseño de plantas CSP se suelen proyectar en los equinoccios de primavera, por lo que la radiación directa típica de diseño de 1000 W/m².
- De la tabla 2, 4 y 5, podemos concluir que los parámetros de trabajo de Gemasolar extrapolados a nuestras plantas de estudio nos ayudan a analizar el comportamiento de la potencia térmica para las turbinas de diseño, analizar los costos en el terreno, costes de heliostatos, torre, receptor, etc. Estos datos requieren ser evaluados en físico para una planta real en la ciudad de Arequipa, pero de todas maneras son relativamente fiables para su uso y permite establecer el punto de partida para un proyecto.

Perú, 2004-2008. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Recuperado de <https://es.slideshare.net/reneecapaza/variables-meteorologicas-en-el-desierto-de-la-joya-per>

- [4] Ditta Granados, J. (2018). *Estudio de viabilidad de un sistema termosolar de receptor central para la generación de energía eléctrica en La Guajira, Colombia* [Trabajo de grado]. Universidad Carlos III de Madrid
- [5] El Pueblo (18 de marzo de 2019). El sur tiene potencial para generar 4000 MW de energía termosolar [Noticia en línea]. Recuperado de: <https://elpueblo.com.pe/el-sur-tiene-potencial-para-generar-4000-mw-de-energia-termsolar/>
- [6] Global Solar Atlas [En línea]. Disponible: <https://globalsolaratlas.info/map?c=-16.739167,-71.849722,11&s=-16.739167,-71.849722&m=site>
- [7] Monzón Meza, J., & Choquejahuá Zapana, J. (2014). *Planta termosolar de 50 MW como alternativa limpia de abastecimiento energético para la región sur del Perú – Arequipa* [Tesis para obtener el título profesional]. Universidad Católica Santa María.
- [8] Pacific Gas & Electric Company. (1988). Solar central receiver technology advancement for electric utility applications, phase 1 topical report. Report n.º 007.2-88.2, San Francisco (CA).
- [9] Pitz-Paal, R., Dersch, J. R., Milow, B., Te'llez, F. L., Ferriere, A., Langnickel, U., & Popel, O. (2005). Development steps for concentrating solar power technologies with maximum impact on cost reduction: results of the European ECOSTAR study. En *International Solar Energy Conference*. Vol. 47373, pp. 773-779.
- [10] Ríos Villacorta, A. (2016). *Futuro de la energía en el Perú: Estrategias energéticas sostenibles*. International Rivers – Forum Solidaridad Perú: Beckerley. Recuperado de http://biblioteca.spda.org.pe/biblioteca/catalogo/_data/20180228172642_EI%20futuro%20de%20la%20energia%20en%20Peru-3.pdf.
- [11] SEAL. (2020). *Pliego tarifario para clientes finales con vigencia a partir del 4 de enero 2020 con aplicación del MCTER* [En línea]. Recuperado de: <http://www.seal.com.pe/clientes/TarifasSeal/Publicaci%C3%B3n%20Pliego%20Tarifario%2001-2020%20vig%2004-01-2020.pdf>
- [12] System Advisor Model, [En línea]. Disponible: <https://sam.nrel.gov/>
- [13] Vilva, G. (13 de marzo de 2019). U\$9,700 costará una hectárea en Majes Siguan II [Noticia en línea]. Recuperado de: <https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/u9700-costara-una-hectarea-en-majes-siguan-ii-875579/?ref=dcr>
- [14] Yapu Maldonado, H. (2018). *Diseño de una planta termosolar de receptor central de 100 MWe con almacenamiento en sales fundidas* [Tesis para obtener el grado de máster]. Universidad Carlos III de Madrid.

REFERENCIAS

- [1] Ávila, A., Romero, M., & Téllez, F. (2013) *Diseño de plantas de receptor central. Norma: España*.
- [2] Avila-Marin, A. L., Fernandez-Reche, J., & Tellez, F. M. (2013). Evaluation of the potential of central receiver solar power plants: configuration, optimization and trends. *Applied energy*, 112, 274-288.
- [3] Condori, R., Valdivia, J., Montañón, S., Fletcher, L., & Mackay C. (2013) Estudio de las variables meteorológicas en el desierto de la Joya o Pampas de la Joya, Arequipa-

ACERCA DEL AUTOR

Harry Yapu

Ingeniero mecánico de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, con maestría en Mecánica Industrial en la Universidad Carlos III de Madrid, además egresado del Instituto Superior Tecnológico Pedro P. Díaz de la carrera Mecánica de Producción. Investigador independiente y recientemente incorporado a la docencia a tiempo parcial en la Universidad Continental filial Arequipa en el mes de marzo de 2020, adjudicándome los cursos de Mecánica

de Fluidos Avanzada, Turbomáquinas, Mantenimiento Mecánico y Termodinámica Aplicada. Tengo experiencia en las áreas de diseño mecánico, mantenimiento industrial y en el área de costos y presupuestos.

 harryyapu1985@gmail.com

Recibido: 29-02-20

Revisado: 22-08-20

Aceptado: 31-08-20



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.



**Modalidad
online**



**Clases en
tiempo real**



**Docentes expertos
en el sector**



**Plataforma Canvas
utilizada por las mejores
instituciones como
Harvard, Berkeley,
MIT, entre otras**



Plataforma que integra protocolos
**industriales con
datagramas y mensajes**
en la red que permiten la teleoperación
desde cualquier terminal conectado,
pudiendo ser un teléfono celular, una
estación de trabajo, servicio web o una
interface virtual de realidad aumentada.



Plataforma IIoT para el monitoreo y operación remota aplicado a sistemas de control de movimiento industrial

IIoT Platform for Remote Monitoring and Operation Applied to Industrial Motion Control System

RESUMEN

A nivel mundial, nos encontramos frente a una rápida expansión de la COVID-19, sus efectos sociales y económicos llevaron a la OMS a declararla pandemia desde marzo del presente año. Muchos gobiernos implementaron políticas de aislamiento social, cierre de establecimientos y eventos públicos. Estas disposiciones están llevando a la sociedad a nuevos escenarios para resolver estos desafíos y aceleran la transformación digital de las empresas.

El presente trabajo está basado en el desarrollo de una plataforma IIoT que permita el monitoreo y la operación remota de sistemas de control de velocidad de motores trifásicos desde cualquier equipo o dispositivo móvil conectado al internet. Las medidas proporcionadas por el dispositivo remoto son transmitidas a través de un protocolo de comunicación industrial a una puerta de enlace o Gateway Industrial IIoT que a su vez transmite la información hacia un servicio web alojado en la nube.

El desarrollo de la plataforma integra diferentes tecnologías como automatización, redes de comunicación y desarrollo de software, permitiendo una experiencia multidisciplinaria en la búsqueda de soluciones aplicando Industria 4.0 (I 4.0).

ABSTRACT

Worldwide we are facing a rapid expansion of Covid-19; its social and economic effects led WHO to declare it a pandemic since March of this year and many governments implemented policies of social isolation, closure of establishments and public events. These provisions are leading society to new scenarios to solve these challenges by accelerating the digital transformation of companies.

This work is based on the development of an IIoT Platform that allows remote monitoring and operation of a three-phase motor speed control system, from any computer or mobile device connected to internet. Measurements provided by a remote device are transmitted, through an industrial communication protocol, to an Industrial IIoT Gateway, which in turn transmits the information to a web service hosted in the cloud.

Platform development integrates different technologies such as automation, communication networks and software development, allowing a multidisciplinary experience in the search for solutions applying Industry 4.0.



Palabras Claves

Industria 4.0, automatización, internet de las cosas industrial, gateway, control de velocidad de motores, productividad, trabajo remoto, pandemia, COVID-19

Key words

Industry 4.0, Automation, Industrial Internet of Things, Gateway, Motor Speed Control, Productivity, Remote Work, Pandemic, COVID-19

INTRODUCCIÓN

En nuestro país, el Gobierno peruano, quien ha adoptado diversas medidas para frenar la desaceleración económica, conservar puestos de trabajo y preservar la salud de todos sus ciudadanos, emitió disposiciones resaltándose el Decreto de Urgencia N.º 026-2020, el cual establece diversas medidas para prevenir la propagación del coronavirus (COVID-19) en el territorio nacional [3]. En este, se contemplan ciertas situaciones, entre ellas las de materia laboral, así como la consecuente aparición de la nueva figura del trabajo remoto.

El presente artículo está basado en el desarrollo de un sistema que permita el monitoreo y la operación remota de un control de velocidad de motores desde cualquier terminal conectada a internet. Esta plataforma BackEnd permite el soporte para la operación de controladores industriales encargados de supervisar la producción, enlazando sus parámetros de operación con la nube de Google. Este sistema integra protocolos industriales con datagramas y mensajes en la red que permiten la teleoperación o trabajo remoto desde cualquier terminal conectado pudiendo ser un teléfono celular, una estación de trabajo, servicio web o una interface virtual de realidad aumentada.

Se considera trabajo remoto o teletrabajo a la actividad en la que el teletrabajador presta sus servicios a distancia del centro de trabajo tradicional [11], lo cual se puede realizar a través de las redes de telecomunicación para cumplir con las cargas laborales asignadas.

FUNDAMENTOS

El desarrollo del presente trabajo se presenta como una plataforma IIoT industrial, que tiene la finalidad de acceder remotamente a máquinas industriales permitiendo su operación y su diagnóstico en tiempo real desde cualquier dispositivo inteligente. La plataforma desarrollada integra diferentes áreas como automatización, redes de comunicación y desarrollo de *software*, permitiendo una experiencia multidisciplinaria de estudiantes de las carreras de Mecatrónica Industrial, Electrónica y Electricidad aplicando tecnologías relacionadas a Industria 4.0.

Industria 4.0

Una de las tecnologías empleadas para el desarrollo del presente trabajo, se basa en la integración de controladores industriales mediante protocolos con capacidad de escalamiento y capacidad de transmisión de datagramas a Gateway industriales. La Industria 4.0 es un nuevo enfoque, donde se integran el mundo virtual y el mundo físico de las máquinas dando forma a la Fábrica inteligente o Industria Conectada 4.0. Esta es la sincronización perfecta de lo real y el mundo virtual que abre nuevas posibilidades para los fabricantes de equipos, el intercambio continuo de datos en tiempo real permite un nivel de inteligencia mucho más elevado y más automatización, permitiendo una mejor asignación de los recursos y una mayor eficiencia y rentabilidad [1].

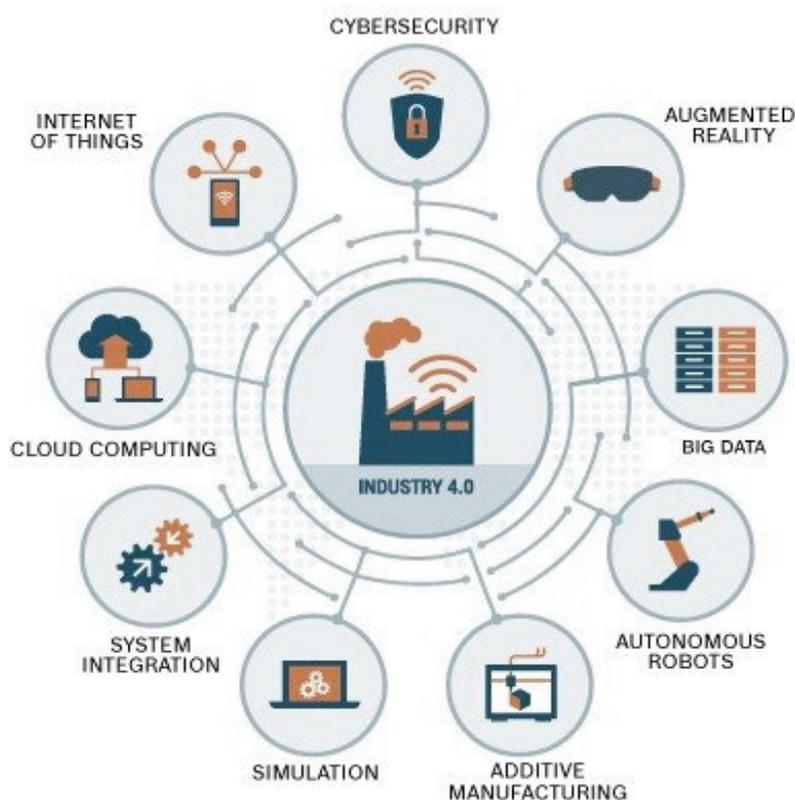


Figura 1. Herramientas para Industria 4.0
Fuente: Manufacturers Alliance.

Los procesos de actualización hacia la tecnología I 4.0 no implican cambiar equipos y maquinarias. Llevar una fábrica a producir en un entorno I 4.0 es realizar una reingeniería de adaptación y un manejo de recursos que minimizan gastos, potencian capacidades no usadas y, sobre todo, generan sinergia económica que se evidencia en mejoras cuantitativas y cualitativas en la producción [10].

Protocolos de comunicación

Para el desarrollo del proyecto, se requiere realizar conexiones entre los diferentes equipos electrónicos que permitan el envío de datos a una plataforma IIoT que se encuentra instanciada en una red de internet, detectando la necesidad de usar protocolos de comunicación que soporten dichas plataformas destacando el MQTT, CoAP y REST [6]. Cabe resaltar que, para evitar filtraciones y malas prácticas con los datos recolectados de los dispositivos, los protocolos de comunicación deben garantizar la confidencialidad y la seguridad de estos, implementando mecanismos de seguridad implementados por las plataformas AWS, Microsoft Azure o Google Cloud empleando este último [6].

Protocolos de aplicación		DDS	CoAP	AMQP	MQTT	MQTT-NS	XMPP	HTTP REST
Descubrimiento de servicios		mDNS			DNS-SD			
Protocolos de Infraestructura	Ruteo	RPL						
	Capa de red	6LoWPAN		IPv4/IPv6				
	Capa de enlace	IEEE 802.15.4						
	Capa física	LTE-A	EPC global	IEEE802.15.4		Z-Wave		

Figura 2. Protocolos de comunicación
Fuente: Adaptado de Manosalva [8].

La plataforma IIoT puede registrar diversos parámetros del proceso de producción de manera automática, precisa y oportuna. Solo la producción industrial tradicional se percata de la comunicación de la máquina a través de la tecnología M2M. La comunicación máquina-a-máquina es una tecnología clave para las futuras aplicaciones del IIoT. Desempeña un papel importante en la conectividad y la integración de máquinas computarizadas, tales como sensores, actuadores, controladores y robots. Las exigencias en cuanto a flexibilidad, eficiencia y compatibilidad multiplataforma de la intercomunicación entre el módulo de máquinas conectadas [5].

Cloud Google

Las máquinas conectadas a los procesos industriales disponen de estándares de protección y confidencialidad de datos mediante puentes de conexión para garantizar la transmisión de datos segura en cualquier condición. Cloud Google es compatible con los protocolos MQTT y HTTP estándar, permitiendo usar los dispositivos con mínimos cambios de *firmware*. Además, se ejecuta en la infraestructura servidor de Google, que se escala automáticamente en respuesta a los cambios en tiempo real y cumple los estrictos protocolos de seguridad estándar del sector que protegen los datos empresariales [5].

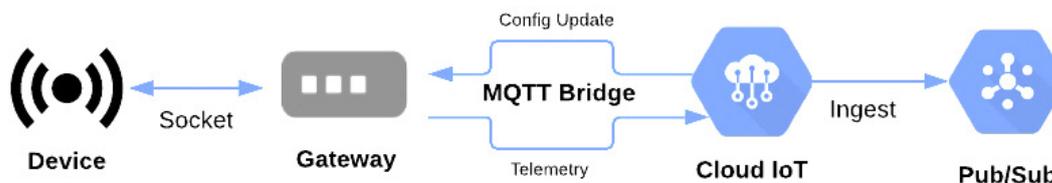


Figura 3. IoT Cloud Google
Fuente: Google.

Node Red

Las máquinas conectadas a la red conforman nodos para generar aplicaciones de IIoT; para su enlace, empleamos Node Red, que es una plataforma web, creada por el equipo de IBM Emerging Technology. Posee una interfaz amigable que permite colocar en el área de trabajo nodos que representan APIs de

web, servicios en línea o dispositivos de *hardware*. Estos nodos se pueden unir con un cableado que representan el flujo de datos, también se pueden programar funciones en JavaScript; de esta manera, es posible programar nodos con determinadas funcionalidades. El motor de tiempo real se basa en Node.js, el cual es un entorno para ejecutar JavaScript realizado con el motor V8 Chrome [9].

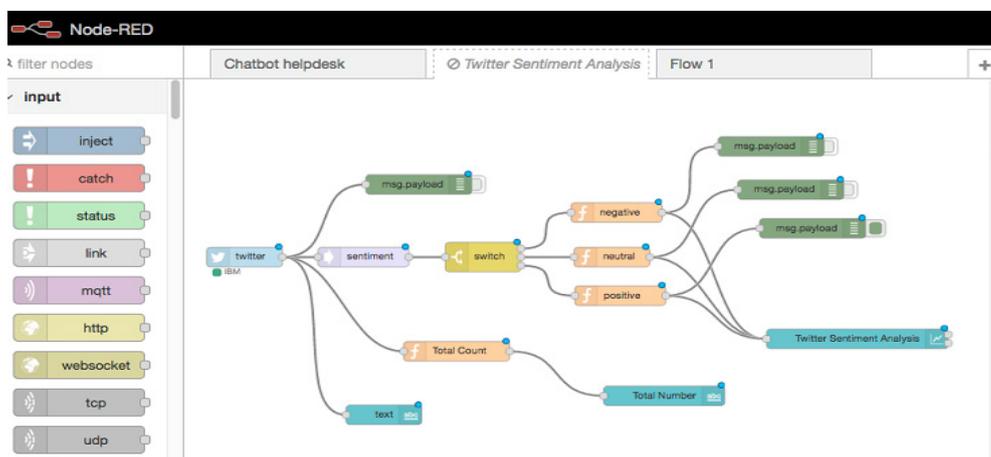


Figura 4. Node Red.
Fuente: IBM.

Gateway industrial

Es el encargado de la interconexión y comunicación con los nodos y la adquisición de la información, sin esta capa el resto de capas y servicios no tiene sentido, está conformado por los conectores que se encargan del protocolo que se va a implementar en el *Gateway*.

El *Gateway* creará servicios web para la consulta y la actualización de los recursos. Estos están identificados por una URI única que permite su acceso, lo que genera operaciones de consulta o lectura (GET) y de actualización (POST), así como operaciones complementarias se pueden implementar operaciones de listado y descubrimiento [2].

La transferencia de información del *Gateway* sigue cuatro principios básicos de diseño de servicios web de REST:

- Utiliza métodos HTTP de forma explícita.
- Los URIS como estructuras de directorios.
- Transfiere información mediante JavaScript Object Notation (JSON).

Oportunidades y limitaciones

En la actualidad, a nivel mundial, muchos sectores industriales están proyectando inversiones o planean invertir en IoT, el grado de implantación varía según la industria; gracias al IoT, para el 2030, se estima que la aplicación de la tecnología a la industria genere 14,2 billones de dólares, lo que se traduce en un incremento en el PIB mundial del 1,5 %.

Las industrias y los sectores que más están apostando por el IoT son, en este orden, el sector financiero, el sanitario, el de telecomunicaciones, la producción industrial, el *retail*, el sector energético y el transporte [12].

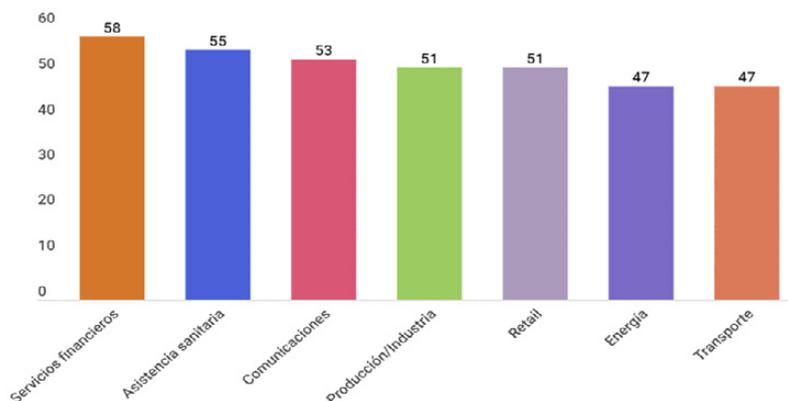


Figura 5. IoT en la industria.
Fuente: Vector ITC.

Luego, se realizó la determinación de los requerimientos no funcionales del sistema desarrollado:

- [Usabilidad] RNF01. La interfaz gráfica de la plataforma facilitará su empleo a usuarios sin conocimientos en el uso de aplicaciones en entorno web.
- [Eficiencia] RNF02. La plataforma debe estar disponible en 99 %, ante fallas de conectividad con los servicios web, causados por problemas del proveedor de servicios de Internet.
- [Eficiencia] RNF03. El sistema debe actualizar los parámetros del dispositivo remoto en tiempo real sin necesidad de actualizar la interfaz gráfica.
- [Seguridad] RNF04. Los permisos de acceso a la plataforma solo podrán ser cambiados por el administrador de acceso a datos.
- [Seguridad] RNF05. Todas las comunicaciones externas entre servidores de datos, aplicación y cliente del sistema deben estar encriptadas utilizando el algoritmo RSA.
- [Seguridad] RNF06. El sistema debe garantizar su funcionamiento en ambientes con grado de protección IP20.
- [Rendimiento] RNF07. El tiempo de respuesta de la plataforma debe ser menor de 2 segundos después de realizar el enlace remoto.

Tabla 1.
Actores del sistema

Actor	Descripción
AS01: Controlador industrial	Es el actor encargado de registrar los datos de la máquina.
AS02: IoT - Gateway industrial	Es el actor encargado de enviar los datos generados por AS01, al AS03.
AS03: Operario remoto	Es el actor que ingresa a la plataforma para verificar y actualizar los datos recopilados por el AS01.
AS04: Administrador remoto	Es el actor que ingresa a la plataforma para generar las órdenes de inspección para AS03.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los requerimientos, los requerimientos funcionales y no funcionales se determinaron en los casos de uso de sistema.

Tabla 2.
Especificación de casos de uso – Medir parámetros de la máquina

Caso de uso	CU01: Medir parámetros de la máquina.
Actor	AP01: Controlador industrial AP02: IoT industrial.
Propósito	Al encender AS01, inicia el proceso y se envían los datos al servicio web en la nube mediante AS02.
Descripción	Se enviarán parámetros de la máquina en protocolo S7 al Gateway, una conexión de internet transportará esta información, mediante mensajes PUT en protocolo MQTT, los cuales serán registrados en el servicio web.
Requerimiento funcional	RF01.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.
Especificación de casos de uso – Visualizar parámetros de la máquina

Caso de uso	CU02: Visualizar parámetros de la máquina.
Actor	AS03: Operario remoto.
Propósito	Luego de iniciar sesión de AS03, se visualizan los datos de la máquina, registrados en el servicio web en la nube mediante AS02.
Descripción	Se reciben los parámetros de la máquina, mediante mensajes GET en protocolo MQTT enviados por el aplicativo móvil.
Requerimiento funcional	RF01, RF02.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.
Especificación de casos de uso – Actualizar parámetros de la máquina

Caso de uso	CU03: Actualizar parámetros de la máquina.
Actor	AS03: Operario remoto.
Propósito	Luego de que AS03 visualiza los parámetros de la máquina, puede actualizar sus parámetros, modificando los registros del servicio web en la nube mediante AS02.
Descripción	Se modifican los parámetros de la máquina, mediante mensajes PUT en protocolo MQTT enviados por el aplicativo móvil.
Requerimiento funcional	RF01, RF02, RF03.RF04.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5.
Especificación de casos de uso – Generar órdenes de mantenimiento

Caso de uso	CU04: Generar órdenes de mantenimiento.
Actor	AS04: Administrador remoto.
Propósito	Al ingresar AS04, puede visualizar los parámetros de AS01, analizar los datos del proceso y generar órdenes de inspección por parte de AS03.
Descripción	Se visualizan los parámetros de la máquina, mediante mensajes GET en protocolo MQTT enviados por el aplicativo móvil. Se generan órdenes de mantenimiento y se asignan operadores responsables.
Requerimiento funcional	RF01, RF02, RF03.RF04, RF05.

Fuente: Elaboración propia.

Diagrama del modelo conceptual

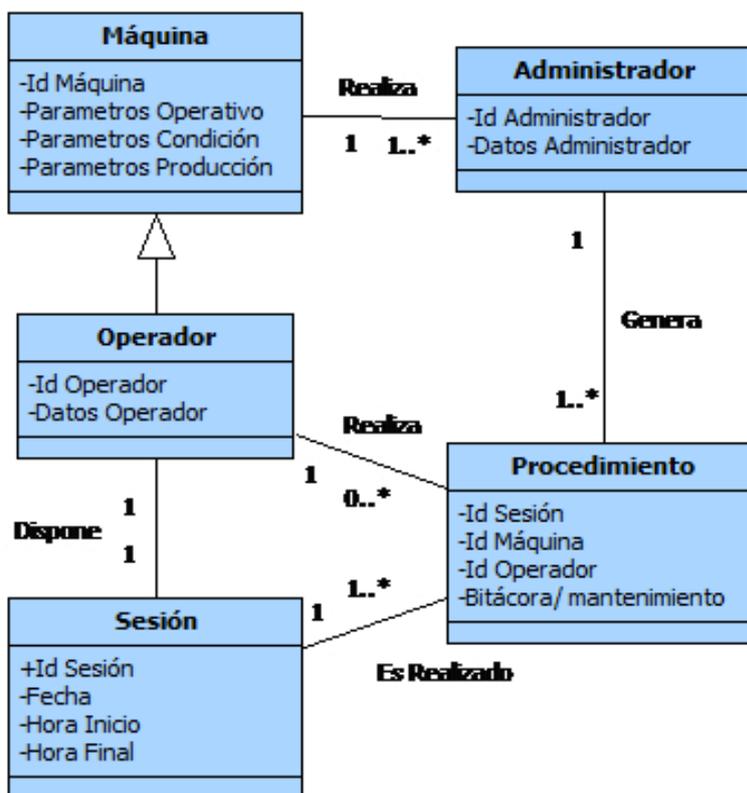


Figura 7. Diagrama del modelo conceptual.
Fuente: Elaboración propia.

Vista lógica de la arquitectura de software

La vista lógica muestra el soporte de la arquitectura a los requerimientos funcionales orientados al usuario final.

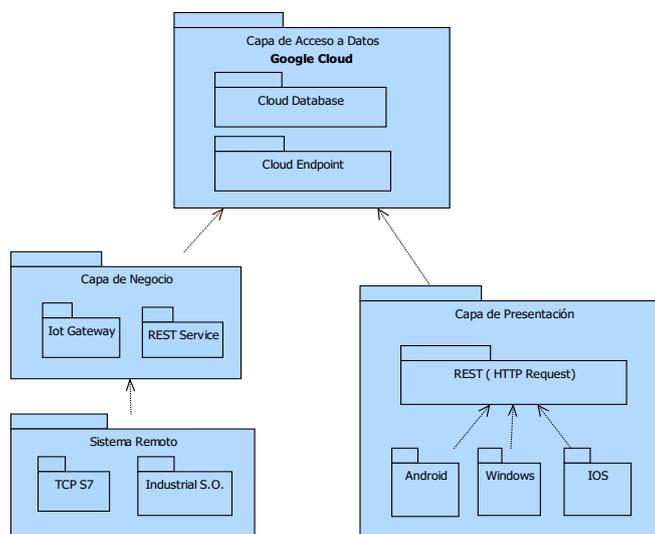


Figura 8. Vista lógica de la arquitectura del software.
Fuente: Elaboración propia.

- El paquete de acceso datos representa el servicio web que recibirá los parámetros de la máquina en tiempo real y recibirá las órdenes remotas que realizarán las correcciones respectivas sobre aquellos parámetros monitoreados fuera de los rangos permitidos en el proceso.
- El paquete Capa de negocio refiere al componente de software donde se almacenan las reglas de negocio del sistema y el componente de software encargado de enviar los datos de la máquina remota al servicio web alojado en la nube.
- El paquete Sistema en tiempo real representa al componente de software a desarrollar para que la máquina industrial pueda enviar y recibir los datos al Gateway industrial.
- El paquete Capa de presentación se refiere al componente de software multiplataforma para el acceso del operador remoto al servicio web que permitirá el acceso a los parámetros de condición, operativos y de producción de la máquina.

Vista de implementación de la arquitectura de software

Está orientada a la organización de componentes desde una perspectiva de programación de sistemas.

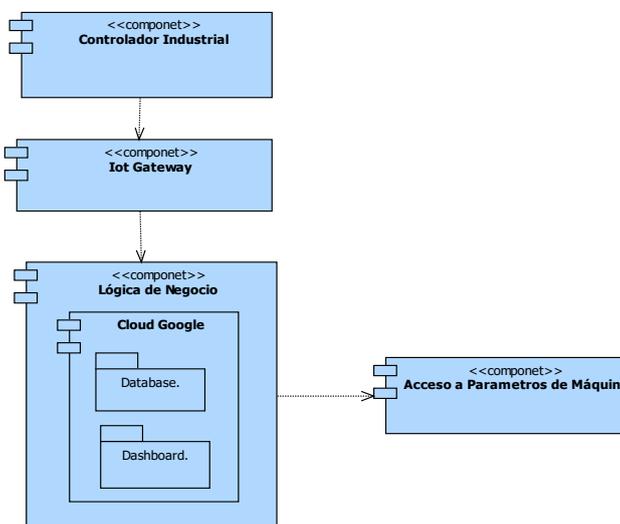


Figura 9. Vista de implementación.
Fuente: Elaboración propia.

Vista de despliegue de la arquitectura de software

Muestra los requerimientos no funcionales como confiabilidad, rendimiento y restricciones.

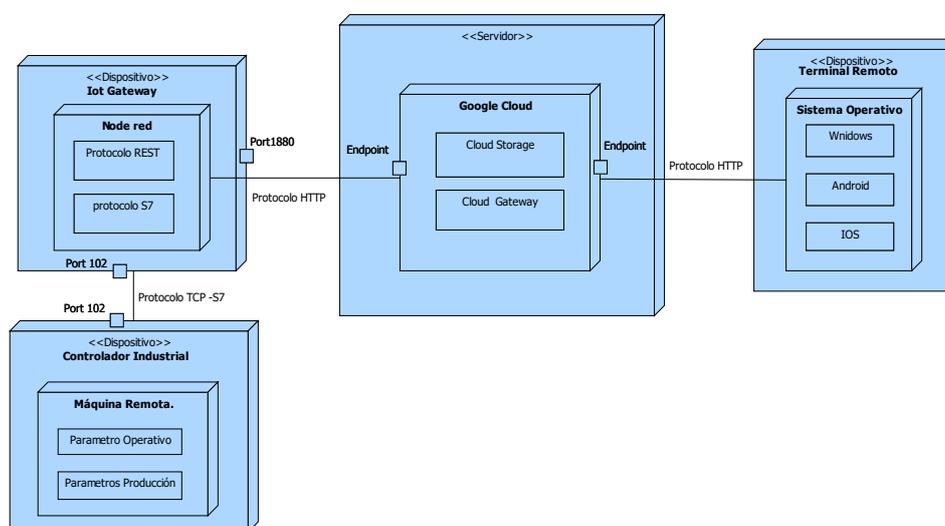


Figura 10. Vista de despliegue de la arquitectura de software.
Fuente: Elaboración propia.

Requerimientos

Máquina remota

Hardware

- Procesador S7
- Módulo de 8DI, 8DO, 4AI
- Interfaz Ethernet
- Medidor de energía interfaz Ethernet

IoT Gateway

Hardware

- Intel Quark x 1000 (Galileo)
- 512 MB de RAM
- Interfaz Ethernet
- MicroSDHC (de 8 a 32 GB)

Servicio web

Software

- Google Cloud Platform
- Google Firestore Database

Terminal remoto

Software

- Android 4.4 o superior
- Windows 7 o superior
- IOS o superior
- Interfaz Ethernet Wireless
- Conexión a internet móvil

RESULTADOS

El proyecto basa su desarrollo en diseñar e implementar una aplicación IIoT en un sistema de automatización industrial que permita el monitoreo del sistema de forma local o remota, basándose en un diseño simple, genérico y extensible para la fácil identificación e integración de los equipos en procesos de automatización [5].

La aplicación de monitoreo industrial se enlaza con la máquina remota por medio de un IoT Gateway para controlar su estado de funcionamiento. Para este desarrollo, se realizaron pruebas de laboratorio y se tomó como referencia los parámetros de sentido de giro, velocidad y frecuencia de un motor industrial conectado a un controlador lógico.

El controlador lógico empleado es el Logo V8 Siemens (dirección IP: 192.168.43.60) conectado a un variador de frecuencia Powerflex 525 Rockwell, el cual está conectado a un motor trifásico de 2Hp, de igual manera como dispositivo gateway IoT se utilizó un Simatic IoT 2000 (dirección IP: 192.168.43.100). Es importante mencionar que los equipos empleados son de uso y aplicación estándar, encargados de accionar las máquinas que se encuentran instaladas en muchos procesos productivos.

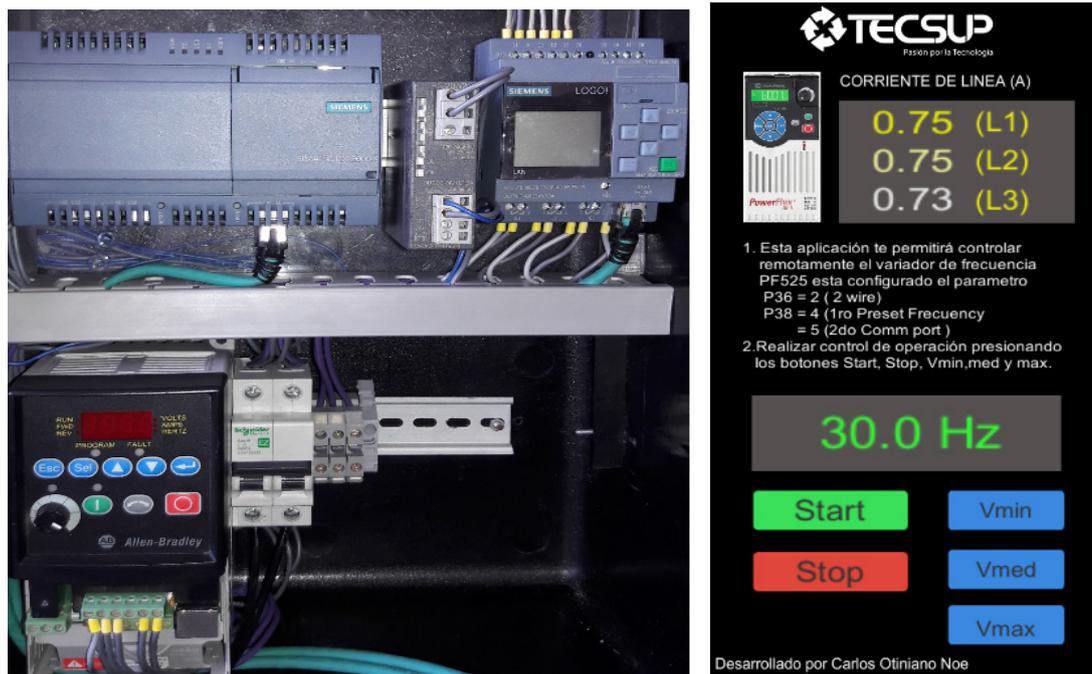


Figura 11. Implementación de máquina remota y aplicación móvil.
Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la instalación y pruebas de funcionamiento del equipo remoto enlazado a la red TCP S7 mediante la dirección 192.168.43.60 y este al IoT Gateway con la dirección 192.168.43.100 con un retardo de 0.083 segundos, este dato es registrado mediante un analizador de protocolos y examinando el puerto 102(puerto S7COMM).

Es necesario mencionar que, cuando el operador/administrador se registra por primera vez y se conecta con el equipo remoto, se experimenta un retraso de 1 a 2 segundos, este tiempo se disminuye a 0,083 segundos luego de haberse establecido el enlace. Se realizaron pruebas de conexión con operarios ubicados en La Molina, Callao, el Agustino e Ica y se obtuvieron los mismos resultados.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000	192.168.43.100	192.168.43.60	S7COMM	85	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
3	0.041763	192.168.43.100	192.168.43.60	TCP	54	56271 → 102 [ACK] Seq=32 Ack=27 Win=64656 Len=0
5	0.083758	192.168.43.100	192.168.43.60	S7COMM	85	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
7	0.126553	192.168.43.100	192.168.43.60	TCP	54	56272 → 102 [ACK] Seq=32 Ack=27 Win=64760 Len=0
8	0.500662	192.168.43.100	192.168.43.60	S7COMM	85	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
10	0.541410	192.168.43.100	192.168.43.60	TCP	54	56271 → 102 [ACK] Seq=63 Ack=53 Win=64630 Len=0
11	0.584434	192.168.43.100	192.168.43.60	S7COMM	85	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
13	0.626276	192.168.43.100	192.168.43.60	TCP	54	56272 → 102 [ACK] Seq=63 Ack=53 Win=64734 Len=0
14	1.001318	192.168.43.100	192.168.43.60	S7COMM	85	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
16	1.043086	192.168.43.100	192.168.43.60	TCP	54	56271 → 102 [ACK] Seq=94 Ack=79 Win=64604 Len=0
17	1.084092	192.168.43.100	192.168.43.60	S7COMM	85	ROSCTR:[Job] Function:[Read Var]
19	1.125851	192.168.43.100	192.168.43.60	TCP	54	56272 → 102 [ACK] Seq=94 Ack=79 Win=64708 Len=0

Destination: 192.168.43.60

Transmission Control Protocol, Src Port: 56271, Dst Port: 102, Seq: 32, Ack: 27, Len: 0
Source Port: 56271
Destination Port: 102

Figura 12. Paquetes de datos visualizados en analizador de protocolos.
Fuente: Elaboración propia.

Realizando un filtrado de 44 616 paquetes producidos en una transmisión en 60 minutos, en la cual el operario realiza operaciones de visualización/actualización de parámetros a la dirección del equipo remoto 192.168.43.60, se registra aproximadamente 4

kb/seg de transferencia de datos, mientras se mantiene el enlace, confirmando que este tipo de redes transmiten en una banda muy estrecha de datos, permitiendo realizar múltiples transmisiones por periodos de acceso programados.

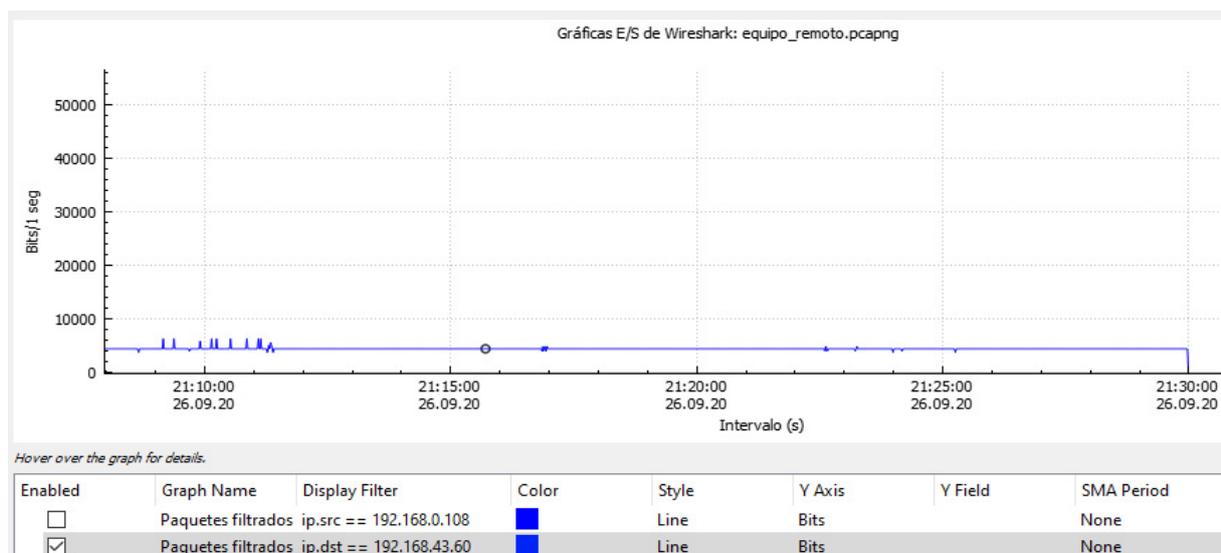


Figura 13. Redimiendo del sistema.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- La solución propuesta permite aprovechar la información obtenida de los procesos conectados a redes industriales, generando herramientas para el análisis predictivo, el aprendizaje automático y analítica, procesos que se anticipan a los fallos, incrementan su rendimiento y reducen los tiempos.
- Uno de los inconvenientes de la tecnología propuesta es el alcance del servicio limitado por la cobertura de datos de internet, ya que el 73 % de la población rural peruana carece de conexión a internet.
- Se desarrolló una plataforma mediante la cual un operador calificado puede realizar el monitoreo de condición, operación remota de máquinas industriales desde cualquier equipo o dispositivo móvil conectado al internet, lo que permite la asistencia técnica remota.
- La plataforma desarrollada integra diferentes áreas como automatización, redes de comunicación y desarrollo de *software*, permitiendo una experiencia multidisciplinaria en la búsqueda de soluciones aplicando Industry 4.0, con la posibilidad de ampliar su implementación en laboratorios remotos en la formación técnica.

REFERENCIAS

[1] Bosch Rexroth España. (s. f.). Industria 4.0 [Artículo web]. Recuperado de <https://www.boschrexroth.com/es/es/temas-de-actualidad/industria-4-0/connected-industry-1>

[2] Cancio Gómez, A. (2018). *Diseño, desarrollo y prototipado de un Gateway M2M multiprotocolo para aplicaciones IoT* [Tesis de grado]. Universidad Abierta de Cataluña.

Recuperado de <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/81087>.

[3] Castro, I. «Medidas legales adoptadas en el ámbito laboral peruano debido al COVID-19», p. 4. Recuperado de <http://www.cielolaboral.com/medidas-legales-adoptadas-en-el-ambito-laboral-peruano-debido-al-covid-19/>

[4] Ccoyllo, I., Díaz, G., y Rodríguez, D. (2016). Alerta temprana ante huaycos (Satah UNO). *Revista I+i*, 3-12. Recuperado de <https://www.tecsup.edu.pe/sites/default/files/page/file/revista/Volumen-10/Art-1.pdf>

[5] Gallo, T. (2018). Desarrollo e implementación de internet industrial de las cosas aplicado al laboratorio de PLC'S de la Facultad de Ingeniería Industrial en procesos de automatización de la Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9228>

[6] García, J., y Benavides, J. (2019). *Arquitectura REST para la plataforma UAO-IO* [Tesis de grado]. Universidad de Oriente. Recuperado de <http://red.uao.edu.co/bitstream/10614/11597/5/T08762.pdf>

[7] GSMA Latin America. (s. f.). Inclusión Digital en América Latina. Recuperado de <https://www.gsma.com/latinamerica/es/sociedad-conectada/>

[8] Manosalva Barrera, N., y Cangrejo Aljure, L. (2018). Arquitectura tecnológica IoT para la trazabilidad de productos frescos. *Rev. Cuba. Cienc. Informáticas*, 12(1), 28-42.

[9] Marinelli, M., y Urquijo, R. (2017). Sistema de control de una cámara de germinación hidropónica con IoT. En *XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación* (oct. 2017). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63881>.

[10] Rivera, J., Luna, M., y Andrade, M. (2019). Estrategias de aplicación de Industria 4.0 en las empresas peruanas. *Revista i + I*, 5-13.

[11] Valencia Catunta, A. (2018). Aspectos regulatorios del teletrabajo en el Perú: análisis y perspectivas, *Rev. IUS*, 12(41). Recuperado de 10.35487/rius.v12i41.2018.319

[12] Vector ITC. (23 de julio de 2019). Próximos retos en la adopción del Internet of Things [Artículo web]. Recuperado de <https://www.vectoritcgroup.com/tech-magazine/innovation-trends/cuales-son-los-proximos-retos-en-la-adopcion-del-iot/>

ACERCA DEL AUTOR

Carlos Otiniano Noé

Profesional en sistemas mecatrónicos industriales, Train the Trainers en Industria 4.0 certificado por Bosh Rexroth. Es desarrollador asociado CLAD certificado por National Instruments. Certificación de Mechatronics WorldSkills

Festo WSA. Cuenta con más de 7 años de experiencia como integrador de sistemas industriales y 12 años de experiencia como docente en instituciones tecnológicas, brindando formación tecnológica en las carreras de Mecatrónica y Electrónica Industrial.

@cotinianon@tecsup.edu.pe

Recibido: 27-09-20

Revisado: 18-10-20

Aceptado: 20-10-20



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Programas y cursos virtuales Especializados



canvas

Plataforma Canvas, utilizada por las mejores instituciones educativas como Harvard, Berkeley, MIT, entre otras



Docentes nacionales e internacionales expertos en el sector.



Clases con videoconferencias en tiempo real y grabadas



Cursos constantemente actualizados

A close-up photograph of a metal heat exchanger coil, showing several turns of the pipe. In the background, a fan with a grid is visible, suggesting an industrial or mechanical setting. The lighting is dramatic, with strong highlights and deep shadows.

El intercambiador es usado con múltiples objetivos, ya sea para refrigerar, calentar o controlar la temperatura en un fluido mediante procesos físico-químicos de transferencia de calor, **el diagnóstico temprano de fallos en estos sensores es vital para la correcta operación y óptimo desempeño de los equipos.**

Implementación de observadores dedicados para la detección de fallos de un Intercambiador

Implementation of Dedicated Observers for Failures Detection in a Heat Exchanger

RESUMEN

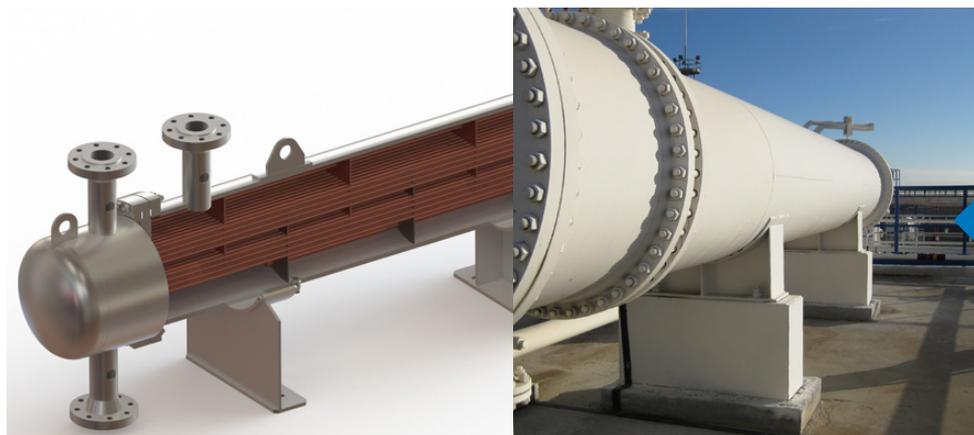
En este artículo se aborda el diseño e implementación de un banco de observadores dedicados para la detección e identificación de fallos en sensores de temperatura de un intercambiador de calor industrial de tubos concéntricos. Se usó un modelo lineal multivariable de caja gris para el desarrollo del modelo, en el cual un punto de operación fue fijado. Con los datos de operación del proceso, se realizó la identificación *off-line* de los coeficientes de modelo linealizado usando un enfoque de neuroidentificación dinámica. En el diseño del banco de observadores dedicados, se optó por el método de ubicación de polos para el ajuste de ganancia del observador, el cual permitió tener un mejor control sobre el ajuste de la sensibilidad y tiempo de detección del sistema de diagnóstico de fallos en la etapa de implementación. El algoritmo para la identificación del tipo de fallo fue basado en la evaluación de residuales mediante umbrales estáticos.

La implementación práctica fue llevada a cabo en el controlador L71 de la familia ControlLogix de Allen Bradley®, en el cual se programaron las rutinas y *add-ons* necesarios para implementar el algoritmo del sistema de detección e identificación de fallos. Los experimentos llevados a cabo demuestran que con este enfoque es posible la detección e identificación de fallos individuales y simultáneos en los sensores de temperatura del intercambiador de calor. La principal contribución de este trabajo es proveer un esquema diferente para el desarrollo de sistemas de detección e identificación de fallos en intercambiadores de calor basados en un modelo matemático simplificado, cuyos coeficientes pueden ser estimados usando redes neuronales, y el cual provee una aproximación satisfactoria del valor de los estados alrededor de un punto de operación prefijado, permitiendo así un sencillo diseño e implementación sobre PLC de observadores para tareas de supervisión de procesos.

ABSTRACT

This paper deals with the design and implementation of a dedicated observer bench for temperature sensors fault detection and identification applied to a concentric-pipe industrial heat exchanger. A multivariable grey-box model was considered, in which an operation point was chosen. Based on process data, an off-line linearized model coefficient identification was carried out using a dynamic neuro-identification scheme. In the design of the dedicated observer bench, pole placement was chosen for gain observer adjustment, which allowed us to have more control over sensibility and detection time of the fault diagnostic system at the implementation stage. For fault identification, an algorithm based on residual evaluation using static thresholds was developed.

The practical implementation was carried out using a programmable logic controller, in which the necessary routines and add-ons were programmed in order to implement the fault detection and identification algorithm. The experiments shown that with this scheme is possible fault detection and identification of individual and simultaneous faults on heat exchanger temperature sensors. The main contribution of this work is to provide a different scheme for fault detection and identification systems development for the heat exchanger, based on a simplified mathematical model, which coefficients could be founded through neural networks using neuro-identification scheme, and which provides a satisfactory approximation of states values around a fixed operation point, allowing the straightforward design and implementation over PLC of dedicated observers for process supervision tasks.



Palabras Claves

Intercambiadores de calor, diagnóstico de fallos, observadores dedicados, neuroidentificación dinámica.

Key words

Heat exchanger, fault diagnosis, dedicated observer scheme, dynamic neuro-identification.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria está tomando un papel importante en el desarrollo tecnológico, donde la automatización es la piedra angular de cualquier proceso industrial moderno. En dichos sistemas usualmente se persiguen diseños automatizados altamente disponibles y confiables en controladores, medios de comunicación e instrumentación de campo, conformando así sistemas altamente robustos ante fallos. Sin embargo, cuando nos enfocamos en los equipos y procesos que están bajo monitoreo y control, evidenciamos una necesidad incipiente y cada vez más creciente del desarrollo de sistemas avanzados que permitan identificar una «desviación» temprana o un cambio brusco de alguna variable o parámetro del proceso con respecto a su funcionamiento normal o «sano». Un sistema de control que posea adicionalmente dichas funciones de supervisión avanzada tendrá una alta repercusión en la mejora de la disponibilidad del proceso [6].

Uno de los equipos más usados en el entorno industrial para la transferencia de calor es el intercambiador de calor dado que es usado en procesos químicos, minería, petroquímica, industria farmacéutica y de bioprocesos, industria del papel, por mencionar los sectores más relevantes; el cual es objeto de estudio en este artículo, específicamente el intercambiador de tubos concéntricos. Este equipo es usado con múltiples objetivos, ya sea para refrigerar, calentar, o controlar la temperatura en un fluido mediante procesos físico-químicos de transferencia de calor, en el cual la principal variable de control y supervisión es la temperatura de los fluidos intercambiados. Por lo tanto, el diagnóstico temprano de fallos en estos sensores es vital para la correcta operación y óptimo desempeño del equipo.

Debido a su importancia dentro del entorno industrial, muchos investigadores han enfocado sus esfuerzos para el desarrollo de sistemas de diagnóstico de fallos en intercambiadores, lo cuales usualmente incluyen el diseño de observadores de estado para la estimación del valor del estado que es supervisado. Usualmente el desarrollo comienza con el modelamiento del proceso como caja gris, usando un macro modelo simplificado obtenido mediante balance de energía [8], luego se pueden optar por desarrollar bancos de observadores de alta ganancia [3], observadores por

modos deslizantes [1] o filtro de Kalman [7] para la estimación completa de los estados que permita el diseño de un algoritmo de detección de una desviación del comportamiento «normal» del proceso. Otras técnicas como el uso de redes neuronales para el análisis de data histórica de proceso también ha sido propuesto para el diagnóstico de sensores y actuadores [13], pero se requiere datos históricos que incluyan los valores de proceso en estado de fallo.

En este trabajo mostramos el diseño de un sistema de detección e identificación de fallos en la instrumentación de salida del intercambiador de calor. El enfoque usado es el de observadores dedicados, el cual es obtenido mediante el desarrollo e identificación de coeficientes de un modelo de caja gris usando neuroidentificación, el ajuste de las ganancias de los observadores empleando la ubicación de polos y la identificación del tipo de fallos usando comparación residual con umbrales estáticos. Una ventaja de estas técnicas es la sencillez de su concepción, la cual que permite su fácil implementación sobre controladores industriales, además en la aplicación práctica, estos enfoques gozan de una buena relación entre desempeño vs simplicidad.

El objetivo general de este trabajo es validar el enfoque y el método aquí usado para el desarrollo del modelo y del sistema de diagnóstico, usando un equipo real automatizado con un PLC de uso extendido. Se muestra que es posible lograr detectar e identificar fallos individuales y simultáneos en los sensores de temperatura del intercambiador, proveyendo de una descripción completa del fallo al operador mediante una interfaz hombre-máquina.

FUNDAMENTOS

Modelamiento del proceso

El proceso usado para implementar el sistema de diagnóstico de fallos fue un módulo de intercambio de calor (Figura 1) del cual se dispone en el laboratorio de Control Avanzado de Procesos de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Este tipo de intercambiador se compone de dos tubos concéntricos con un líquido caliente, que fluye por la tubería interna y otro más frío, por la tubería externa y en dirección contraria.



Figura 1. Intercambiador de calor.
Fuente: Elaboración propia.

El proceso dispone de 4 transmisores (4 – 20) mA de temperatura tipo RTD: es la medición del sensor de temperatura en el suministro de agua fría; T_{co} es la medición del sensor de temperatura de agua fría de intercambio; T_{hi} es la medición del sensor de temperatura al ingreso del agua caliente proveniente de proceso y, finalmente, T_{ho} es la medición del sensor de temperatura del agua caliente ya refrigerada.

Por sencillez, se considerará a este proceso como un arreglo de celdas (Figura 2), las cuales representan tanques perfectamente agitados y conectados por una pared conductora de calor. La dinámica del sistema se obtiene a través de un balance de energía que se aplica a cada una de las celdas [11], de las cuales se deriva en las ecuaciones 2 y 3.

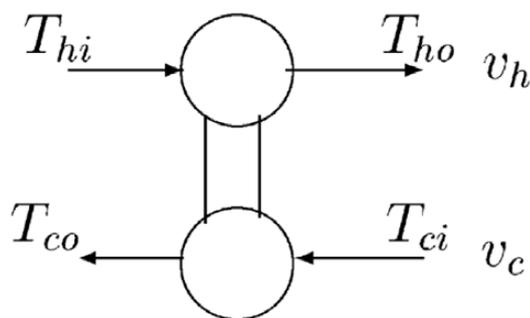


Figura 2. Modelo simplificado del intercambiador. Fuente: [14].

Celdas de intercambio de agua fría:

$$\frac{dT_{co}}{dt} = \frac{v_c}{V_c} (T_{ci} - T_{co}) + \frac{UA}{\rho_c C_{pc} V_c} \Delta T \quad (2)$$

Celdas de intercambio de agua caliente:

$$\frac{dT_{ho}}{dt} = \frac{v_h}{V_h} (T_{hi} - T_{ho}) + \frac{UA}{\rho_h C_{ph} V_h} \Delta T \quad (3)$$

Donde cada variable está definida en la tabla.

Tabla 1. Nomenclatura

Símbolo	Descripción	Unidades
T	Temperatura	$^{\circ}C$
A	Área de transferencia de calor	m^2
C_p	Calor específico	$J/Kg^{\circ}C$
U	Coefficiente de transferencia de calor	W/m^2K
V	Volumen del tubo	m^3
v	Flujo volumétrico de agua	m^3/s
ρ	Densidad del fluido	kg/m^3

Fuente: Elaboración propia.

Representando en el espacio de estados:

$$\dot{X} = AX + Bu \quad (4.1)$$

$$Y = CX + Du \quad (4.2)$$

Donde el vector de estados y las matrices de transferencia son definidos como:

$$\dot{X} = \begin{Bmatrix} \dot{T}_{co} \\ \dot{T}_{ho} \end{Bmatrix} \quad (5.1)$$

$$A = \begin{Bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{Bmatrix}, \quad B = \begin{Bmatrix} b_{11} & 0 \\ 0 & b_{22} \end{Bmatrix}, \quad C = \begin{Bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{Bmatrix}, \quad D = \{\emptyset_{44}\} \quad (5.2)$$

Siendo:

$$a_{11} = -\frac{v_c}{V_c} - \frac{UA}{\rho_c C_{pc} V_c}, \quad a_{12} = \frac{UA}{\rho_c C_{pc} V_c}, \quad a_{21} = \frac{UA}{\rho_h C_{ph} V_h}, \quad a_{22} = -\frac{v_h}{V_h} - \frac{UA}{\rho_h C_{ph} V_h} \quad (6.1)$$

$$b_{11} = \frac{v_c}{V_c}, \quad b_{22} = \frac{v_h}{V_h} \quad (6.2)$$

A pesar de que el modelo descrito por las ecuaciones 6.1 y 6.2 es un modelo sencillo, este es funcional, ya que ha sido usado para demostrar la factibilidad de la aplicación de técnicas de diagnóstico de fallos basado en observadores para intercambiadores que funcionan bajo el mismo principio, y del cual se conocen algunos dimensiones y parámetros de construcción del mismo [3]. Sin embargo, en este caso de estudio existe una gran dificultad para estimar el coeficiente de transferencia térmica U , las áreas de transferencia de calor A_i y los volúmenes internos de agua caliente y fría V_i ; ya que no se dispone de información tal como la geometría de construcción, dirección de los flujos, el mecanismo de transferencia de calor y el proceso de transferencia del calor. En este modelo, se considera U constante, así como las propiedades físicas del agua tal como la densidad ρ y calor específico C_p , dado que esta asunción ha demostrado ser válido para describir la dinámica del proceso en una región limitada de operación [12].

Este problema es recurrente a nivel industrial, donde generalmente se puede encontrar equipos que fueron adquiridos con insuficiente data técnica de construcción interna y desconocimiento inicial de los parámetros de funcionamiento, ya sea por una protección de la propiedad intelectual de la ingeniería del equipo o por falta de especificaciones del comprador. Este tipo de equipamiento se encuentra actualmente operando en las industrias, casi siempre vistos como cajas negras de las cuales no se puede extraer alguna información que permita efectuar predicciones sobre el funcionamiento del mismo. Esto conlleva a que se abandonen emprendimientos de mejora en el campo de control avanzado y diagnóstico de fallos debido a la imposibilidad del desarrollo de un modelo que describa el comportamiento del sistema.

A fin de abordar este problema, consideraremos el sistema a modelar como un modelo de caja gris, en el cual se pretende estimar los coeficientes de las matrices de transferencias usando redes neuronales.

METODOLOGÍA

Neuroidentificación del sistema

El uso de las redes neuronales se puede extender para estimar algunos parámetros del proceso a partir de data recolectada. En muchos trabajos se ha usado las redes neuronales para modelar sistemas lineales [10], y en otros se ha demostrado que se pueden obtener mejores resultados, usando un conocimiento previo del sistema que usando redes neuronales simples [9].

El objetivo de la neuroidentificación es capturar la dinámica del sistema empleando algún esquema de red neuronal. El número de capas y el tipo de neuronas a usarse deben ser escogidos de tal forma que los pesos sinápticos correspondan a los coeficientes de transferencia de las matrices descritas por las ecuaciones 4.1-2. De esta forma, es más adecuado para su identificación mediante redes neuronales expresar el modelo matemático del intercambiador de forma recursiva:

$$T_{co}(k + 1) = a_{11}T_{co}(k) + a_{12}T_{ho}(k) + b_{11}T_{ci}(k) \quad (7.1)$$

$$T_{ho}(k + 1) = a_{21}T_{co}(k) + a_{22}T_{ho}(k) + b_{22}T_{hi}(k) \quad (7.2)$$

El esquema de redes neuronales propuesto para la identificación de los coeficientes de transferencias del modelo linealizado se puede apreciar en la figura 3.

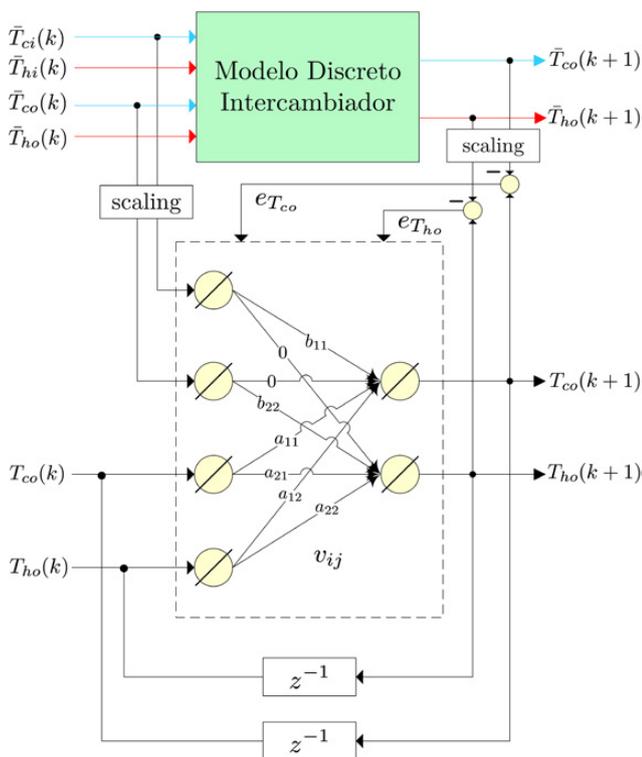


Figura 3. Estructura de la red neuronal usada para la neuroidentificación de la dinámica del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Para la toma de datos que alimentan a la red neuronal, un punto de operación fue fijado el cual corresponde a:

$$\bar{v}_c = 1.24 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}, \bar{v}_h = 2.22 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \quad (8.1)$$

$$\bar{T}_{ci} = (14.0 \pm 1.5)^\circ\text{C}, \bar{T}_{hi} = (69.0 \pm 2.0)^\circ\text{C} \quad (8.2)$$

$$\bar{T}_{co} = (39.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}, \bar{T}_{ho} = (48.0 \pm 0.5)^\circ\text{C} \quad (8.3)$$

Con un tiempo de muestreo $T_s = 1\text{s}$.

Dado que la red es entrenada dato a dato, las variables usadas son de tiempo discreto, por lo tanto, el modelo a obtener de la red neuronal también tendrá naturaleza discreta. El objetivo de la red es minimizar una función de costo definida por:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^N (X_k - X_k^D)^T P (X_k - X_k^D) \quad (9)$$

Donde X_k^D representa la data del proceso real, N es el número de datos disponibles para el entrenamiento y P es una matriz diagonal cuyos componen entes pueden ser manipulados para escalar o dar mayor importancia al momento de reducir el error de modelamiento de una variable y v_{ij} son los pesos de las sinapsis de la red neuronal.

Durante el entrenamiento, se necesita calcular las derivadas parciales totales de la función de costo J, a fin de actualizar el peso v_{ij} . Derivando la ecuación 9 obtenemos:

$$\frac{\partial J}{\partial v_{ij}} = \sum_{k=1}^N (X_k - X_k^D)^T P \frac{\partial \bar{X}_k}{\partial v_{ij}} \quad (10)$$

Aplicando el algoritmo de retro propagación dinámica (DBP), las derivadas parciales $\partial \bar{X}_k / \partial v_{ij}$ se pueden calcular iterativamente en cada barrido de la red neuronal de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \bar{X}_k}{\partial v_{ij}} = \frac{\partial X_k}{\partial v_{ij}} + \frac{\partial X_k}{\partial X_{k-1}} \times \frac{\partial \bar{X}_k}{\partial v_{ij}} = \frac{\partial X_k}{\partial v_{ij}} + A \frac{\partial \bar{X}_{k-1}}{\partial v_{ij}} \quad (11)$$

La derivada simple $\partial X_k / \partial v_{ij} = dX_k / dv_{ij}$ es calculada a partir de la estructura de la red neuronal, el jacobiano $\partial X_k / \partial X_{k-1}$ es también calculado a partir de la red neuronal y, en este caso particular, está compuesta por los componentes de la matriz de transferencia del sistema linealizado.

La actualización del peso sináptico se efectúa mediante:

$$v_{ij} = v_{ij} + \eta \frac{\partial J}{\partial v_{ij}} \quad (12)$$

Donde v_{ij} está compuesto por:

$$v_{ij} = \begin{Bmatrix} a_{11} & a_{21} \\ a_{12} & a_{22} \\ b_{11} & 0 \\ 0 & b_{22} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

En la cual se ha aprovechado el conocimiento *a priori* del sistema para fijar algunos valores de los pesos sinápticos a 0. Luego del entrenamiento con diferentes conjuntos de datos de entrada, se obtuvieron los siguientes pesos sinápticos:

$$v_{ij} = \begin{Bmatrix} 0.2733 & 0.5228 \\ -0.0794 & 0.1534 \\ 0.2176 & 0 \\ 0 & 0.6326 \end{Bmatrix} \quad (14)$$

En la gráfica de la figura 4, se muestra el comportamiento del modelo al predecir los valores de las variables T_{co} y T_{ho} para un mismo conjunto de valores de entrada T_{ci} y T_{hi} . El criterio de evaluación del modelo (fit) fue la raíz del error cuadrático medio normalizado (NRMSE, por sus siglas en inglés). Del resultado, podemos concluir que el modelo obtenido mediante neuroidentificación es capaz de predecir la dinámica del sistema en una vecindad muy cercana al punto de operación.

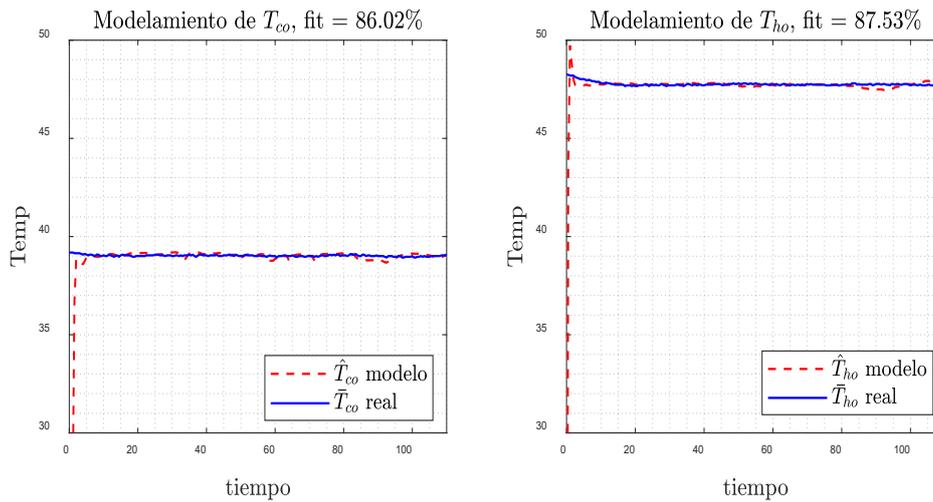


Figura 4. Validación del modelo obtenido mediante neuroidentificación. Fuente: Elaboración propia.

Diseño de observadores dedicados

Un observador, también conocido industrialmente como *soft-sensor*, es un estimador de estados, cuyo fin práctico es conocer el valor de variables que no pueden ser medidas directamente. Su aplicación para el diagnóstico de fallos consiste en la estimación de otras variables de proceso que permitan inferir cuando la medición real se «desvía» o presenta una falla.

Clark en «The dedicated observer approach to instrument failure detection» [2] propuso el esquema de observadores dedicados

(DOS, por sus siglas en Inglés). Este es un enfoque sencillo y práctico, donde cada observador recibe la señal de la entrada u y la salida y de un solo sensor, por lo cual el número de observadores debe ser igual al número de sensores. Para implementar este enfoque, es necesario que el sistema sea completamente observable desde todas las variables de estado. Cada observador debe generar un vector de estados estimados los cuales pueden ser utilizados para la generación de residuales r_i comparando con la salida real del proceso como se puede ver en la figura 5.

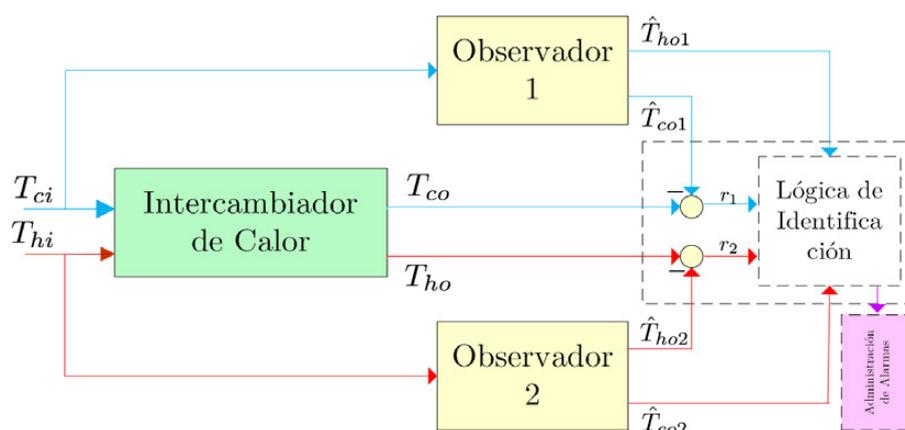


Figura 5. Esquema DOS aplicado al intercambiador de calor. Fuente: Elaboración propia.

Los residuales, luego, pueden ser evaluados directamente para detectar una desviación o un fallo del valor de una de las variables, mediante una lógica de procesamiento residual y gestión de alarmas.

El sistema discreto de las ecuaciones 7.1-2 puede ser representado de la siguiente forma:

$$X(k + 1) = \Phi X(k) + \Gamma u(k) \tag{15.1}$$

$$y(k) = CX(k) \tag{15.2}$$

Donde $X(k) = [T_{co}(k) \quad T_{ho}(k)]^T$. La matriz de observabilidad:

$$Ob = \begin{Bmatrix} C \\ C\Phi \end{Bmatrix} \tag{16}$$

Es de rango completo desde $y = T_{co}(k)$ y $y = T_{ho}(k)$ por lo tanto, podemos diseñar observadores de orden completo desde ambas variables de la forma:

$$\hat{X}(k + 1|k) = \Phi \hat{X}(k|k - 1) + \Gamma u(k) + K_e (y(k) - C \hat{X}(k|k - 1)) \tag{17}$$

Donde K_e es la matriz de ganancia del observador y la notación $\hat{X}(k + 1|k)$ denota la predicción de $X(k + 1)$ es efectuada usando mediciones disponibles en el tiempo k . El cálculo de K_e puede ser concluido empleando ubicación de polos deseados en el plano z.

$$\Delta_{ed}(z) = (z - \mu_1)(z - \mu_2) \dots (z - \mu_n) = z^n + a_{n-1}z^{n-1} + \dots + a_1z + a_0 = 0 \tag{18}$$

Donde μ_i son los polos deseados de la matriz $\Phi - K_e C$. Luego K_e es determinado empleando la fórmula de Ackermann.

$$K_e = \Delta_{ed}(\Phi) \begin{Bmatrix} C \\ C\Phi \\ \vdots \\ C\Phi^{n-1} \end{Bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \tag{19.1}$$

$$\Delta_{ed}(\Phi) = \Phi^n + a_{n-1}\Phi^{n-1} + \dots + a_1\Phi + a_0I = 0 \tag{19.2}$$

Generalmente, la posición de las raíces deseadas se diseña de tal forma que sean 5 veces más rápidas que la respuesta del sistema en lazo cerrado. Sin embargo, en el caso de generar un residual, se evidenció en la implementación práctica que es conveniente escoger adecuadamente los polos deseados, a fin de que permitan una respuesta lo suficientemente lenta como para que el sistema de diagnóstico pueda realizar un cálculo adecuado del residual que permita procesarlo y, así, obtener un diagnóstico correcto. Aplicando este enfoque, se obtuvo las siguientes ganancias para K_e :

$$\text{Observador 1: } K_{e1} = \begin{Bmatrix} 3.1604 \times 10^4 \\ 0 \end{Bmatrix}, \text{ cuando } y = T_{co} \tag{20.1}$$

$$\text{Observador 2: } K_{e2} = \begin{Bmatrix} 0.4401 \\ 0.4156 \end{Bmatrix}, \text{ cuando } y = T_{ho} \tag{20.2}$$

De la figura 6 podemos ver la observación completa de estados cuando $y = T_{co}$ y cuando $y = T_{ho}$. Se puede concluir que los observadores construidos logran predecir los valores finales de las variables observadas y, en cierta medida, recrear la dinámica en vecindades cercanas al valor de operación final.

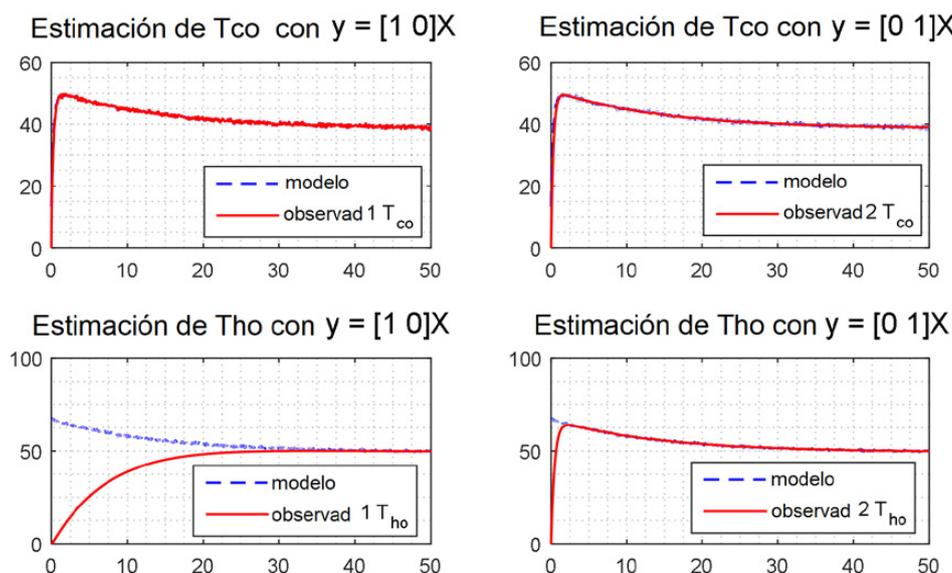


Figura 6. Desempeño de los observadores diseñado mediante asignación de polos. Fuente: Elaboración propia.

Si se define a $\hat{T}_{co\,obs1}$, $\hat{T}_{ho\,obs1}$ como los valores observados desde el primer observador $y = T_{co}$, $\hat{T}_{co\,obs2}$, $\hat{T}_{ho\,obs2}$, los valores observados desde $y = T_{ho}$, podemos calcular los residuales según el esquema propuesto de la figura 5 de la siguiente forma:

$$r_1 = |T_{co} - \hat{T}_{co\,obs1}| \quad (21.1)$$

$$r_2 = |T_{ho} - \hat{T}_{ho\,obs2}| \quad (21.2)$$

r_1 y r_2 son los indicadores usados para evaluar la existencia de una falla en el sensor el cual corresponde a la parte de aislamiento, que, como establecimos anteriormente, es resultado directo del esquema de observadores dedicados. Para la tarea de identificación del tipo de fallo, se diseñó una lógica basada en procesamiento residual con comparación de umbrales. En la figura 7, se muestra la lógica propuesta para identificar el fallo ocurrido en el sensor de temperatura de agua fría a la salida del intercambiador T_{co} . La misma lógica es aplicada al diagnóstico de T_{ho} .

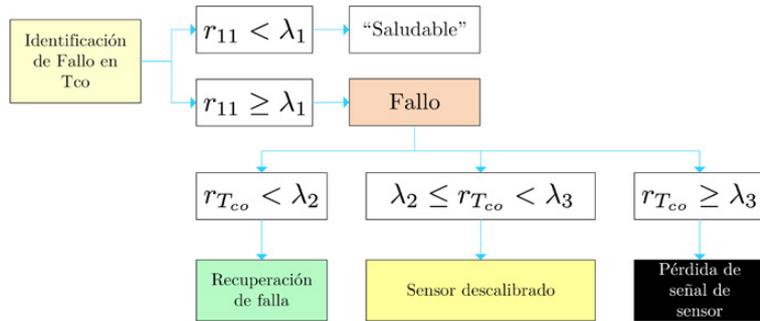


Figura 7. Lógica basada en umbrales para la detección e identificación de fallo en un instrumento.
Fuente: Elaboración propia.

El umbral λ_1 es escogido de tal forma que contemple la varianza del ruido del proceso y las variaciones máximas de las variables de proceso definidas en 8.2-3. Así, cuando el residual r_{11} o r_{22} sea mayor a este valor, significará que, en un momento determinado, hubo una inconsistencia entre el valor observado y la medición, por lo cual el sistema lo clasificará como «fallo». Para la identificación del tipo de falla definiremos residuales $r_{T_{co}}$ y $r_{T_{ho}}$:

$$r_{T_{co}} = |\hat{T}_{co\,obs1} - \hat{T}_{co\,obs2}| \quad (22.1)$$

$$r_{T_{ho}} = |\hat{T}_{ho\,obs1} - \hat{T}_{ho\,obs2}| \quad (22.2)$$

Estos son comparados con los umbrales λ_2 y λ_3 , los cuales son fijados mediante observaciones y ajuste experimental, a

fin de que sean capaces de describir regiones en los cuales se pueda identificar una recuperación después de fallo: ($r_{T_{co}}, r_{T_{ho}} < \lambda_2$), así como una posible descalibración del sensor: ($\lambda_2 \leq r_{T_{co}}, r_{T_{ho}} < \lambda_3$), o una desconexión o avería total del sensor:.

En la figura 8.a, se observa dos desconexiones del sensor T_{co} en 25,10 y 55,10 segundos, los cuales generan dos residuales en la figura 8.e. Ambos fallos también repercuten en la estimación del estado estimado $T_{ho\,obs1}$ como se aprecia en 8.c. En 8.d se emula un fallo en el segundo 46,35, el cual genera el residual de 8(f). Se evidencia que la amplitud de los residuales, y por lo tanto la rapidez del diagnóstico, está directamente relacionada con las ganancias K_e de los observadores.

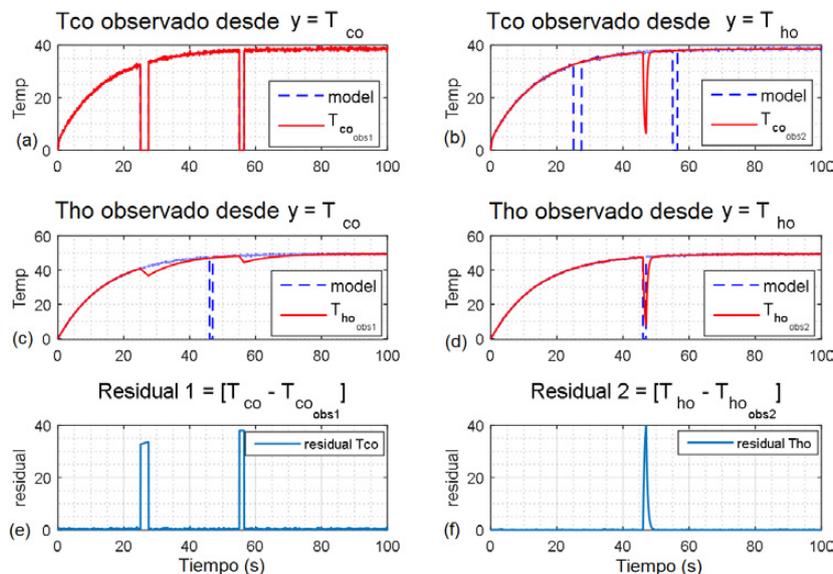


Figura 8. Simulación de fallos en ambos sensores en diferentes instantes.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, estos residuales deben de ser procesados por la lógica de umbrales, a fin de identificar la naturaleza del fallo, tal como se muestra en la figura 9.

```

Registo de eventos / diagnósticos del Intercambiador de Calor
Alarma: sensor Tco desconectado en 25.10 seg
Recuperación de sensor Tco en 30.00 seg
Alarma: sensor Tho desconectado en 46.35 seg
Recuperación de sensor Tho en 47.95 seg
Alarma: sensor Tco desconectado en 55.10 seg
Recuperación de sensor Tco en 58.00 seg
>>
    
```

Figura 9. Mensajes de diagnóstico en el entorno de Matlab/Simulink.

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la implementación del sistema de detección y aislamiento de fallas en un intercambiador de calor. La planta usada para validar este trabajo de investigación se encuentra ubicada en los laboratorios de Automatización y Control de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

El controlador elegido para la implementación del enfoque DOS y algoritmo FDI fue un ControlLogix L71, el cual es un PLC de uso extendido a nivel industrial. Las ecuaciones 17, 21.1-2, 22.1-2 y el algoritmo de la figura 7 fueron implementados sobre texto estructurado creando un *add-on* específico para función, los cuales fueron incorporados en una tarea periódica de exclusiva para este algoritmo, con tiempo de ejecución de 1 segundo. En la figura 10, se muestra la arquitectura del Sistema de Supervisión y Diagnóstico de Fallos creado sobre la plataforma de Allen Bradley y Rockwell.

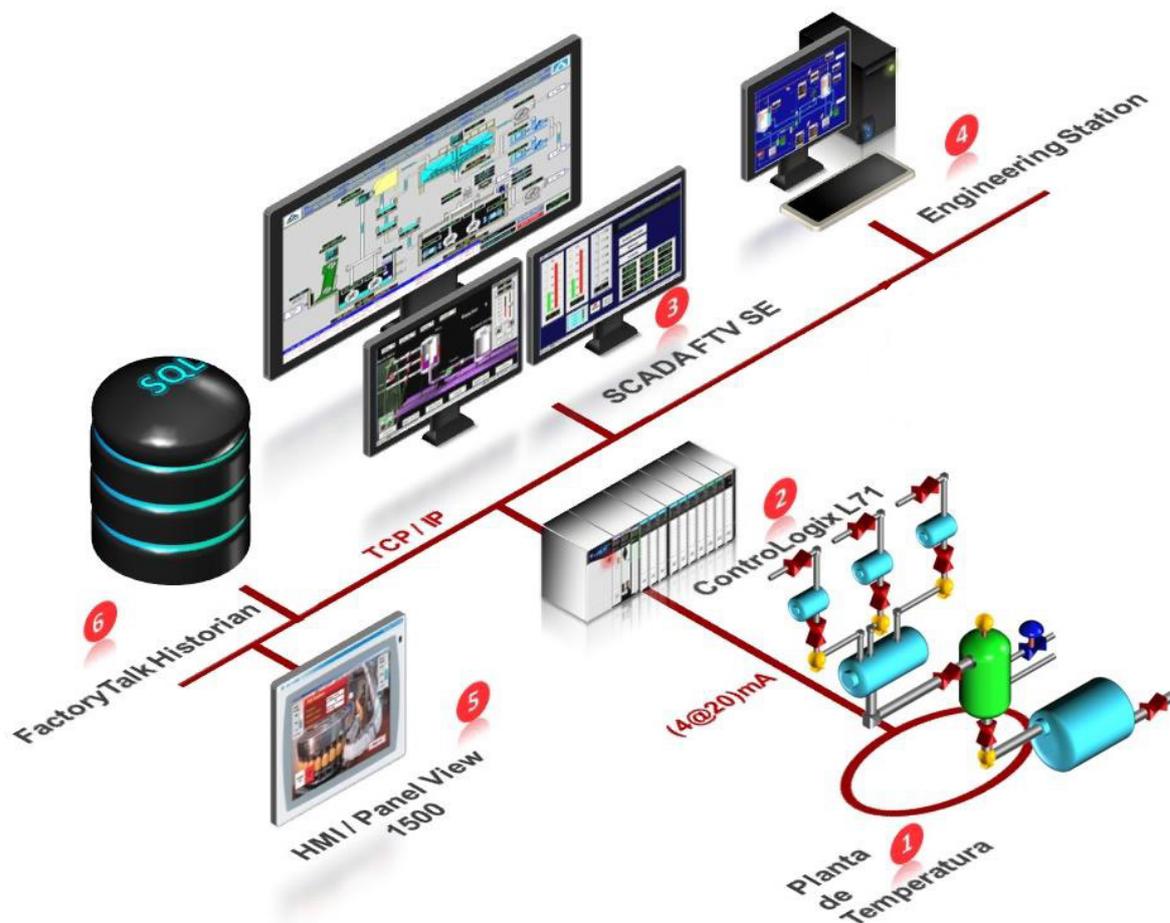


Figura 10. Arquitectura del Sistema de Supervisión y Diagnóstico de Fallos para el proceso de intercambio de calor.

Fuente: Elaboración propia.

La implementación incluyó el desarrollo de un HMI de campo, en el cual el operador puede activar o desactivar el Sistema de

Diagnóstico de Fallos, así como monitorear variables y reconocer las principales alarmas del proceso.

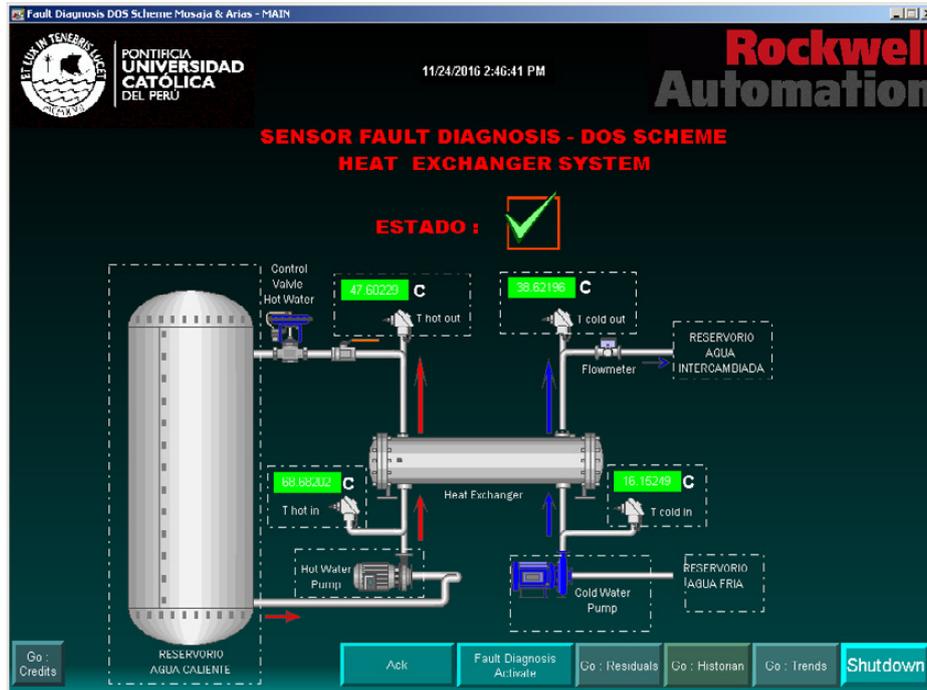


Figura 11. HMI del Sistema de supervisión y diagnóstico de fallos del intercambiador de calor.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 12, se muestra el desempeño de los observadores construidos para observar T_{co} y T_{ho} . Se evidencia que ambos observadores muestran un comportamiento similar al del diseño original en Matlab, logrando estimar con buena precisión los estados observados. Una vez que los observadores han logrado

converger a sus valores de punto de operación, el operador debe activar el sistema de diagnóstico de fallos en el panel HMI. El sistema de supervisión no generara ninguna alarma si no existen fallos en el sistema y verificara el estado *healthy* de los instrumentos mostrando un *check* en la parte superior del HMI.

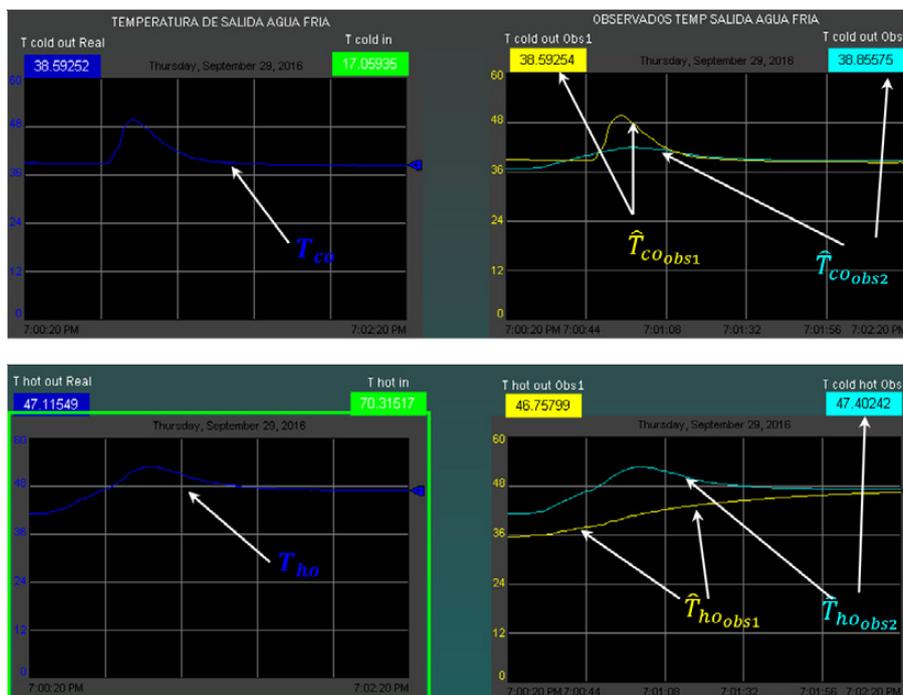


Figura 12. Superior: Medición de temperatura de salida del flujo de agua fría T_{co} y sus observados $\hat{T}_{co\text{obs}1}$ y $\hat{T}_{co\text{obs}2}$
Inferior : Medición de temperatura de salida del flujo de agua caliente T_{ho} y sus observados $\hat{T}_{ho\text{obs}1}$ y $\hat{T}_{ho\text{obs}2}$.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que en el sistema real es complicado inducir un fallo por descalibración, el sistema de diagnóstico fue puesto a prueba mediante la inducción de fallos abruptos tipo desconexión en ambos instrumentos T_{co} y T_{ho} .

En la figura 13, se muestra el diagnóstico del sistema cuando se induce un fallo abrupto sobre T_{co} . En un determinado instante se

desconecta uno de los terminales de T_{co} , el sistema de diagnóstico ya activado genera su residual correspondiente. Puesto que el residual supera los valores de umbrales determinados por el algoritmo de la figura 7, este aísla (figura 13.b) e identifica del fallo el tipo de fallo (ver figura 16). Luego, el operario debe reconocer la alarma presionando Ack.



Figura 13. Detección e identificación de fallo en sensor de temperatura salida del flujo de agua fría. Izquierda: residual generado. Derecha: alarma en HMI sobre instrumento en fallo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14, se muestra los resultados de la inducción de un fallo abrupto en la RTD T_{ho} , así como la alarma generada en el HMI. Finalmente, en la figura 15 se muestra el resultado de la inducción de dos fallas simultáneas en ambos sensor T_{co} y T_{ho} , observándose que el sistema es capaz de detectar ambos fallos;

sin embargo, no es capaz de realizar una correcta identificación del tipo de fallo debido a que es necesaria una «tercera» medida, con la cual se pueda contrastar los valores reales de los instrumentos en fallos.



Figura 14. Detección e identificación de fallo en sensor de temperatura salida del flujo de agua caliente T_{ho} . Izquierda: residual generado. Derecha: alarma en HMI sobre instrumento en fallo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 15. Detección simultánea de fallo en sensor de temperatura salida del flujo de agua fría T_{co} y caliente T_{ho} . Izquierda: residuales generados. Derecha: alarma en HMI sobre instrumentos en fallo. Fuente: Elaboración propia.

Todos los eventos y resultados de la identificación de fallos son almacenados en FTV. El servicio de históricos también forma parte

de la arquitectura del Sistema de Supervisión y Diagnóstico de Fallos.

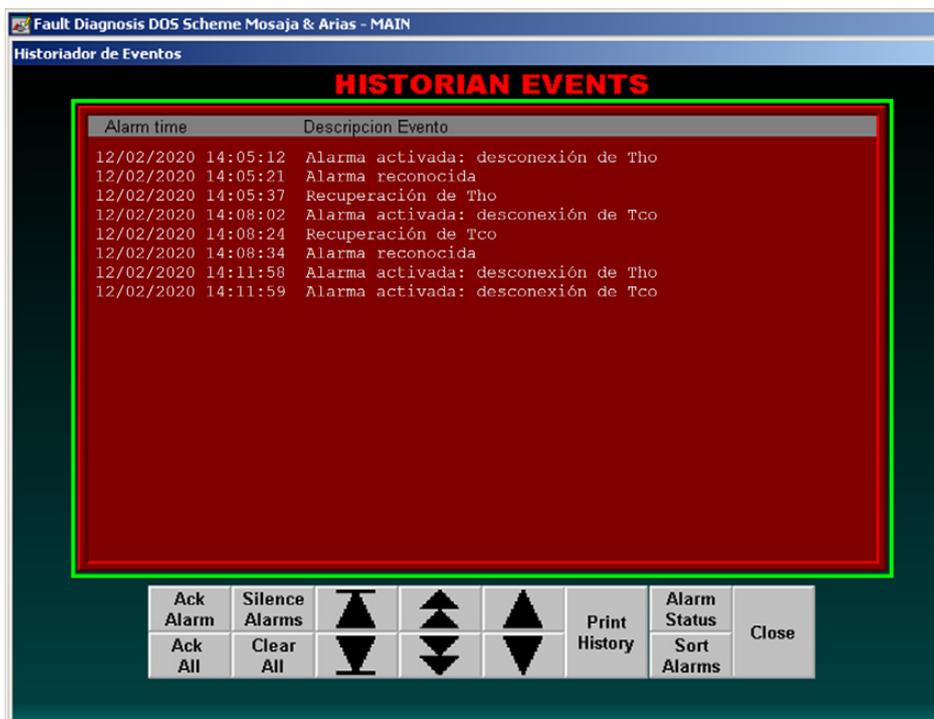


Figura 16. Interfaz de gestión de alarmas.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Se concluye que, mediante la estimación de los coeficientes de la matriz de transferencia del modelo simplificado del intercambiador a través de neuroidentificación, fue posible capturar la dinámica del intercambiador alrededor de un punto de operación. Dado que el experimento fue repetido en ocasiones diferentes, se puede concluir adicionalmente que es válido considerar ρ y C_p constantes, siempre y cuando se mantenga las condiciones de operación del proceso.
- En el diseño de los observadores, fue muy útil utilizar la técnica de ubicación de polos, para corregir el tiempo de detección de fallos, eliminar falsas detecciones y afinar el sistema para su puesta en marcha en la fase de implementación práctica.
- Finalmente, diseñar sistemas de diagnóstico de fallos con base en observadores dedicados, siempre que sea posible, es una excelente opción, dado su simpleza de concepción y su sencillez a la hora de la implementación práctica.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Adam-Medina, M., Escobar, R., Juárez-Romero, D., Guerrero-Ramírez, G. y López-Zapata, B. (2013). Detección de fallas en un intercambiador de calor,

utilizando observadores por modos deslizantes de segundo orden. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(2), 327-336.

[2] Clark, R. (1979). The dedicated observer approach to instrument failure detection. In *1979 18th IEEE Conference on Decision and Control including the Symposium on Adaptive Processes* IEEE, pp. 237-241.

[3] Escobar, R., Astorga-Zaragoza, C., Téllez-Anguiano, A., Juárez-Romero, D., Hernández, J. A., y Guerrero-Ramírez, G. (2011). Sensor fault detection and isolation via high-gain observers: Application to a double-pipe heat exchanger. *ISA transactions*, 50(3), 480-486.

[4] García-Morales, J., Adam-Medina, M., Escobar, R., Astorga-Zaragoza, C., y García-Beltrán, C. (2015). Diagnóstico de fallas múltiples en los sensores de un intercambiador de calor empleando observadores por modos deslizantes basado en el algoritmo Super-Twisting. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 14(2), 553-565.

[5] Hensen, R., Angelis, G., Van de Molengraft, M., de Jager, A., y Kok, J. (2000). Grey-box modeling of friction: An experimental case-study. *European Journal of Control*, 6, 258-267.

[6] Iseman, R. (2006). *Fault-diagnosis systems: an introduction from fault detection to fault tolerance*. Springer Science & Business Media.

- [7]** López-Zapata, B., Adam-Medina, M., Escobar, R. F., Álvarez-Gutiérrez, P. E., Gómez-Aguilar, J. F., & Vela-Valdés, L. G. (2016). Sensors and actuator fault tolerant control applied in a double pipe heat exchanger. *Measurement*, 93, 215-223.
- [8]** Luyben, W. (1989). *Process modeling, simulation and control for chemical engineers*. McGraw-Hill Higher Education.
- [9]** Masao, N., Ueda, E., y Moran, A. (1995). Nonlinear Design Approach to Four-WheelSteering Systems Using Neural Networks, *Vehicle System Dynamics. International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, 24(4-5) 329-342.
- [10]** Pham, D. y Liu, X. (1993). Identification of linear and nonlinear dynamic systems using recurrent neural networks. *Artificial Intelligence in Engineering*, 8, 67-75.
- [11]** Rahman, F. (1994). Modelling and dynamic feedback linearisation of a heat exchanger model. In *1994 Proceedings of IEEE International Conference on Control and Applications*. IEEE, pp. 1801-1806.
- [12]** Steiner, M. (1989). Low order dynamic models of heat exchangers. In *Proc. Of the International Symposium on District Heat Simulations*. Reykjavik.
- [13]** Tudón-Martínez, J., Morales-Menendez, R., y Garza-Castañón, L. (2010). Fault diagnosis in a heat exchanger using process history based-methods. In *Computer Aided Chemical Engineering*. Vol. 28. Elsevier, pp. 169-174.
- [14]** Weyer, E., Szederkényi, G., y Hangos, K. (2000). Grey box fault detection of heat exchangers. *Control engineering practice*, 8(2), 121-131.
- [15]** Yasui, Moran, A., y Hayase, M. (1996). Integration of linear systems and neural networks for identification and control of nonlinear systems. *Proceedings of the 35th SICE Annual Conference. International Session Papers*, pp. 1389-1394.

ACERCA DE LOS AUTORES

Luis Ángel Arias Copacondori

Ingeniero electrónico de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, con especialidad en control y automatización. Tiene estudio de máster en Ingeniería de Control y Automatización en la Pontificia Universidad Católica del Perú, por lo que fue becado por la Concytec. Presenta un alto conocimiento en desarrollo de proyectos de automatización en el rubro minero, desempeñándose como instrumentista e ingeniero de automatización.

@ a2156438@puap.edu.pe

Julio Alejandro Mosaja Churata

Ingeniero electrónico de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa y magíster en Ingeniería de Control y Automatización por la Pontificia Universidad Católica del Perú, graduado con mención sobresaliente, y es especialista en Gestión de Proyectos por la misma Universidad. Ha participado en diferentes proyectos de investigación aplicada financiados por FINCyT y CONCYTEC en el campo del diagnóstico y control tolerante a fallos aplicados a procesos industriales. Ha recibido entrenamiento técnico en DCS Invensys de Foxboro y PCS7 de Siemens en Tecsup, y CISCO CCNA v6 por la Universidad Católica San Pablo. Posee experiencia laboral tanto en proyectos como en el área de mantenimiento eléctrico instrumental, desempeñándose en el sector minero e industrial. Actualmente, capacita a profesionales en el área de automatización, instrumentación y control en Tecsup.

@ jmosaja@puap.edu.pe

Recibido: 17-05-20
 Revisado: 20-08-20
 Aceptado: 31-08-20



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.



FabLab Tecsup

Somos FabLab Tecsup, el punto de encuentro en el que alumnos, emprendedores y empresas pueden validar y concretar sus iniciativas en diseño de productos, impresión 3D, corte láser, prototipado, fabricación digital; así como entrenarse en metodologías ágiles y de diseño centrado en el usuario para innovar.



¿Por qué elegirnos?

+35
AÑOS
de experiencia
en el rubro
industrial


1er. FabLab en
institución educativa
privada


Premios recibidos
y presencia
internacional


Infraestructura
tecnológica y
presencia a
nivel nacional



Servicios

- Cursos y programas
- Servicios de diseño y fabricación digital
- Soluciones para empresas y RSE
- Membresía

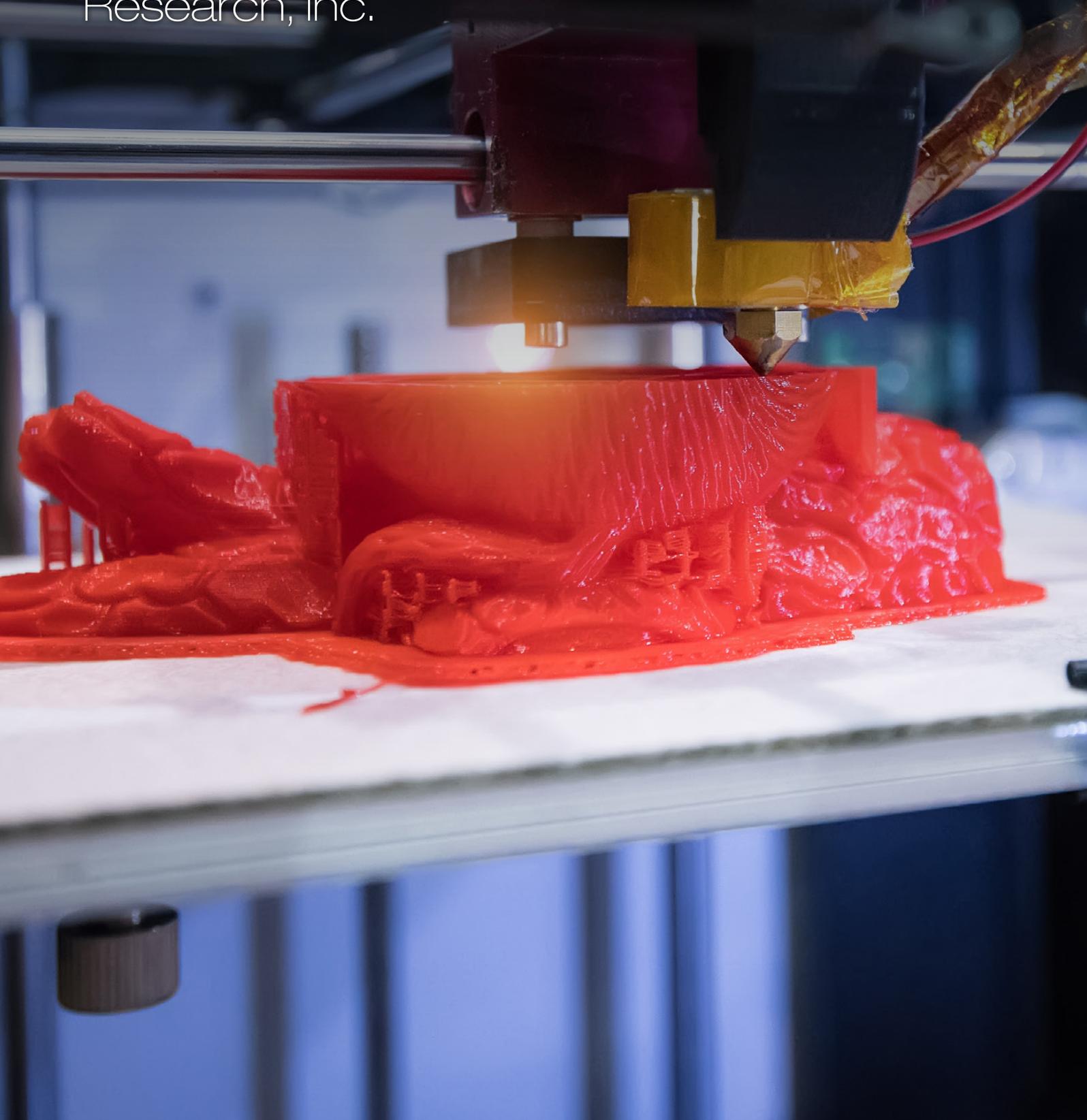
Más información

Tel.: (01) 317 3900 A.: 3314
Cel.: 920 265 351
informeslima@tecsup.edu.pe



El mercado mundial de la impresión 3D crecerá
**en 35,38 mil millones de
dólares para 2027**

según el último informe de Grand View
Research, Inc.



Impacto económico de las impresoras 3D. ¿La 4.a revolución industrial?

Economic Impact of 3D Printers. The 4th. Industrial Revolution?

RESUMEN

En el Perú, las importaciones de impresoras 3D se ha incrementado en los últimos 3 años, teniendo un crecimiento acelerado de 304,8 % en el 2019 con respecto al 2018 y para finales de 2020 se estima un crecimiento superior al 2019. Debido a que a julio de 2020, las importaciones ascendieron a un 98,6 % con referencia al año anterior.

La mayoría de las empresas encuestadas iniciaron sus actividades de servicios de impresión 3D a partir de 2019 fabricando productos como caretas faciales, acoples para respiradores, autopartes, adornos y prototipos en general.

Las instituciones educativas encuestadas actualmente cuentan con una variedad de equipos de impresión 3D con fines académicos, investigación e innovación, además de brindar servicios en menor escala a la industria y alquiler de equipos.

La impresión 3D genera un impacto económico en el Perú, evidenciado por la amplitud de usos y el crecimiento exponencial de sus importaciones en los últimos años, lo que nos lleva a relacionar la 4.ª revolución industrial con el crecimiento de la industria 3D. Como consecuencia de la relación entre la 4.ª revolución industrial y la impresión 3D es que se puede hablar de «Smart Factory», apoyado en las demás tecnologías que forman la 4.ª revolución industrial, acortando la cadena de suministros a la hora de hacer fabricación y la amplitud de usos en diversos sectores económicos.

ABSTRACT

In Peru, imports of 3D printers have increased in the last 3 years, having an accelerated growth of 304.8 % in 2019 compared to 2018 and by the end of 2020, a growth is estimated to be higher than 2019. This is due in July 2020, imports grew to 98.6 % compared to those of the previous year.

Most of the surveyed companies began their 3D printing services activities since 2019, manufacturing products such as facemasks, respirator attachments, auto parts, ornaments and prototypes in general.

Educational institutions surveyed, currently have a variety of 3D printing equipment for academic, research and innovation purposes, in addition to providing services, at a smaller scale, to the industry and those equipment's rentals.

3D printing generates an economic impact in Peru which is evidenced by the breadth of uses and the exponential growth of its imports in recent years, which leads us to relate the 4th industrial revolution with the growth of the 3D industry and the breadth of uses in various economic sectors.



Palabras Claves

Impresora 3D, Tendencia, Industria 4.0, Fabricación Aditiva, Maker, Fab Lab, Fabricación Inteligente.

Key words

3D printer, trend, industry 4.0, additive manufacturing, Maker, Fab Lab, Smart Factory.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, estamos viendo una nueva revolución industrial llamada industria 4.0, la cual tiene un impacto directo en las cadenas de suministros. Esta revolución industrial está basada en la fabricación digital, siendo uno de los mayores protagonistas la impresión 3D.

La impresión 3D se define como un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de materiales en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D.

En la actualidad, existen diferentes tipos de impresoras como extrusión, fotoquímicos, hilado y granulado, que emplean tecnologías FDM (modelado por deposición fundida) y SLA (estereolitografía), las cuales utilizan insumos (materiales) como PLA (ácido poliláctico), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), resinas, entre otros.

Entre las aplicaciones de mayor uso se encuentran la fabricación digital, el prototipado de objetos, las plantillas y las piezas de producción que abarcan los principales sectores como salud, arquitectura, aeroespacial, automoción, bienes de consumo, etc.

El mercado mundial de la impresión 3D crecerá en 35,38 mil millones de dólares para 2027 según el último informe de Grand View Research, Inc.

FUNDAMENTOS

La impresión 3D (manufactura por adición) tuvo sus inicios en 1976 con la invención de la impresora a inyección a tinta, a partir de esa fecha, se ha venido perfeccionando diferentes modelos de impresoras a la actualidad [1]

En 1984, Charles Hull agregó el concepto de estereolitografía que dio lugar a la impresión 3D y a la fabricación digital [13].

Carl Deckard, en 1987, desarrolló el sinterizado selectivo por láser (SLS). En 1988, Scott Crump inventó el modelado por deposición fundida (FDM). En el 2008, fue fundamental para la impresión 3D; gracias al proyecto RepRap, lanzan la primera impresora autorreplicable que tiene la posibilidad de imprimir la mayoría de sus componentes [3].

Los plásticos y las aleaciones de metal son los materiales más usados para impresión 3D, pero se puede utilizar casi cualquier cosa, desde hormigón hasta tejido vivo [5].

Existen diferentes tipos de impresoras 3D en el mercado como se indica en la tabla 1.

Tabla 1
Tipos de Impresora 3D

Tipo	Tecnologías	Materiales
Extrusión	Modelado por deposición fundida (FDM)	Termoplásticos, por ejemplo PLA, ABS y TPU
Fotoquímicos	Estereolitografía (SLA)	Fotopolímero
	Fotopolimerización por luz ultravioleta (SGC)	Fotopolímero
Hilado	Fabricación por haz de electrones (EBF3)	Casi cualquier aleación
Granulado	Sinterizado directo de metal por láser (DMLS)	Casi cualquier aleación
	Fusión por haz de electrones (EBM)	Aleaciones de titanio
	Sinterizado selectivo por calor (SHS)	Polvo termoplástico
	Sinterizado selectivo por láser (SLS)	Termoplásticos, polvos metálicos, cerámicos
	Proyección aglutinante (DSPC)	Yeso

Fuente: Elaboración propia.

Los materiales más usados por las impresoras son PLA, ABS, TPU (poliuretano termoplástico), entre otros.

Tabla 2
Materiales usados en la impresión 3D

Tecnología	Materiales	Usos
FDM	PLA	Prototipado fácil impresión
	ABS	Piezas industriales automotriz
	TPU	Piezas flexibles
	PETG	Piezas de mayor dureza
SLA	Resina Calcinable	Alto nivel de detalle
	Resina dura	Piezas industriales
	Resina dental	Médico
	Resina flexible	Prototipado

Fuente: Elaboración Propia.

Entre las aplicaciones más frecuentes se tiene:

- Fabricación digital
- Plantillas y fijaciones
- Piezas de producción
- Prototipado rápido
- Realismo
- Herramientas compuestas

Los sectores que presentan un mayor interés por la manufactura por adición son los siguientes:

- Sector aeroespacial
- Automoción
- Bienes de consumo
- Odontología
- Medicina
- Educación
- Ferroviario
- Arte y moda

La industria 4.0 es un término que fue desarrollado por el gobierno federal alemán para promover su estrategia de alta tecnología [9]. Desde el punto de vista técnico, la industria 4.0 determina la creciente digitalización y automatización del entorno de fabricación, así como la creación de cadena de valor digital, lo que permite la interacción comunicativa entre los productos, su entorno y los socios comerciales [21]

El resultado tangible genera mejoras en la calidad de producto y reduce el tiempo de comercialización. Al referimos a la industria 4.0 no solo nos referimos a internet, BigData o cloud computing, sino también a la impresión 3D con características interesantes como la conexión en varios sentidos máquina-máquina, máquina-producto, máquina-humano y producto-humano [6].

El mercado mundial de la impresión 3D

Se estima que el tamaño del mercado mundial de la impresión 3D alcanzará los 35,38 mil millones de dólares para 2027, según el nuevo informe de Grand View Research, Inc. Se espera que sea testigo de una tasa compuesta anual de 14,6 % durante el periodo de pronóstico [1] (3D Printing Market Worth \$35.38 Billion By 2027 | CAGR: 14.6 %, 2020).

Se proyecta que el tamaño del mercado mundial de metal de impresión 3D alcance los USD 5,51 mil millones para 2027, expandiéndose a una tasa compuesta anual del 27,8 % de 2020 a 2027, según un nuevo informe de Grand View Research, Inc. Al acelerar el crecimiento en la adopción de la impresión 3D para la fabricación de piezas metálicas, especialmente para las industrias de la aviación y la salud, es el factor crucial que impulsa el mercado.

En los últimos 3 años, ha habido un aumento significativo en el número de empresas que han adquirido experiencia en la impresión 3D. El 65 % de los negocios aplicaron esta tecnología en el 2019 en comparación con el 24 % que se obtuvo en el 2016 [23].

La encuesta EY Global 3D Survey realizada en el 2019 a un total de 900 compañías refleja que el 65 % de estas han aplicado la impresión 3D. Los 3 países que presentan una mayor experiencia en el uso de las tecnologías de industria aditiva son Corea del Sur, China y Canadá y los sectores industriales de mayor demanda son aeroespacial, empaque de productos de consumo y químicos como se muestran en las figuras 1 y en las tablas 3 y 4 respectivamente.

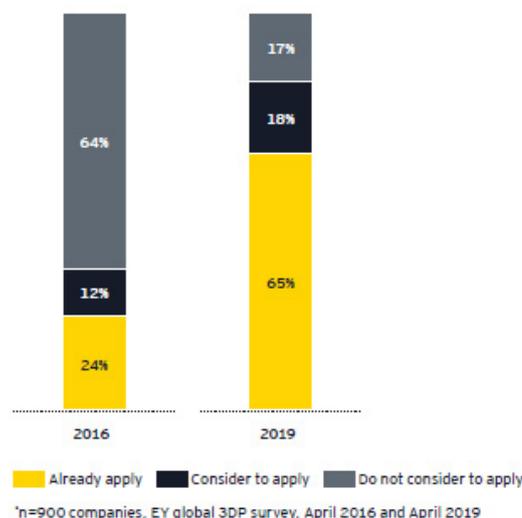


Figura 1. Conocimiento sobre las tecnologías de impresión 3D (2016-2019).

Fuente: A Global EY Report 2019.

Tabla 3
Experiencia en tecnologías de impresión 3D por país en el 2019

Country	Already apply	Consider to apply	Do not consider to
South Korea	81 %	14 %	5 %
China	78 %	18 %	4 %
Canadá	77 %	14 %	9 %
France/Belgium	74 %	21 %	5 %
UK	74 %	18 %	8 %
Japan	68 %	30 %	2 %
Switzerland/Austria	67 %	24 %	9 %
Germany	63 %	22 %	23 %
us	54 %	22 %	24 %
Italy/ Spain	42 %	15 %	43 %

Fuente: A Global EY Report 2019.

Tabla 4
Experiencia en tecnologías de impresión 3D por industria en 2019

Country	Already apply	Consider to apply	Do not consider to
Aerospace	78 %	22 %	-
Consumer Packaged Goods	76 %	24 %	-
Chemicals	75 %	25 %	-
Electro nics	71 %	12 %	17 %
Logistic and Transportation	68 %	14 %	18 %
Construction	63 %	20 %	17 %
Industrial Products	62 %	15 %	23 %
Automotive	59 %	17 %	24 %
Life Sciences	55 %	22 %	23 %

Fuente: A Global EY Report 2019.

SmarTech Analysis, una firma de investigación especializada en la industria de fabricación aditiva, publicó su cuarto informe anual sobre el mercado de la impresión 3D de polímeros, que se espera que genere \$ 11,7 mil millones en ingresos en 2020, aumentando a \$ 24 mil millones en 2024 y \$ 55 mil millones en 2030. Este

crecimiento está impulsado en particular por los procesos de lecho de polvo (ver figura 2), que han aumentado considerablemente en los últimos años. La tecnología es más atractiva para los fabricantes porque ofrece una mayor productividad y la posibilidad de imprimir piezas en serie [2].



Figura 2. Poliamidas.
Fuente: Flandes Inversión y Comercio.

El mercado de América Latina de la impresión 3D

Si bien el movimiento *maker* y el uso de tecnología de impresión 3D se ha desarrollado en la región en los últimos años, la industria aditiva es todavía bastante joven en América Latina. México se posicionó como líder regional y creó en 2018 el primer Consorcio de Fabricación Aditiva en Latinoamérica. En Brasil, que también es un motor regional de la tecnología, 49 % de las empresas productivas pretenden invertir en impresión 3D hasta el 2022. Otros países están empujando la impresión 3D, aunque en una menor medida, como Argentina, donde se creó la Cámara Argentina de Impresión 3D y Fabricación Digital, Chile y Colombia. La *International Data Corporation* (IDC) estima que el mercado en América Latina tendrá un crecimiento sostenido en los próximos años [10].

El mercado peruano de la impresión 3D

La impresión 3D en el Perú se encuentra liderada en su mayoría por los Fab Lab de las universidades y los institutos que se dedican a la enseñanza e investigación, creando prototipos en sus centros de diseño. Seguidamente de pequeñas empresas de impresión 3D que hacen servicio a terceras empresas como la minería, industria, salud, entre otras.

De acuerdo con el Mapa de Fab Labs [15] en el Perú, se cuenta con los siguientes Fab Lab y centros de impresión 3D:

- Fab Lab Lima
- Fab Lab ESAN
- Fab Xperience Café
- Fab Lab UNI
- Fab Lab Tecsup i+De
- Fab Lab UpeU
- Lima Makers Workshop
- Fab Lab UTEC
- Fab Lab USMP
- Fab Lab UCAL
- Fab Lab Ucontinental
- Fab Lab iFurniture
- FDR Fab Lab
- DigiToys
- Fab Lab PUCP
- Veo
- CIT – Fab Lab Universidad de Lima
- Studio Zinkin
- Creatispace
- Fab Lab UPC
- Markham Makerspace
- Fab Lab UP – Universidad del Pacífico

METODOLOGÍA

El presente estudio tiene un enfoque mixto, ya que abarca aspectos cualitativos y cuantitativos:

El ámbito cualitativo refiere a la sección del artículo centrado en artículo de revisión de tipo revisión descriptiva (BP, 1989), ya que esto permitirá proporcionar al lector una puesta al día sobre la constante evolución del ámbito de las impresoras 3D. Este tipo de revisión es de interés a muchas personas de campos conexos.

El ámbito cuantitativo se centra en el levantamiento de información primaria por medio de encuestas al personal de Fab Lab de diversas instituciones (académicos y empresas), con el fin de identificar diversos aspectos relacionados con el uso y la percepción de las impresoras 3D; también se analiza cuantitativamente información de Sunat sobre las importaciones de dicha tecnología durante los últimos 5 años (2015-2020), identificando importaciones de impresoras 3D, consumibles y repuestos por año, cantidad, tipo de impresoras y precio de los mismos.

Alcance

El alcance del estudio es de tipo descriptivo explicativo:

Descriptivo a través de un diseño no experimental longitudinal por medio de análisis estadístico, ya que se busca presentar la situación actual del tema en mención, describiendo el volumen y la variedad de importaciones de impresoras 3D en Perú y el uso principal que se le otorga durante los últimos 5 años.

Explicativo a través de un diseño no experimental transversal, ya que se tiene como objetivo medir la incidencia del uso de impresoras 3D en la población del Perú en un momento dado.

Métodos

Los métodos empleados fueron el levantamiento de información primaria, el análisis de data histórica la y revisión de artículos de revistas científicas.

Encuestas. Se manejaron dos tipos de encuestas utilizadas para el análisis transversal; una enfocada para los Fab Labs académicos y otra dirigida a empresas. Por su parte Hernández citado en Castro (2003), expresa que «si la población es menor a cincuenta (50) individuos, la población es igual a la muestra» (p.69) Por lo tanto, el tamaño de la muestra fue de 4 Fab Lab académicos y 16 empresas; en ambos casos, son entidades (personas naturales y jurídicas) de diversas regiones del Perú.

Análisis de data histórica. Utilizada para el análisis longitudinal, tomando información de Sunat sobre las importaciones durante los últimos 5 años de productos relacionados al mercado de impresiones 3D.

Artículos de revistas científicas. Empleados para la revisión descriptiva, con el fin de recopilar información y bibliografía que fundamenta la investigación.

Técnicas y herramientas

Las técnicas y herramientas utilizadas en el presente estudio son las siguientes:

La encuesta, que corresponde a nuestro modelo de investigación descriptiva, recolecta datos de los involucrados en el estudio sin modificar ni alterar su entorno o situación actual [17]

El cuestionario, como herramienta, es un conjunto de preguntas enfocadas a un tema determinado, que busca obtener resultados por parte de los encuestados [17]. Ambos cuestionarios constan de 6 preguntas de las cuales se podrán obtener información y generar conclusiones para validar la estadística de aumento de uso de las impresoras 3D, la identificación del sector industrial de desarrollo y los principales servicios ofertados.

Limitaciones de la investigación

La información acerca de la impresión 3D en el Perú y su evolución en los últimos años es limitada. Se cuenta con poca data histórica sobre Fab Labs en Perú, pues la data es menor de 6 años.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de las encuestas. En una primera instancia, sobre los Fab Labs académicos, seguido de las encuestas a empresas de impresión 3D, se analiza la data longitudinal de importación de impresoras al Perú y finalmente se presenta la revisión de artículos científicos entorno de los resultados previos.

Encuesta a Fab Lab académicos

Se procedió a encuestar a los Fab Labs de las siguientes instituciones educativas:

- Fab Lab Lima
- Fab Lab ESAN
- Fab Xperience Café
- Fab Lab UNI
- Fab Lab Tecsup i+De
- Fab Lab UpeU
- Lima Makers Workshop
- Fab Lab UTEC
- Fab Lab USMP
- Fab Lab U continental
- Fab Lab iFurniture
- Fab Lab PUCP
- Veo
- CIT – Fab Lab Universidad de Lima
- Studio Zinkin
- Creatispace
- Fab Lab UPC
- Markham Makerspace

Los Fab Labs administrados por instituciones educativas cuentan con mayor variedad de equipos para impresión 3D. Esto con un propósito académico para prototipar y analizar diferentes tipos y procesos de fabricación digital con impresoras 3D, como se muestra en la figura 3.

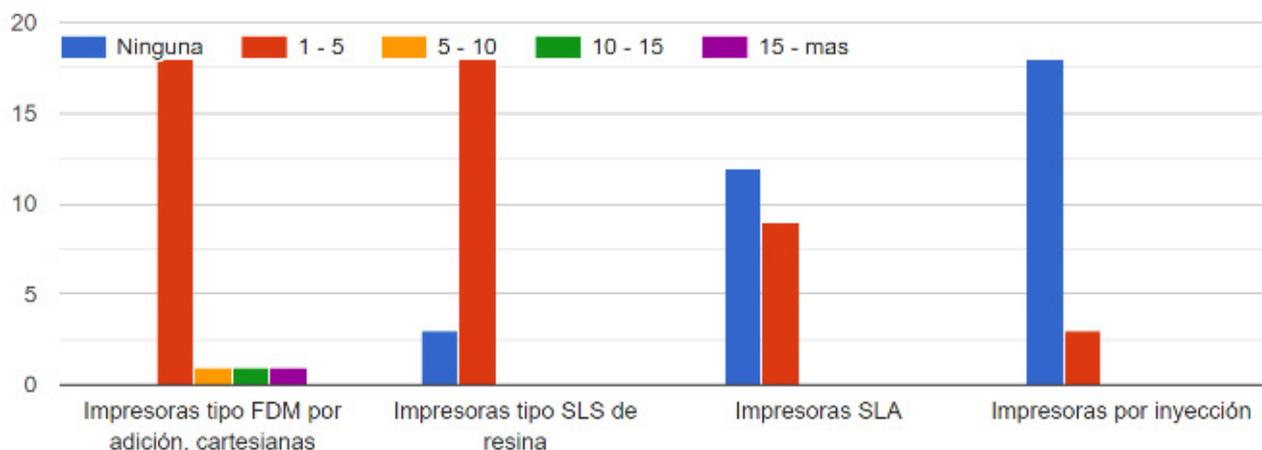


Figura 3. Tipo y cantidad de impresoras 3D que tienen los Fab Labs encuestados.
Fuente: Elaboración propia.

El uso que generalmente tienen los Fab Labs administrados por instituciones educativas obedecen a un ámbito netamente académico de enseñanza y aprendizaje, sin dejar de lado a

proyectos externos que es una de las actividades que prima en los Fab Labs, como veremos en la figura 4.

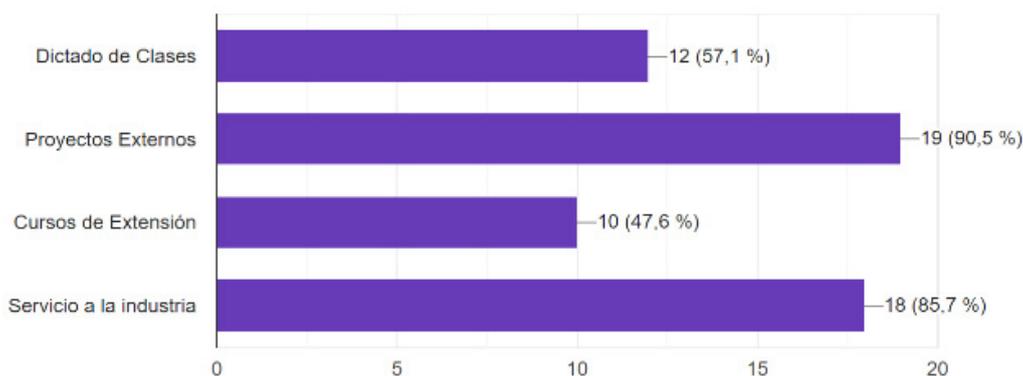


Figura 4. Servicios que ofrecen actualmente los Fab Labs en el rubro de impresión 3D.
Fuente: Elaboración propia.

Los Fab Labs también brindan servicios independientes a los temas académicos, como se muestra a continuación en la figura 5.

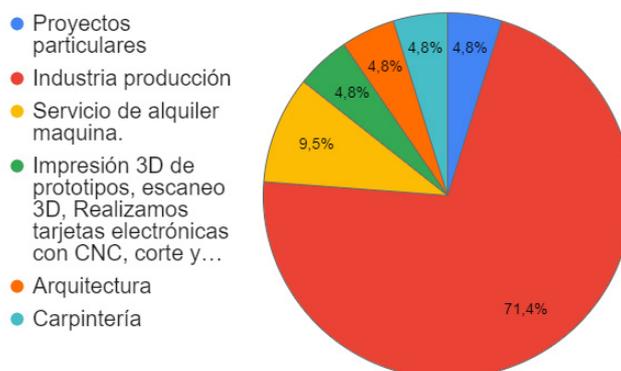


Figura 5. Servicios brindados por Fab Labs académicos.
Fuente: Elaboración propia.

Encuesta de empresas de impresión 3D

Entre los encuestados se tienen empresas con personería jurídica y natural:

- MIT3D - Centro de I+D
- GH - Impresiones 3D
- BIERPS - 3D Printing
- Alfaro Impresiones Perú
- Coloma 3D
- Mutante Lab
- Gerald Fab Lab Community
- i3d Eirl
- Imagine labs

- Alejandro Saenz 3D
- Iván Thomas Oré Campos Lab
- Mernin Escurra Cabezas 3D
- 3D Printing Erick Soplini
- Luciano 3DLABS
- Teqvita printing 3D
- Ilgabo3dmaker

Algunos de los resultados obtenidos más relevantes para el artículo en la encuesta realizada a las empresas relacionadas con la impresión 3D en Perú indican datos como el incremento en el sector económico en los últimos años, especialmente, en 2019 donde 7 empresas de 16 iniciaron sus operaciones, como se muestra en la figura 6.

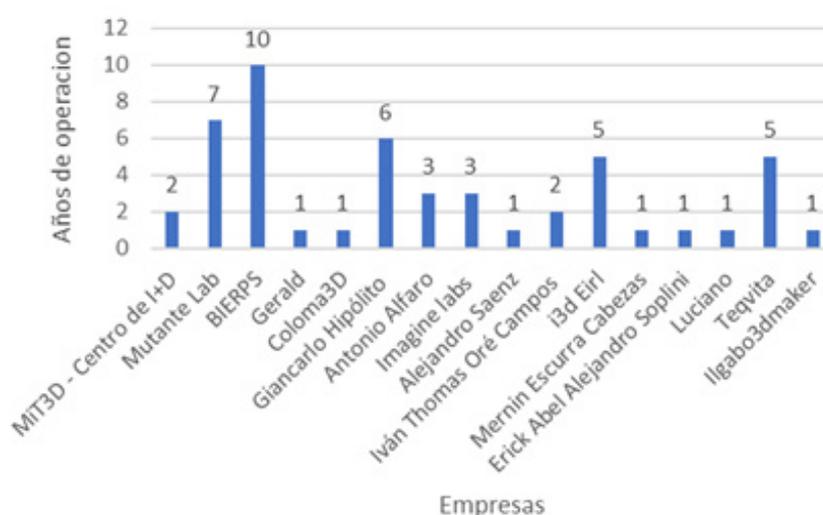


Figura 6. Años de trabajo en impresión 3D.
Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de máquinas que poseen las empresas que brindan servicios de impresión 3D oscilan entre 1 y 5 máquinas, tal como se muestra en la figura 7. La mayoría opta por una impresora tipo

FDM cartesiana, por la versatilidad del uso de sus materiales y la oferta en el mercado de materia prima (filamentos 3D), lo que demuestra que la tecnología tiene cabida en el mercado nacional.

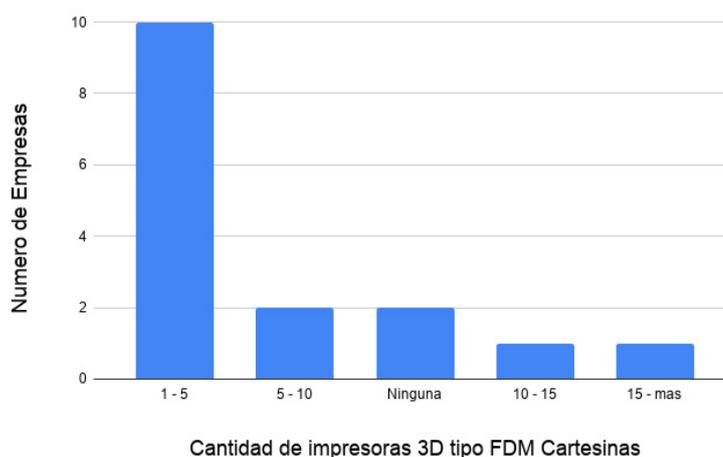


Figura 7. Cantidad de impresoras 3D que tienen las empresas encuestadas.
Fuente: Elaboración propia.

Actualmente, en nuestro país el rubro de la impresión 3D es un sector nuevo y que ha tenido un mayor protagonismo en buena manera gracias a la emergencia sanitaria, la pandemia (SARS2, COVID-19). La cultura *maker*, como se le conoce, representa el ingenio de una persona en desarrollar productos funcionales (prototipos) usando mayormente impresión 3D, corte láser y dispositivos electrónicos Open Hardware.

Los *makers* se agrupan en comunidades oficiales (Fab Labs o laboratorios) o no oficiales, siendo su principal medio de comunicación las redes sociales como Twitter, Telegram, Facebook, Slack y WhatsApp [11].

A continuación, en la figura 8, se muestran los servicios que brindan las empresas de impresión 3D.

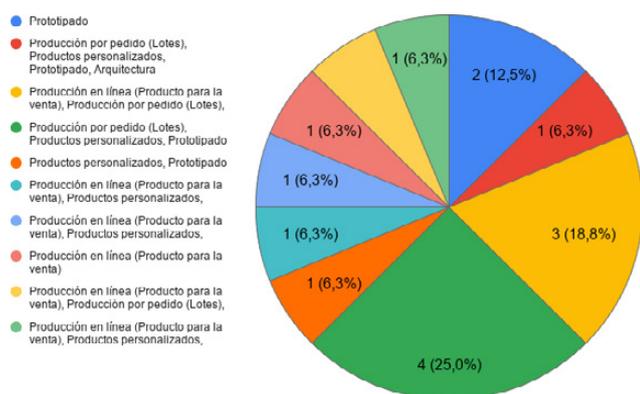


Figura 8. Servicios que ofrecen actualmente las empresas en el rubro de impresión 3D.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, los servicios más requeridos a las empresas dedicadas a la impresión 3D son adornos, *cosplay* seguido de piezas para uso de electrónica y electricidad, tal como se muestra en la siguiente figura 9.



Figura 9. Servicios más requeridos en la industria de la impresión 3D.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis longitudinal de importaciones de equipos 3D

En la figura 10, se observa que, en el 2019, las importaciones de impresoras 3D se incrementaron en 304.8 % con referencia al periodo 2018. En julio de 2020, se observa que las importaciones

se igualan al 98.6 % del 2019; por ello, se estima que, al cierre del 2020, se logre duplicar las importaciones del periodo anterior.

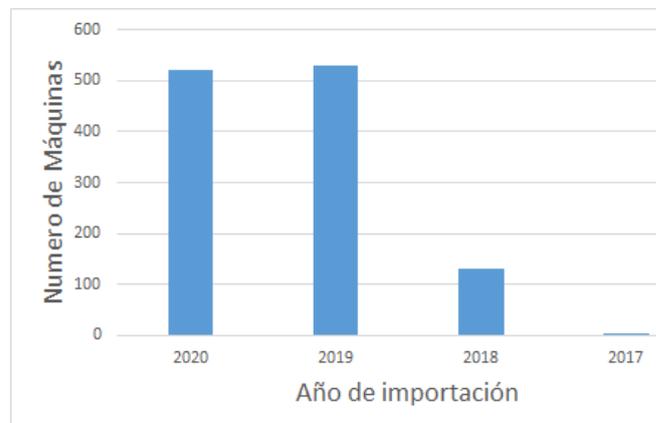


Figura 10. Importaciones por año hasta el 2do semestre 2020. Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, se pudo observar que la totalidad de importaciones proceden de China.

Revisión de artículos científicos entorno de los resultados previos

Actualmente, la impresión 3D en el Perú tiene un uso reducido y enfocado a prototipos, mas no a fabricación en línea. Según un estudio realizado por Markets and Markets (2019), el mercado de impresión 3D moverá cerca de 32,7 billones por año hasta el 2023, creciendo cerca de un 25 % anual. Beltagui adiconia que la actual coyuntura favorece la producción en línea con 3D [7]. Esto significa que, probablemente, incluso antes de 2025 las cadenas de suministro, incluida de la industria manufacturera, podrían convertirse en regionales o locales en lugar de globales.

Según Harvard Business Review, una mayor productividad de la infraestructura es esencial para abordar los problemas de infraestructura del mundo. Así, se podría ahorrar hasta 400 000 millones de dólares al año, lo que apoya a lo expuesto en este artículo de investigación: la impresión 3D podría convertirse en la próxima revolución industrial. Según Stratasys otro aspecto relevante para la industria 3D es la contaminación por el uso de polímeros [28]; por ello, Gonzales [18] se pregunta: ¿Qué hacemos con los residuos de las impresoras 3D? Así, plantea reutilizar las piezas impresas falladas y las que ya cumplieron su objetivo de fabricación, reciclando por medios físicos, para convertirlos nuevamente en materia prima, basándose en la investigación de José M Arandes [4].

En el ámbito médico, la impresión 3D tienen cabida en la el sector odontológico con la fabricación de prótesis dentales (impresoras SLA), aprovechando la biocompatibilidad y la homologación de los materiales por la FDA [14]; de igual forma, Chen, O y Rojas L. [12] presentan el diseño y fabricación de un prototipo de prótesis usando una impresora 3D tipo FDM y como materia prima filamento PLA. Otros aportes en medicina humana se ven en el trabajo de Susan Pumacayo-Cárdenas [26], donde aborda una anomalía cardiovascular compleja y decidió realizar un modelo impreso en 3D, el cual proporcionó una mejor comprensión de su distribución espacial, tamaño y forma real. Investigaciones

como esta en medicina nos permiten entender la versatilidad de la tecnología 3D.

Diversas publicaciones que revisan iniciativas como las de Ghaffar et al. En el 2018 [20], se señala que la fabricación aditiva de materiales de construcción ha sido una de las tecnologías avanzadas emergentes que tienen como objetivo minimizar la cadena de suministro en la industria de la construcción [20]. Hay algunos desafíos técnicos por superar como la estandarización de la formulación de materiales y calidad de la unión interfacial entre las capas depositadas. Sin embargo, V. Ramírez viene investigando y desarrollando tanto un dispositivo impresión 3D móvil como un material cementicio para ser extrusionado por dicho dispositivo y ser capaz de modelar cualquier tipo de figura con tecnología FDM [27].

La 4.^a revolución industrial cambiará el mundo del empleo por completo y afectará a industrias en todo el planeta (Perasso, 2016). Actualmente, la brecha entre la producción de prototipos y la fabricación en masa es cada vez menor [24] lo que nos lleva a enlazar la industria 4.0 con 3D.

CONCLUSIONES

- El presente artículo busca presentar al lector las tendencias tecnológicas basadas en impresión 3D y el impacto económico que genera como una oportunidad industrial en un mercado potencial aún no establecido.
- La industria de impresión 3D busca dinamizar las actividades económicas, fomentando la fabricación digital en línea, la competencia, la personalización de productos, así como en el ámbito de la medicina, reduciendo los tiempos de entrega y posibles errores de fabricación tradicional.
- «La tecnología de la impresión 3D ha llegado para quedarse» son palabras de muchos empresarios importadores de estas máquinas, no solo por el auge que tiene en el mercado internacional como revolución industrial 4.0, sino también por la versatilidad que tiene dicha tecnología en ser actualizada, no solo a nivel de *hardware* también en *software*. Esto hace que el tiempo de vida del producto sea mayor, rompiendo el esquema de productos tecnológicos con obsolescencia programada.
- La importación de impresoras 3D ha registrado un incremento en los últimos 3 años a nivel nacional, teniendo un crecimiento notable de 304,8 % en el 2019 con respecto al 2018. Para finales del 2020, se estima un crecimiento mayor que el 2019 dado que a julio de este año se ha registrado una tasa de 98,6 % con referencia al periodo anterior 2019, de acuerdo con el análisis realizado y cifras de la Superintendencia Nacional de Aduanas y de Administración Tributaria (Sunat).
- La fabricación aditiva (impresión 3D) como actividad económica ha tenido un mayor crecimiento a partir de 2019, impulsado por una mayor demanda de servicios de impresión por parte de clínicas que piden el servicio de fabricación de férulas y ortesis de función simple, consultorios odontológicos, tiendas de *cosplay*, estudios de arquitectura para prototipado, entre otros. A raíz de la pandemia de COVID-19 a comienzos de marzo de 2020,

se ha incrementado considerablemente la demanda de productos como caretas faciales, acoples para respiradores y respiradores mecánicos impresos en 3D, dada la restricción de importaciones.

- Las instituciones educativas encuestadas cuentan con una variedad de equipos de impresión 3D, con fines académicos, investigación e innovación, además de brindar servicios en menor escala a la industria y alquiler de equipos; en el caso de las universidades, esta forma parte importante de las incubadoras de negocio.
- El 44 % de las empresas entrevistadas manifiestan que iniciaron sus actividades en el 2019, año en que se triplicaron las importaciones de impresoras 3D y suministros traídos desde China.
- El 63 % de las empresas entrevistadas optan por una impresora de tipo FDM cartesiana debido a la versatilidad del uso de sus materiales y la oferta en el mercado de materia prima (filamentos 3D).
- Entre los principales servicios que ofrecen las empresas de impresión 3D se encuentran la producción por pedido: productos personalizados (25 %), producción en línea, es decir, producción por pedido para la venta (18.8 %) y prototipado (12.5 %).

REFERENCIAS

- [1] *3d Printing Industry*. (2020). Recuperado de <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide>
- [2] Alicia M. (5 de marzo de 2020). *3d Natives*. Recuperado de <https://www.3dnatives.com/es/mercado-de-impresion-3d-de-polimeros-generara-este-2020-050320202/#!>
- [3] Álvarez, L. H. (2014). *Atos SE (Societas Europaea)*. (3D printing) Recuperado de <https://atos.net/content/dam/global/ascent-whitepapers/ascent-whitepaper-3d-printing.pdf>
- [4] Arandes, J. M., Bilbao, J., & Lopez Valerio, D. (2004). Reciclado de residuos plásticos. *Revista Iberoamericana de Polímeros*. Recuperado de <http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/MAR04/Danilo2004.pdf>
- [5] Autodesk. (s.f.). *Autodesk*. Recuperado de <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/3d-printing>
- [6] Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Gamero, P. (2018). *Industria 4.0: Fabricando el Futuro*.
- [7] Beltagui, A., Kunz, N., & Gold, S. (2019). The role of 3D printing and open design on adoption of socially sustainable supply chain innovation. *International Journal of Production Economics*. Obtenido de (Beltagui, A., Kunz, N., & Gold, S. 2019)
- [8] BP, S. (1989). *Biomedical review articles: what editors want from authors and peer reviewers*. *Can Med Assoc J*.

- [9] Brettel, M., Friederichsen, N., & Michael Keller, M. R. (s.f.). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Information and Communication Engineering*. Recuperado de https://formamente.guideassociation.org/wp-content/uploads/2017_1_03_Brettel.pdf
- [10] Camós, G., Bertossi, F., & Santos Arias, F. (20 de abril de 2020). *BID*. Recuperado de <https://blogs.iadb.org/transporte/es/el-potencial-de-la-impresion-3d-en-el-sector-transporte/>
- [11] Cender Quispe, J., Paulo Vela, A., Moises Meza, R., & Victor Moquillaza, A. (2020). COVID-19: A pandemic in the era of digital health. *Scielo*.
- [12] Cheng Barrantes, O. E., & Rojas Vega, L. F. (2019). *Universidad de Piura*. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4024>
- [13] Conde, J. E. (2016). *Centro de Análisis y Prospectiva*. (Nota de Futuro Impresoras 3D) Recuperado de https://intranet.bibliotecasgc.bage.es/intranet-tmpl/prog/local_repository/documents/17854.pdf
- [14] Ecerra Cano, S., Covarrubias Miranda, J. R., & Tinoco Trujillo, F. (2019). *EAE*. Recuperado de <http://eae.xebook.es/xmlui/handle/123456789/1666>
- [15] FabLabs.io. (2020). FabLabs. Recuperado de https://www.fablabs.io/labs?utf8=%E2%9C%93&q%5Bcountry_code_eq%5D=pe&q%5Bactivity_status_eq%5D=&per=25&commit=Filter
- [16] FILAMENT2PRINT. (3 de mayo de 2019). Recuperado de https://filament2print.com/es/blog/61_profesiones-sectores-mas-uso-impresion-3d.html
- [17] Gillham, B. (2008). *Developing a questionnaire*. London: Continuum International Publishing Group Ltd.
- [18] Gonzales, V. (s.f.). *Muy Interesante*. Recuperado de <https://www.muyinteresante.es/tecnologia/articulo/que-hacemos-con-los-residuos-de-las-impresoras-3d-231487753280>
- [19] *Grand View Research*. (Febrero de 2020). Recuperado de <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-3d-printing-market>
- [20] Hamidreza Ghaffar, S., Corker, J., & Fan, M. (2018). Additive manufacturing technology and its implementation in construction as an eco-innovative solution. *ScienceDirect*.
- [21] Heiner Lasi, P. F.-G., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Bus Inf Syst Eng*. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-014-0334-4>
- [22] Hernández Alonso, J., & López Morán, L. (2019). *Estadística descriptiva, Teoría y Ejercicios*. Madrid: Sanz y Torres .
- [23] Karevska, S., & Steinberg, G. (2019). *3D printing: hype or game changer?* A Global EY Reporte.
- [24] Ledger, G. (11 de Febrero de 2019). *América Economía*. Recuperado de <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/impresion-3d-la-cuarta-revolucion-industrial-de-los-makers>
- [25] Perasso, V. (12 de octubre de 2016). *BBC News*. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834>
- [26] Pumacayo Cárdenas, S., Arias Vela, G., & Quea Pinto, E. (2020). Impresión 3D de rara patología congénita de aorta y vasos supraaórticos. *ScienceDirect*.
- [27] Ramírez Collado, V., Puchades Valencia, J., Martín Rodríguez, J., & Muñoz Montes, J. (27 de Febrero de 2018). *Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/112873>
- [28] Stratasys. (2018). *Manufacturing the Future Globalization with 3D Printing*. USA: Manufacturing.

ACERCA DE LOS AUTORES

SMC™ José Eduardo Rojas Gómez

Asesor y consultor de proyectos de inversión pública y privada, con más de 15 años de experiencia en la formulación y evaluación de proyectos públicos y privados. Exconsultor del Banco de Proyectos de la región Arequipa. Economista por la Universidad Católica Santa María. Magíster en Ingeniería Industrial con mención en Gestión de la Producción en la Universidad Nacional de San Agustín. Scrum Master Certified, Certified ID 713453. Conferencista en Congresos Internacionales y Nacionales en Proyectos de Inversión. Miembro del Project Management Institute (PMI)®, Member ID: 3100459. Actualmente, se desempeña como Encargado de la Jefatura de Estudios Generales de Tecsup.

@ jrojas@tecsup.edu.pe

Carolina Guerra Ortiz

Ingeniera Industrial con MBA en la Universidad Rey Juan Carlos en España, magíster en Supply Chain de la Universidad de Barcelona en España. Actualmente, cursa un doctorado en Gestión Estratégica en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Con más de 7 años de experiencia en *supply*, compras, planificación, gestión y administración en empresas del sector minero y consumo masivo. Ha aplicado herramientas de gestión y optimización, orientado hacia la productividad y optimización de KPI's. Posee experiencia en docencia de educación superior por más de 6 años aplicando TIC y plataformas virtuales.

 carolinaguerrao@gmail.com

McDonald Villacorta Choque

Egresado de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Jesuita Antonio Ruiz de Montoya, técnico de Mantenimiento de Equipo Pesado del Instituto Superior Tecsup, con más 5 años de experiencia en gestión de equipo pesado en gran minería *open pit*. Desarrolló la

iniciativa a nivel nacional, democratizando la ciencia, en la RED FESTILAB. Ha sido ganador del Reto Bio del Ministerio de Producción Perú, del Fondo semilla no reembolsable en soles con proyecto OXCEM, Panel Talk With Post Carbon Labs - Boston, USA "Global Community Bio Summit 3.0" Massachusetts Institute of Technology 2019. Es finalista en Entrepreneurship World Cup que se realizará en Arabia Saudita 2020, Actualmente, se desempeña como docente en el área de gestión en Tecsup.

 mwillacorta@tecsup.edu.pe

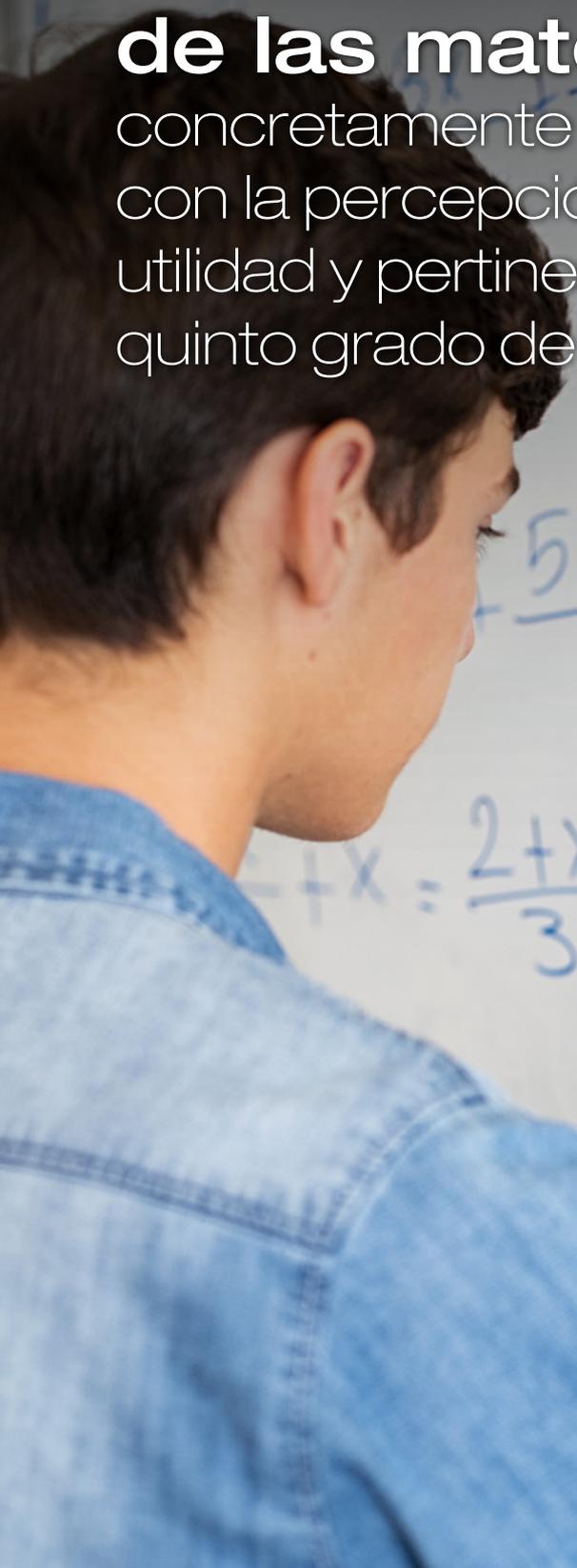
Recibido: 19-08-20
Revisado: 28-08-20
Aceptado: 08-09-20



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

Se determina los factores que interfieren y condicionan los procesos de enseñanza y aprendizaje de las matemáticas,

concretamente aquellos relacionados con la percepción de la importancia, utilidad y pertinencia, en alumnos de quinto grado de secundaria.



$$\frac{5(2x+1)}{6} = \frac{1}{6} - x + \frac{37}{12}$$
$$+x = \frac{2+x}{3} + \frac{x-1}{6}$$
$$\left(R \frac{1}{10} \right)$$

Actitudes y prejuicios sobre la matemática: buscando respuestas desde la mirada de los estudiantes

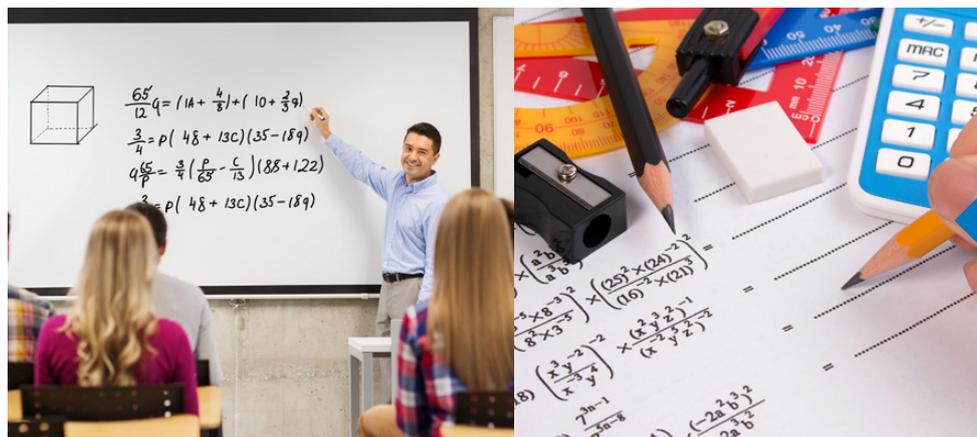
Attitudes and Prejudices about Mathematics: Looking for Answers from the Students' Eyes

RESUMEN

El objetivo de este estudio se materializa en la resolución de la siguiente interrogante: ¿cuáles son los factores que potencian o inhiben los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática? La investigación se categoriza como cuantitativa y se alinea bajo las directrices del análisis multivariante. La población del estudio estuvo conformada por alumnos del quinto grado de secundaria de colegios emblemáticos de Arequipa, determinándose una muestra representativa de 320 estudiantes. Tras obtener el consentimiento informado, se desarrollaron acciones en orden a recolectar información, donde la aplicación de un cuestionario anónimo tipo Likert fue la base del levantamiento de datos, los indicadores se relacionaban con las creencias y los prejuicios sobre el aprendizaje de la matemática, el factor profesor, el factor alumno, el factor contenidos y la percepción sobre la matemática. La confiabilidad del instrumento se midió con el coeficiente Alpha de Cronbach, obteniéndose un valor de 0,932. El análisis de los datos incluyó la utilización de la técnica de «análisis de factores» y su versión varimax, se demostró que tuvimos un 72,645 % de variabilidad del conjunto de datos, explicado por el instrumento de investigación adoptado. Del análisis, emergieron cuatro factores a los cuales se les denominó: 1) perfil docente, 2) predisposición del alumno, 3) sobrevaloración de la matemática y, 4) desconocimiento de la aplicabilidad de la matemática. Se tiene la creencia, políticamente correcta y genérica, del mensaje «la matemática es difícil»; sin embargo, los estudiantes necesitan saber cómo la matemática forma parte de su vida diaria y cómo esta debería ser un instrumento a su servicio y no una exigencia netamente curricular. En función a los hallazgos, se puede concluir que, en nuestra población, los factores que inhiben el aprendizaje de la matemática se relacionan principalmente con la sobrevaloración de la matemática y el desconocimiento de la aplicabilidad de esta.

ABSTRACT

The objective of this study is concretized in solving the following question: what are the factors that enhance or inhibit the processes of teaching and learning mathematics? The research is categorized as quantitative and is aligned under the guidelines of multivariate analysis. The study population was conformed of fifth grade students from emblematic schools of Arequipa, determining a representative sample of 320 students. After obtaining informed consent, actions were developed in order to collect information, where the application of an anonymous Likert-type questionnaire was the basis of the data collection; the indicators were related to beliefs and prejudices about learning mathematics, the teacher factors, the student factors, the content factors and perception of mathematics. The reliability of the instrument was measured with Cronbach's Alpha coefficient, obtaining a value of 0.932. The data analysis included the use of the "Factors Analysis" technique and its varimax version, it was shown that we obtained a 72.645 % variability of the data set, explained by the adopted research instrument. From the analysis, four factors emerged, which were named: 1) teacher profile, 2) student predispositions, 3) overvaluation of mathematics and, 4) ignorance of the applicability of mathematics. There is a belief, politically correct and generic of the message "mathematics is difficult"; however, students need to know how mathematics is part of their daily life and how mathematics should be an instrument at their service and not a purely curricular requirement. Based on the findings, it can be concluded that, in our population, the factors that inhibit the learning of mathematics are mainly related to the overvaluation of mathematics and the lack of knowledge of its applicability.



Palabras Claves

Matemática, alfabetización matemática, actitud matemática, prejuicios sobre la matemática, dificultades de aprendizaje.

Key words

Math, math literacy, mathematical attitude, prejudices about mathematics, learning difficulties.

INTRODUCCIÓN

Mundialmente, se ha reportado una disminución en el interés por las ciencias y, en particular, por la matemática por parte de los estudiantes, al menos por las ciencias enseñadas en las instituciones de educación básica [28]. El Perú no es ajeno a esta realidad, el nivel de aprendizaje de la matemática en estudiantes de educación básica constituye un problema constante (aunque para el caso peruano en los últimos años se ha notado un ligero repunte). Los diversos informes de evaluación divulgados en la última década por organismos nacionales, como la Oficina de Medición de la Calidad de los Aprendizaje (OMCA) del Ministerio de Educación (Minedu), o internacionales, como el Laboratorio Latinoamericano de Evaluación de la Calidad de la Educación (Llece) y el Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes (PISA). En el caso de la Evaluación Censal (ECE), administrada en el año 2018 a estudiantes de segundo grado de secundaria, los resultados son alarmantes a nivel nacional; para el caso de la región Arequipa de cada cien (100) estudiantes evaluados, solo veinticinco (25) resuelven correctamente problemas básicos de matemática (en la Evaluación Censal de 2018, Arequipa ocupó el tercer lugar a nivel nacional). La situación se agrava en otras regiones, por ejemplo, en la región Loreto de cada cien (100) alumnos evaluados, solo dos (2) resuelven bien problemas básicos de matemática [23]. Los resultados de la prueba PISA 2018, realizados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), aplicados a estudiantes de cuarto grado de secundaria, son aún peor, en esta última evaluación el Perú ocupó el lugar 64 de 77 países participantes, obteniendo en matemática un promedio de 400 puntos, muy por debajo del promedio de la OCDE y también por debajo del promedio latinoamericano [23].

Por lo tanto, de lo anterior y el estado del arte, podemos concluir que los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática son procesos complejos y necesita de más análisis para lograr una mayor comprensión del fenómeno. Es de vital importancia contar con metodologías que permitan la evaluación sistemática de lo que viene ocurriendo con la enseñanza de la matemática, para que sus resultados sirvan de base tanto para el mejoramiento de dichos procesos, como para la orientación, el diseño o la reformulación de nuevas formas de enseñar la materia. En ese sentido, nuestro problema de investigación queda enmarcado de la siguiente manera: se desconoce los factores que interfieren y condicionan los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática, concretamente a aquellos relacionados con la percepción sobre la importancia, la utilidad y pertinencia sobre ella; en alumnos de quinto grado de secundaria, de la región Arequipa.

En ese sentido, el objetivo principal de esta investigación fue determinar los factores que interfieren y condicionan los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática, concretamente aquellos relacionados con la percepción sobre la importancia, la utilidad y la pertinencia de esta materia, en alumnos de quinto grado de secundaria de la región Arequipa. A través de esta investigación, se buscó responder a las siguientes interrogantes: i) ¿Cuáles son los factores que interfieren en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática, concretamente aquellos relacionados con la percepción sobre la importancia, creencias sobre la matemática, utilidad y pertinencia de la matemática? y ii) ¿Cuáles son los factores que influyen y condicionan el aprendizaje de la matemática, básicamente aquellos que generan rechazo por parte de los alumnos? Adicionalmente, se formulará una propuesta para mejorar los entornos de enseñanza y aprendizaje de la matemática;

así como también brindar a las diferentes entidades oficiales, elementos de juicio necesarios para tomar decisiones en relación con la enseñanza y aprendizaje de la matemática.

Es importante resaltar que, en este estudio, no se formularon hipótesis de investigación debido a que nuestro propósito no fue probar una suposición. Autores como [29], [17], [20] y [15] sostienen que se formulan hipótesis en los estudios que buscan probar el efecto de una variable en relación con otra o el impacto que tienen algunas variables entre sí, fundamentalmente, estas son formuladas en estudios que muestran relaciones de causa-efecto. Para los autores citados, no en todas las investigaciones se plantean hipótesis, investigaciones de tipo descriptivo, por ejemplo, no las requieren; es suficiente formular interrogantes que norteen la investigación.

El objetivo general de esta investigación es promover una reflexión sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática en el nivel secundario, intentando mostrar algunos factores que interfieren e influyen en dichos procesos. En el estudio se considera un amplio conjunto de potenciales determinantes que influyen en la percepción de los alumnos en relación con dichos factores.

La investigación, por un lado, abre la posibilidad de responder a una necesidad existente en la comunidad educativa, a fin de exponer datos empíricos sólidos, que permitan explicar algunos factores importantes que puedan influenciar en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática y, por otro lado, desde el punto de vista del estado del arte, permitirá ampliar la literatura al respecto. Si bien en el contexto internacional existe abundante material sobre las dificultades del aprendizaje de la matemática en la educación básica, las investigaciones y los reportes sobre el tema en el panorama nacional son escasos. Adicionalmente, desde el punto de vista metodológico, consideramos que, si se quiere tener elementos sólidos y empíricos para analizar el problema de la enseñanza y aprendizaje de la matemática, es necesario tener una imagen real de lo que representa para los estudiantes.

FUNDAMENTOS

La matemática, como área de enseñanza y aprendizaje, ha sido en el pasado y aún en el presente una de las disciplinas que presenta más dificultades para un porcentaje muy significativo de estudiantes, a lo largo del tiempo se han ido creando diversos mitos en relación con ella. Existe la equivocada creencia que las personas no logran aprenderla, debido a su complejidad, y que solo está destinada para los inteligentes e iluminados [22], [30]. Las dificultades que entrañan su enseñanza y aprendizaje, y los malos resultados en los diferentes niveles educativos, la han convertido en una disciplina árida y selectiva, eso genera, para los alumnos, miedo, dolor y tortura y, consecuentemente, un terrible proceso de exclusión [30]. Por ejemplo, [5] y [9] destacan algunos rasgos característicos sobre la visión que algunos alumnos tienen de la matemática: abstracta, fija, inmutable, desconectada de la realidad, colección de reglas, fórmulas, técnicas, artificios y cosas que hay que recordar, materia en que los puntos de vista y las opiniones de los estudiantes no tienen ningún valor, materia llena de «x» y de «y», y demostraciones incomprensibles.

Diversos investigadores han desarrollado estudios en el área de la matemática, por ejemplo, la interesante investigación de

Cockcroft (1985) concluyó que existe una relación entre el gusto por el estudio y aprendizaje de la matemática y la capacidad para ella, a juzgar por los hallazgos finales. Algunos estudiantes perciben a la matemática como «una materia que le imponen en su personalidad»; en muy pocos casos se sirven de ella y, en muchos otros, se sienten oprimidos y tratan de liberarse de ella. En la mayoría de situaciones, les provoca sentimientos de inferioridad, miedo a quedar en ridículo o la sensación de ser catalogados como «malos en matemática» en relación con sus compañeros «buenos en matemática» [5], [27] y [30].

En esa misma línea, Aranda, Pérez y Sánchez (1990), Danyluk (1991), Macnab & Cummine (1992) sostienen que, uno de los principales problemas que, en general, se presentan en la enseñanza y el aprendizaje de la matemática en todos los niveles educativos es el relativo al manejo del lenguaje y la notación matemática. Es su propia cualidad del lenguaje la que proporciona una de las mayores dificultades debido básicamente a su grado de abstracción, la utilización de símbolos para representarla, sus características sintácticas de notación, signos de operación, utilización de paréntesis, sentido y uso de las letras, suponen un fuerte nivel de abstracción.

Más aún, otras investigaciones se focalizan en el docente, para McFarlane y Sakellariou (2002), así como Murphy (2002) el gran problema de la enseñanza de la matemática a nivel mundial es la gran cantidad de profesores que no tienen una formación adecuada en matemática; consecuentemente, esa falta de preparación se traduce en una baja o nula confianza para enseñar la asignatura de matemática; otro punto que destacan los autores es que los profesores carecen de metodologías específicas para enseñar la materia.

En síntesis, como área del conocimiento, la matemática está presente en todas las épocas y culturas como una necesidad para cuantificar la realidad, lo cuantitativo, aunque fruto de un consenso artificial, forma parte de la vida cotidiana. Sin embargo, el acceso al aprendizaje de la matemática pasa por repetir de forma más o menos mecánica los resultados que obtuvieron otros, en situaciones problemáticas que poco o nada tienen que ver con la vida cotidiana de los estudiantes [25], [22].

Con base en la discusión anterior, surgen entonces nuevas preguntas de investigación que rescatan interrogantes como: ¿Cómo valoran los estudiantes a la matemática? ¿Cuáles son los factores asociados a las creencias de los estudiantes sobre la matemática? ¿Cuál es el valor que le otorgan los estudiantes a la matemática para su futuro personal, profesional y laboral?

En cuanto a los caminos metodológicos, la investigación se inicia con la formulación de la interrogante que guía el estudio y que propone la identificación de los factores que potencian o inhiben los aprendizajes de la matemática. El encaminamiento metodológico se reveló como una investigación de naturaleza cuantitativa, descriptiva y no experimental [15], [21], que explora un sistema delimitado, investigando a una muestra representativa a lo largo del tiempo, por medio de la recolección de datos en función a un cuestionario anónimo tipo Likert. Las fuentes de información se clasifican en dos tipos: las secundarias que aluden a las que se recolectaron, sistematizaron, procesaron y analizaron previamente al inicio de la investigación, y se encuentran disponibles en

formato impreso o digital; a partir de ellas, se realizó la revisión de la literatura de la investigación. Asimismo, las fuentes primarias, que son aquellas recolectadas directamente por el investigador a través de los instrumentos de investigación. Para realizar el análisis de los datos, se consideró los siguientes momentos: i) análisis especulativo, ii) clasificación y categorización, iii) formación de conceptos y iv) generación de nueva teoría [33].

Finalizando esta discusión, es necesario mencionar que, durante el desarrollo de la investigación, se han podido notar algunas dificultades y limitaciones. La primera dificultad a la que nos enfrentamos fue el acceso a las instituciones, lograrlo fue tedioso y tomó su tiempo. Como sostiene Taylor y Bogdam (1984), para acceder al campo, el investigador debe ser paciente, flexible y tener capacidad de adaptación. Finalmente, se logró acceder progresivamente y se consiguió la información que fue fundamental para el estudio. También es importante destacar que el principal instrumento de levantamiento de la información fue el cuestionario anónimo tipo Likert que incluía cuestiones cerradas que se centraron en el estudiante y reflejaban resultados según su visión, perspectiva y criterio, lo cual no necesariamente puede concordar con lo que realmente piensa el estudiante. No obstante, dadas las reiteradas conversaciones con los alumnos, la promesa de mantener en reserva absoluta el nombre de las instituciones y la identificación de todos los informantes, además de la confidencialidad del tratamiento de los datos; creemos que la información recopilada es muy confiable.

METODOLOGÍA

Enfoque de investigación

Para lograr el objetivo propuesto, se realizó un estudio cuantitativo, cuyo propósito general es explicar, predecir y controlar un fenómeno a través de la recolección focalizada de datos numéricos [32], [21]. Se decidió por este enfoque, porque se pretendía determinar la fuerza de asociación o correlación entre variables y la generalización de los resultados a través de una muestra para hacer inferencia a una población de la cual procede toda la muestra [11].

Muestra

Se asumió los colegios más representativos y emblemáticos de la región Arequipa (5 colegios), y se determinó a través de la fórmula de poblaciones finitas un tamaño muestral de 320 estudiantes que cursaban el quinto grado de secundaria. Con base en ello, se realizó una estratificación de la muestra, distinguiendo 5 grupos de acuerdo con la ubicación de los colegios. Seguidamente, de cada colegio se preseleccionó una cantidad variable de estudiantes, tomando como criterio la distribución proporcional [12]. Es importante aclarar que, según los lineamientos de la técnica del análisis de componentes principales y en función al número de ítems (15) del cuestionario, el número de informantes necesarios para esta investigación es de al menos 75 estudiantes [8], [13]. La estratificación se puede ver en la tabla 1.

Tabla 1
Características de los informantes

Colegios	Número estudiantes	Grado de estudios	Género	
			Hombres	Mujeres
Colegio 1	93	5.º Secundaria	63	30
Colegio 2	69	5.º Secundaria	47	22
Colegio 3	61	5.º Secundaria	38	23
Colegio 4	52	5.º Secundaria	0	52
Colegio 5	45	5.º Secundaria	28	17
Total	320		176	144

Fuente: Elaboración propia.

Técnicas de recolección de datos

El instrumento fundamental para la recolección de la información fue un cuestionario anónimo. La decisión de optar por este instrumento se debe al hecho de asegurar mejor representatividad y posibilitar la generalización para una población más amplia [14]. Para la elaboración de un cuestionario, es necesario definir bien la población de estudio, desarrollar una gran variedad de posibles ítems, para posteriormente evaluarse por un panel de expertos [6]. En este estudio, se optó inicialmente por efectuar una validez de contenido, también denominada aparente [1], donde participaron docentes universitarios con amplia experiencia, los cuales emitieron su opinión a través de una rúbrica. Para las respuestas se decidió utilizar una escala diferencial semántica tipo Likert [24]. Esta escala permite medir la percepción que tienen los estudiantes frente a cada enunciado, el informante marca con una «x» la posición que mejor refleje su postura respecto a un tema de análisis, las valoraciones son sobre una escala de 5 puntos, limitados en términos bipolares. En cada ítem, los polos negativos fueron ubicados a la izquierda de la escala y los polos positivos a la derecha, donde uno (1) correspondía al máximo negativo y cinco (5) al máximo positivo (también se consideró los estándares internacionales de la Asociación Americana de Psicología, APA, Estados Unidos). La validez interna del cuestionario se realizó mediante el coeficiente Alfa de Cronbach. Antes de aplicar el cuestionario a la población de estudio, fue posible aplicar un piloto a 20 estudiantes con el propósito de mejorar el instrumento.

Análisis de los datos

Para el análisis de la información recopilada a través del cuestionario, optamos por utilizar una técnica multivariante, más específicamente el análisis de componentes principales (ACP). Está es una técnica de reducción de la dimensión de variables (número de variables). Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible [2], [3]. Contribuyendo con esa posición, [8] sostiene que el principal objetivo de esta técnica es reducir el número de variables para agruparlas, iden-

tificando las relaciones entre las diferentes cuestiones presentes en el instrumento de investigación. Para realizar este análisis, se utilizó el *software* estadístico IBM SPSS Statical versión 20. Este *software*, inicialmente, genera agrupamientos jerárquicos, estandarizados y distribuidos, para luego mediante las operaciones necesarias obtener los componentes principales [8]. Como estrategia de verificación de la consistencia interna del cuestionario, se usó el coeficiente Alfa de Cronbach.

Consideraciones éticas

Según la literatura especializada en relación con las cuestiones éticas, las acciones descritas en esta investigación son seguras y no tienen ninguna consecuencia dañina para los estudiantes. Sin embargo, se tuvo presente lo siguiente: solicitar los permisos respectivos, informar sobre los objetivos del estudio, explicar las condiciones generales de la investigación e invitar a participar libremente de la investigación [10], [16]. Más aún, la información recogida tuvo carácter confidencial y se utilizó solo para efectos de esta investigación.

RESULTADOS

El análisis de resultados se inició con el cuestionario anónimo tipo Likert aplicado a los alumnos de la muestra representativa y que cursaban el quinto grado de secundaria. Para ello, a cada punto de la escala (desde muy en desacuerdo hasta muy de acuerdo) se le asignó un valor numérico (entre 1 y 5). Inicialmente, se aplicó una estadística descriptiva, estableciéndose: 1) frecuencias absolutas, 2) frecuencias relativas, 3) medidas de tendencia central y 4) medidas de dispersión. Esto nos permitió tener mayor conocimiento sobre la opinión de los estudiantes en las distintas cuestiones consultadas. Metodológicamente, se construyó una matriz de datos apoyados por el programa Excel 2010, posteriormente, estos datos fueron vaciados al programa SPSS 17 para Windows. Los estadísticos antes mencionados se pueden ver en la tabla 2.

Tabla 2
Medidas de tendencia central y dispersión

Indicadores/variables	Encuestados		
	n.º	Media ¹	Desv. Típ.
1. Estoy convencido(a) de que podría trabajar con matemática superior y avanzada.	320	2,89	0,920
2. Mis profesores piensan que no soy bueno(a) para la matemática.	320	2,74	0,928
3. La Matemática es el curso en el que peor me ha ido siempre.	320	2,64	1,020
4. Mis profesores de Matemática me ignoran cuando trato de preguntar sobre lo que no entiendo.	320	1,65	0,903
5. Pienso que la matemática no será importante cuando culmine el colegio.	320	2,62	0,874
6. Conocer sobre matemática me servirá para interpretar y manejar información de la vida real.	320	2,54	0,937
7. Los profesores de Matemática me han incentivado para avanzar en el estudio de la matemática.	320	2,76	0,933
8. La matemática es solo para algunos privilegiados, es difícil que todos(as) puedan entender matemática.	320	2,66	0,934
9. Aprender matemática no me dará mayores oportunidades de estudio ni de trabajo.	320	2,23	0,790
10. Me es muy difícil aprender matemática, por lo que elegiré una profesión de letras.	320	2,65	0,880
11. La matemática es demasiado difícil para mí.	320	2,64	0,916
12. La matemática no será importante profesionalmente para mí.	320	2,54	0,941
13. No soy bueno(a) para la matemática.	320	2,64	0,847
14. La matemática es una disciplina valiosa y muy necesaria para la vida.	320	2,71	0,927
15. Mis profesores se han interesado en mi progreso en la matemática.	320	2,73	0,932

/1 Promedio de las apreciaciones de los estudiantes de la escala diferencial semántica tipo Likert, cuyas valoraciones fluctuaban entre los polos 1 y 5.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de componentes principales

Dancey y Reidy (2006), al describir esta técnica estadística multivariada, sostiene que su principal objetivo es reducir el número de variables para agruparlas, identificando las relaciones entre las diferentes cuestiones presentes en el instrumento de investigación. Para realizar este agrupamiento, utilizamos el *software* estadístico IBM SPSS Statical versión 17. Este *software*, inicialmente, genera agrupamientos jerárquicos, estandarizados y distribuidos, para luego mediante las operaciones necesarias obtener los componentes principales [3], [8]. No obstante, para aplicar esta técnica, deben cumplirse ciertas condiciones que a continuación detallamos.

KMO y Prueba de Bartlett

Si la suma de los coeficientes de correlación parcial al cuadrado es muy pequeña, KMO será un índice muy próximo a la unidad y, por tanto, el análisis de componentes principales es un procedimiento adecuado. En cambio, valores muy pequeños en este índice nos dan a entender todo lo contrario [3]. Por otra parte, es necesario que la prueba de Esfericidad de Bartlett muestre $p < 0,05$; el test de Kaiser Meyer Olkin (KMO), debe mostrar valores de $KMO > 0,500$, valores por encima de 0,500 ya son aceptables [34], [13]. El valor obtenido de $KMO = 0,927$; el determinante es casi cero y la prueba de Bartlett tiene una $p = 0,000 < 0,05$, que nos permite rechazar la hipótesis de matriz identidad. En consecuencia, se cumplen satisfactoriamente los requisitos para poder utilizar el análisis de componentes principales. Un resumen de los resultados se muestra en la tabla 3.

Tabla 3
Testes KMO y Bartlett

Testes	Resultados
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.	0,927
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square.
	Df.
	Sig.
	1167,105
	185
	0,000

Fuente: Elaboración propia.

La confiabilidad del cuestionario, es decir, la consistencia interna del instrumento fue estimada mediante el coeficiente de Alfa de Cronbach. El resultado se muestra en la tabla 4.

Tabla 4
Coeficiente de Alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach	Número de Ítems
0,932	15

Fuente: Elaboración propia.

El resultado obtenido (0,932) indica un nivel de confiabilidad muy bueno. Cabe resaltar que coeficientes mayores o iguales a 0,7 ya

son aceptables y, cuanto más se aproximen a 1, significa que el instrumento es capaz de detectar muy bien las diferencias entre los sujetos informantes [8], [3].

Análisis de comunalidades

Después de comprobar que era posible utilizar la técnica del análisis de componentes principales, se realizó un análisis de comunalidades, donde según [8], [3], los valores a obtener deben ser al menos por encima de 0,5; como se puede apreciar en la tabla 5, los valores obtenidos son mayores a 0,5; lo que nos muestra la posibilidad de explicar cada variable satisfactoriamente.

Tabla 5
Análisis de comunalidades

VARIABLES	Inicial	Extracción
1. Estoy convencido de que podría trabajar con matemática superior y avanzada.	1	0,533
2. Mis profesores piensan que no soy bueno para la matemática.	1	0,718
3. La Matemática es el curso en el peor me ha ido siempre.	1	0,588
4. Mis profesores de Matemática me ignoran cuando trato de preguntar sobre lo que no entiendo.	1	0,590
5. Pienso que la matemática no será importante cuando culmine el colegio.	1	0,648
6. Conocer sobre matemática me servirá para interpretar y manejar información de la vida real.	1	0,704
7. Los profesores de matemática me han incentivado para avanzar en el estudio de la matemática.	1	0,671
8. La matemática es solo para algunos privilegiados, es difícil que todos puedan entender matemática.	1	0,682
9. Aprender matemática no me dará mayores oportunidades de estudio ni de trabajo.	1	0,634
10. Me es muy difícil aprender matemática, por lo que elegiré una profesión de letras.	1	0,692
11. La matemática es demasiado difícil para mí.	1	0,815
12. La matemática no será importante profesionalmente para mí.	1	0,612
13. No soy bueno(a) para la matemática.	1	0,697
14. La matemática es una disciplina valiosa y muy necesaria para la vida.	1	0,798
15. Mis profesores se han interesado en mi progreso en la matemática.	1	0,869

Fuente: Elaboración propia.

Varianza total explicada

Realizando un análisis de componentes principales, se obtiene que, extrayendo cuatro componentes, se explica el 72,645 % de la varianza total del sistema (tabla 7). En ese sentido, se demostró

que se tuvo un 72,645 % de variabilidad del conjunto de datos explicados con el instrumento adoptado. Es decir, fueron retenidos cuatro (4) componentes principales a los que se les atribuyó los siguientes nombres. Los componentes emergentes se pueden ver en la tabla 6.

Tabla 6
Componentes emergentes

Componentes	Componentes emergentes
Componente 1	Perfil docente
Componente 2	Predisposición del alumno
Componente 3	Sobrevaloración de la matemática
Componente 4	Desconocimiento de la aplicabilidad de la matemática

Fuente: Elaboración propia.

Relación componente rotacionada

Las variables se refieren a las cuestiones elaboradas, las componentes fueron agrupadas en función a las cargas obtenidas,

o sea, la variable (cuestión) 15 hará parte de la componente 1, pues posee mayor carga (0,812). Después de realizar el análisis, los resultados se muestran en la tabla 7.

Tabla 7
Matriz componente rotacionada

Matriz componente rotacionada				
Variables	Componentes			
	Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
Variable 15	0,812	0,101	0,163	0,210
Variable 2	0,797	0,282	0,187	0,009
Variable 7	0,701	0,172	0,271	0,229
Variable 4	0,644	0,412	0,286	0,260
Variable 10	0,413	0,787	0,253	0,392
Variable 1	0,162	0,719	0,351	0,253
Variable 13	0,183	0,681	0,021	0,051
Variable 5	0,196	0,513	0,418	0,037
Variable 11	0,101	0,062	0,861	0,185
Variable 8	0,309	0,103	0,793	0,179
Variable 3	0,007	0,132	0,507	-0,031
Variable 14	0,317	-0,082	0,208	0,875
Variable 6	0,619	0,204	0,107	0,619
Variable 12	0,471	0,134	-0,052	0,593
Variable 9	0,108	0,418	0,019	0,567

Fuente: Elaboración propia.

Seguidamente, y después de completar el análisis, puede verificarse que las componentes quedan establecidas de la siguiente manera: componente 1: variable 15, variable 2, variable 7 y variable 4; componente 2: variable 10, variable 1, variable 13 y variable 5; componente 3: variable 11, variable 8 y variable 3; componente 4: variable 14, variable 6, variable 12 y variable 9.

Componente 1: perfil docente

La primera componente emergente se refiere al perfil docente, Danyluk (1991) sostiene que los docentes deben tener una verdadera vocación, que implica una pasión por la enseñanza, paciencia al transmitir los conocimientos, compartiendo su gusto y agrado por la enseñanza y presentar los contenidos con claridad de manera que el alumno haga suyo el conocimiento y forme parte de su experiencia.

Tabla 8
Componente 1: perfil docente

Variables	n.º	Carga	Frecuencia porcentual ^{1/}				
			FA	DA	NS	ED	FD
Variable 15	320	0,812	1,9	7,8	17,5	66,9	5,9
Variable 2	320	0,797	24,4	44,4	14,7	10,6	5,9
Variable 7	320	0,701	8,1	9,1	16,9	62,8	3,1
Variable 4	320	0,644	10,6	60,3	20,6	4,7	3,8

^{1/} FA: fuertemente de acuerdo; DA: de acuerdo; NS: no estoy seguro; ED: en desacuerdo; FD: fuertemente en desacuerdo.
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis de nuestros datos, en la cuestión que se refiere a la variable «Mis profesores se han interesado en mi progreso en la matemática», la mayoría de los estudiantes, es decir, el 66,9 % indican que se encuentran en desacuerdo, probablemente, los docentes no estén logrando que la matemática

sea parte de la experiencia del estudiante. En referencia a la cuestión «Mis profesores piensan que no soy bueno(a) para la matemática», entre los alumnos que declaran estar fuertemente de acuerdo y de acuerdo suman un total de 68,8 %, lo cual reflejaría una probable exclusión de alumnos por parte de los docentes de

Matemática. En relación con la variable «Los profesores de Matemática me han incentivado para avanzar en el estudio de la matemática», se obtuvo un 62,8 % de alumnos que indican estar en desacuerdo, lo que hace suponer que los docentes no estarían motivando a sus alumnos; para la cuestión, «Mis profesores de Matemática me ignoran cuando trato de preguntar sobre lo que no entiendo», entre los que respondieron que están *fuertemente de acuerdo* y *de acuerdo* hacen un total de 70,9 %, probablemente, y como se discutió en el referencial teórico, los profesores

no estén utilizando metodologías adecuadas para la enseñanza de la matemática.

Componente 2: predisposición del alumno

La segunda componente está relacionada con el estudiante, básicamente, con la predisposición que tiene para estudiar y aprender matemática.

Tabla 9
Componente 2: predisposición del alumno

Variables	n.º	Carga	Frecuencia porcentual ^{2/}				
			FA	DA	NS	ED	FD
Variable 10	320	0,787	28,1	48,2	10	7,8	5,9
Variable 1	320	0,719	4,1	9,1	24,6	40	22,2
Variable 13	320	0,681	21,3	57,2	11,8	5,3	4,4
Variable 5	320	0,513	12,2	33,4	23,7	19,4	11,3

^{2/} FA: fuertemente de acuerdo; DA: de acuerdo; NS: no estoy seguro; ED: en desacuerdo; FD: fuertemente en desacuerdo.
Fuente: Elaboración propia.

Para esta componente se ha encontrado muy poca literatura, no obstante, autores como Morris (1976) sostienen que muchos hombres que han sido considerados como los científicos más importantes del pasado hicieron básicamente un trabajo práctico y real. Estos hombres no vacilaban en buscar aplicaciones prácticas para los conocimientos matemáticos que ellos y otros habían acumulado a lo largo de la historia. Isaac Newton estudió el movimiento de la luna para ayudar a los marineros y determinar la posición en el mar. Descartes diseñó lentes para mejorar el telescopio y el microscopio. Gauss trabajó para mejorar el trabajo del telégrafo eléctrico y la medida del magnetismo. A continuación, detallamos las actitudes de los estudiantes; en la cuestión «Me es muy difícil aprender matemática, por lo que elegiré una profesión de letras», las respuestas que resaltan son las de *fuertemente de acuerdo* y *de acuerdo*, ambas hacen un 76,3 %, lo que indicaría que los alumnos antes de terminar sus estudios secundarios ya tendrían decidido no optar por estudios relacionados con la matemática. En cuanto a la variable «Estoy convencido(a) de que podría trabajar con matemática superior y avanzada», entre los estudiantes que indican que están *fuertemente de acuerdo* y *de acuerdo* hacen un 13,2 %, lo que indica que en su mayoría los estudiantes al egresar de la secundaria salen con la predisposición de alejarse de la matemática. Por su parte, en lo que respecta a la cuestión «No soy bueno(a) para la matemática», la estadística indica que existe un 78,5 % que *a priori* asume que «no es bueno para la matemática», posiblemente, nuevamente los docentes se encuentren aplicando metodologías inapropiadas para la enseñanza de la matemática; finalmente, para esta componente, en relación con la cuestión «Pienso que la matemática, no

será importante cuando culmine el colegio», también destacan las respuestas que indican estar *fuertemente de acuerdo* y *de acuerdo*, ambas suman un 45,6 %, es necesario hacer notar que en esta cuestión se obtuvo un 23,7 % que no estaba seguro de su respuesta.

Componente 3: sobrevaloración de la matemática

La tercera componente está relacionada con la sobrevaloración de la matemática, para este factor no se ha podido encontrar mucha literatura. Sin embargo, es posible que esta sea consecuencia de la sobrecarga que se le asigna al estudiante, para Aranda, Pérez y Sánchez (1990), así como Danyluk (1991), en lugar de saturar a nuestros estudiantes con axiomas, teoremas, lemas, definiciones y fórmulas debemos hacer énfasis en la comprensión de los entes matemáticos siempre asociándolos al contexto y la realidad donde se desenvuelven los estudiantes.

En referencia a la variable «La matemática es demasiado difícil para mí», los estudiantes que responden estar *fuertemente de acuerdo* y *de acuerdo* hacen un 62,8 %, nuevamente los alumnos se autodefinen como «malos para la matemática». Como se vio en el referencial teórico, la enseñanza de la matemática pasa siempre por enseñar cosas que nada tienen que ver con el contexto y la realidad del alumno, probablemente, esta situación influya en la decisión de los estudiantes de conceptualizar a la matemática como muy difícil para ellos.

Tabla 10
Componente 3: sobrevaloración de la matemática

Variables	n.º	Carga	Frecuencia Porcentual ^{3/}				
			FA	DA	NS	ED	FD
Variable 11	320	0,861	24,4	38,4	20	9,7	7,5
Variable 8	320	0,793	8,7	59,1	13,1	10	9,1
Variable 3	320	0,507	28,5	50,9	11,9	5,3	3,4

^{3/} FA: fuertemente de acuerdo; DA: de acuerdo; NS: no estoy seguro; ED: en desacuerdo; FD: fuertemente en desacuerdo.
Fuente: Elaboración propia.

En relación con la cuestión «La matemática es solo para algunos privilegiados(as), es difícil que todos puedan entender matemática»; para esta variable, entre los estudiantes que señalan que están *fuertemente de acuerdo* y *de acuerdo* hacen un 67,8 %; posiblemente, esto indicaría que los estudiantes se autoexcluyen del proceso de aprendizaje de la matemática; finalmente para esta componente, en relación a la cuestión «la matemática es el curso en el que peor me ha ido siempre», se da un alto porcentaje entre los estudiantes que indican estar fuertemente de acuerdo y los que indican que están de acuerdo, ambas respuestas representan un 79,4 %, paradójicamente, este dato coincide con los resultados de algunas pruebas nacionales y pruebas internacionales, en donde se aprecia que del total de alumnos evaluados, son muy pocos los estudiantes capaces de resolver problemas básicos de matemática.

Componente 4: desconocimiento de la aplicabilidad de la matemática

Finalmente, en lo que respecta a la componente 4: desconocimiento de la aplicabilidad de la matemática, como se discutió en el referencial teórico y como lo dice Morris (1976), la matemática no tiene por qué estar desconectada de la realidad, los docentes deben inculcar la utilidad y la aplicabilidad de la matemática. En función a las respuestas de los estudiantes, probablemente, estos desconozcan cómo la matemática les puede ser útil no solo para acciones elementales, sino para su desarrollo laboral futuro. Morris (1976) sostenía que muchos de los hombres que tuvieron éxito en la ciencia no vacilaron en utilizar y aplicar los conocimientos matemáticos.

Tabla 11
Componente 4: desconocimiento de la aplicabilidad de la matemática

Variables	n.º	Carga	Frecuencia absoluta ^{4/}				
			FA	DA	NS	ED	FD
Variable 14	320	0,875	7,7	29,4	24,4	26,3	12,2
Variable 6	320	0,619	9,1	12,5	27,2	35,9	15,3
Variable 12	320	0,593	20,6	53,1	23,1	1,9	1,3
Variable 9	320	0,567	27,5	28,8	16,9	15,9	10,9

^{4/} FA: fuertemente de acuerdo; DA: de acuerdo; NS: no estoy seguro; ED: en desacuerdo; FD: fuertemente en desacuerdo.
Fuente: elaboración propia.

En relación con la cuestión «La matemática es una disciplina valiosa y muy necesaria para la vida», no se puede notar grandes diferencias, posiblemente el enunciado haya sido un tanto confuso. En relación con la variable «Conocer sobre matemática me servirá para interpretar y manejar información de la vida real», se puede notar que entre los estudiantes que se encuentran en desacuerdo y fuertemente en desacuerdo hacen un 51,2 %; como señala Middleton y Spanias (1999), el alumno no es consciente que la matemática le proporciona un poderoso medio de comunicación y de ayuda para explorar, crear y acomodarse en sus futuras condiciones de vida. En referencia a la variable «La matemática no será importante profesionalmente para mí», puede observarse que en su gran mayoría, es decir, un 73,7 % indican que están *fuertemente de acuerdo* y *de acuerdo*, pareciera que a muy corta edad los estudiantes ya habrían definido que la matemática no será importante en su vida profesional; finalmente, en cuanto a la variable «Aprender matemática no me dará mayores oportunidades de estudio ni de trabajo», puede observarse que la suma de los estudiantes que indican estar *fuertemente de acuerdo* y *de acuerdo* suman un 56,3 %.

forma, el estudiante pronto descubrirá que estudiar matemática de esa forma es inútil y rechazará la materia, es probable que durante los cinco (5) años de educación secundaria se le haya enseñado esta materia totalmente desligada de la realidad. Es necesario, entonces, inculcarles el gusto por la matemática y concientizarlos del papel que juega la matemática en su vida.

Además, se puede afirmar que los factores que condicionan la percepción sobre la importancia de la matemática son el perfil docente, la predisposición del estudiante y la sobrevaloración de la matemática; por su parte, los que condicionan en mayor medida la importancia de la matemática son la predisposición de la matemática y el desconocimiento de su aplicabilidad, los cuales han sido poco documentados. Los estudiantes que tengan la idea que la matemática no será útil en sus vidas, lógicamente, tendrán una predisposición negativa hacia el aprendizaje de esta. Este problema, no es solo de la educación secundaria, el problema se viene arrastrando desde los años iniciales de educación; los profesores(as) de educación primaria con escasa formación matemática, posiblemente, no generarán el gusto por la matemática en sus alumnos.

Finalmente, las voces que surgen de este estudio requieren que las instituciones educativas reexaminen sus prácticas pedagógicas en relación con la enseñanza de la matemática, tanto dentro como fuera de la institución.

Agradecimientos

A la Universidade Federal de Uberlândia (UFU), de Brasil; a la Universidade Federal de Rio Grande (FURG), de Brasil; al Instituto Superior Tecnológico TECSUP SUR, Arequipa.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que el factor que está íntimamente relacionado a la percepción del estudiante sobre la utilidad de la matemática es el «desconocimiento de la aplicabilidad de la matemática»; los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática se dan de forma rígida, estableciendo ciertos lineamientos, es decir, estos están encasillados sistemáticamente tanto por los profesores como por los textos escolares. De esa

REFERENCIAS

- [1] Alarcón, A., y Muñoz, S. (2008). *Mediciones en Salud: Algunas Consideraciones Metodológicas*. *Revista Médica de Chile*. Recuperado de <http://www.ejel.org/volume-2/vol2-issue2/v2-i2-art1-adams.pdf>
- [2] Almeida, T. L., Pinto, S. S., y Piccoli, H. C. (2007). Auto-Avaliação na Fundação Universidade Federal do Rio Grande. *Metodologia de Avaliação, Campinas: Sorocaba*, 12(3), 515-530.
- [3] Arancibia, S. (2010). *Estadística aplicada y econometría. Magíster en gestión y políticas públicas*. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- [4] Aranda, M.; Pérez, I.; Sánchez, B. (1990). Bases psicopedagógicas de la Educación Especial. Dificultades en el aprendizaje matemático. Recuperado de <http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Dificultades%20en%20el%20aprendizaje%20matem%C3%A1tico.pdf> .
- [5] Buxton, L. (1981). *Do you panic about maths? Coping with maths anxiety*. Londres: Heinemann Educationbal Books.
- [6] Carretero, H., y Pérez, C. (2015). Normas para el desarrollo y revisión de estudios instrumentales. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 5(3), 521-551.
- [7] Cockcroft, W. (1985). *Las matemáticas sí cuentan (Informe Cockcroft)*. Madrid: MEC.
- [8] Dancey, C.; Reidy, J. (2006). *Estatística sem matemática para psicologia*. Porto Alegre: Artmed.
- [9] Danyluk, O. (1991). *Alfabetização Matemática: O Cotidiano da Vida Escolar*. EDUCS: Caxias do Sul.
- [10] Di Conza, J., y Quiroga, C. (2013). Las responsabilidades éticas en la publicación de artículos científicos. *Revista Argentina de Microbiología*. 45(4), 219-221.
- [11] Fernández, P., y Pértegas, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. La Coruña. España. *Cad. Aten Primaria*, 9, 76-78.
- [12] Fernández, A. (2008). *Investigación y técnicas de mercado*. Madrid: Editorial ESIC.
- [13] Friel, C. (2009). *Notes on Factor Analysis. Criminal Justice Centre*. San Houston State University.
- [14] Günther, H. (2003). *Como elaborar um questionário Série: Planejamento de Pesquisa nas Ciências Sociais, N.º 1*. Brasília, D.F.: UnB Laboratório de Psicologia Ambiental. Recuperado de <https://www.ic.unicamp.br/~wainer/cursos/2s2006/epistemico/01Questionario.pdf>
- [15] Hernández, R.; Fernández, C., y Baptista, P. (2003). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill Interamericana. México. D.F. Tercera Edición.
- [16] Koepsell, D., y Ruiz, M. (2015). *Ética de la investigación. Integridad científica*. México D. F.: Consejo Nacional de Bioética/Secretaría de la Salud.
- [17] Kerlinger, F. (1981). *Investigación del comportamiento. Técnicas y metodología*. México: Nueva Editorial Interamericana.
- [18] Macnab, D., y Cummine, J. (1992). *La enseñanza de las Matemáticas de 11 a 16. Un Enfoque Centrado en la Dificultad. Serie Aprendizaje*. Madrid: Visor Distribuciones.
- [19] McFarlane, A.; Sakellariou, S. (2002). The role of ICT in Science Education Cambridge. *Journal of Education*, 32(2), 219-231.
- [20] McGuigan, F. (1998). *Psicología Experimental. Enfoque Metodológico*. México D. F.: Editorial Trillas.
- [21] Mejía, E. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- [22] Middleton, J., y Spanias, (1999). Motivation for achievement in mathematics: findings, generalizations, and criticisms of the research. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30(1), 65-88.
- [23] Minedu. (2018). *El Perú en PISA 2018. Informe Nacional de Resultados. Oficina de La Medición de La Calidad de los Aprendizajes*. Lima: Autor.
- [24] Miquel, S., Bigné, E., Lévy, J., Cuenca, A. y Miquel, M. (1996). El cuestionario. Escala y Técnicas de Medida. En: *Investigación de Mercados*, p. 87-133. Madrid: McGrawHill.
- [25] Morris, K. (1976). *El fracaso de la matemática moderna, ¿Por qué Jaimito no sabe sumar?* Madrid: Siglo XXI.
- [26] Murphy, C. (2002). *Literature Review in Primary Science and ICT*. Belfas: Queens University. Recuperado de <http://citeseex.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.486.2978&rep=rep1&type=pdf>.
- [27] Nimier, J. (1977). Mathématiques et affectivité Educational Studies in Mathematics. *Revue Française de Pédagogie*, Vol. 8, p. 241-250.
- [28] OCDE (2018). *Literature Review in Science Education and the Role of ICT*. Bristol: Nesta FutureLab.
- [29] Seltiz, C., Jahoda, M., Deutsch, M., y Cook, S. (1965). *Métodos de Investigación en las Relaciones Sociales*. Madrid: Ediciones Rialph.
- [30] Silveira, M. (2000). A interpretação da Matemática na Escola, no Dizer dos Alunos: Ressonâncias do Sentido de Dificuldade. *Liberato*, 1(1), 1-11.
- [31] Taylor, S., y Bogdam, R. (1984). *Introducción a los Métodos Cualitativos de Investigación*. Barcelona: Paidós.
- [32] Vieytes, R. (2004). *Metodología de la investigación en organizaciones, mercado y sociedad. Epistemología y técnicas*. Buenos Aires: Editorial de las Ciencias.

[33] Woods, P. (1987). *La escuela por dentro. La etnografía en la investigación educativa*. Barcelona: Paidós.

[34] Zamora, S., Monroy, L., y Chávez, C. (2009). *Análisis factorial: una técnica para evaluar la dimensionalidad de las pruebas. Cuaderno técnico 6*. México D. F.: Centro Nacional de Evaluación para la Educación Superior.

ACERCA DE LOS AUTORES

Carlos David Laura Quispe

Posdoctorando en educación por la Universidad Federal de Uberlândia (UFU), Brasil; magíster en Informática Educativa por la Universidad de la Frontera (UFRO), de Chile; magíster en Educación por la Universidad Federal de Río Grande (FURG), Brasil; licenciado en Ciencias de la Educación, especialidad Físico Matemático por la Universidad Nacional San Agustín (UNSA). Economista por la Universidad Nacional San Agustín (UNSA). Ha laborado en el Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES), en la Universidad Católica Santa María (UCSM) y en la Universidad Federal de Río Grande (FURG), Brasil. Es parte del comité científico de arbitraje de las revistas, *Góndola enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, de Colombia y de la revista *Ciencia, Docencia y Tecnología* de Argentina.

 cdavidlaura@gmail.com; Carlos.quispe@ufu.br

Luis Alberto Almanza Ope

Licenciado en Literatura y Lingüística por la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), Perú. Dedicado a la docencia básica regular entre 8 y 10 años, y a la Educación Superior. Ha desarrollado los cursos de Comunicación, Redacción y Estilo, Metodología del Estudio, Metodología de la Investigación, Producción y Comprensión de Textos y Técnicas de Expresión Oral y Escrita. En cuanto a la producción intelectual investigativa, ha desarrollado investigaciones de carácter educativo y publicado en revistas, congresos nacionales e Internacionales (México, Argentina, Brasil, España). Asimismo, ha publicado libros de pedagogía, cuentos cortos y poesía, y es revisor de artículos de investigación de revistas extranjeras.

 lalmanza@tecsup.edu.pe

Recibido: 27-02-20
Revisado: 24-08-20
Aceptado: 31-08-20



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.

NUEVAS CARRERAS DE TECSUP



LOGÍSTICA DIGITAL 2 AÑOS

+ 1 año Titúlate en
PRODUCCIÓN Y
GESTIÓN INDUSTRIAL



ADMINISTRACIÓN
DE DATOS 2 AÑOS

+ 1 año Titúlate en
BIG DATA Y CIENCIA
DE DATOS



MODELADO Y
ANIMACIÓN 3D 2 AÑOS



BIG DATA Y
CIENCIA DE DATOS 3 AÑOS



Lima

Av. Cascanueces 2221,
Santa Anita
📞 920 412 516

Arequipa

Urb. Monterrey Lote D-8,
José Luis Bustamante y Rivero
📞 945 583 620

Trujillo

Mz. A Sub Lote 1 Urb. Tecsup
Víctor Larco Herrera
📞 978 855 909

INSTRUCCIONES PARA LA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS

La revista Investigación Aplicada e Innovación I+i se publica anualmente y tiene como objetivo principal difundir trabajos de investigación aplicados a la ingeniería y tecnología, con el fin de apoyar al sector productivo en la mejora de sus procesos, eficiencia de sus procedimientos e incorporación nuevas técnicas para fortalecer su competitividad. Las principales áreas temática son: Tecnología, Gestión, Procesos y Educación, teniendo subtemas en cada una de ellas.

Quienes pueden publicar:

Profesionales en ingeniería y tecnología, investigadores, docentes de educación superior, directivos académicos y especialistas en cualquiera de las temáticas que aborda la revista.

Convocatoria:

Los interesados en publicar en la revista I+i de Tecsup, deben enviar sus artículos de investigación al correo: investigacioneinnovacion@tecsup.edu.pe

REQUISITOS PARA LA PUBLICACIÓN

1.- Formato de presentación:

- Se aceptarán artículos escritos en idioma español, portugués o inglés.
- El artículo debe tener una extensión entre 7 y 14 páginas escritos a una sola columna.
- El interlineado será sencillo, fuente Tahoma o Arial, tamaño 11 puntos.
- Todos los márgenes son de 2,5 cm en tamaño de página A4.
- El artículo debe enviarse en formato Word, además de la versión en pdf.
- Las tablas, figuras y gráficas deberán incluirse con buena resolución y presentarse según los lineamientos de las Normas APA.
- Las ecuaciones deben estar bien definidas, digitadas y no presentadas como imágenes.

2.- Estructura del artículo:

- TÍTULO: Se colocará el título de la investigación en el idioma original y en inglés. El título no debe exceder de 12 palabras y debe dar cuenta del objeto de investigación.
- AUTORES: Es necesario nombres y apellidos completos de los autores y su afiliación académica e institucional.
- RESUMEN: Contenido breve del artículo en el idioma original e inglés, no debe exceder las 300 palabras. Evitar el uso de siglas, ecuaciones, tablas y fórmulas.
- PALABRAS CLAVES: Debe identificar los temas principales del artículo redactados en el idioma original e inglés, y presentados en orden de prioridad, no exceder de 08 palabras claves.
- INTRODUCCIÓN: Debe explicar el problema general, definir el tema investigado, definir los objetivos del estudio y generar interés al lector.
- FUNDAMENTOS: Presentar los antecedentes que fundamentan el estudio haciendo uso de citas. También debe describir el estudio de la investigación incluyendo premisas y limitaciones.
- METODOLOGÍA: Debe explicar cómo se llevó a la práctica el trabajo, justificando la elección de procedimientos y técnicas.
- RESULTADOS: Debe resumir la contribución del autor; presentar la información hallada y pertinente que se relaciona con los objetivos del estudio en forma comprensible y coherente; y debe mencionar todos los hallazgos relevantes, incluso aquellos contrarios a la hipótesis.
- CONCLUSIONES: Deben estar acorde a los objetivos del trabajo, responden a la(s) pregunta(s) de investigación planteadas en la introducción y a las interrogantes que condujeron a la realización de la investigación.
- REFERENCIAS: Incluir todas las fuentes mencionadas en el artículo. Es necesario el uso de referencias de autoridad, de carácter académico y de actualidad, incluidos en bases de datos especializadas. Su presentación es bajo el formato de una adaptación de las Normas APA para la revista I+i.
- ACERCA DEL AUTOR(ES): Incluir información profesional breve de cada autor (institución, labor que desempeña y correo electrónico).

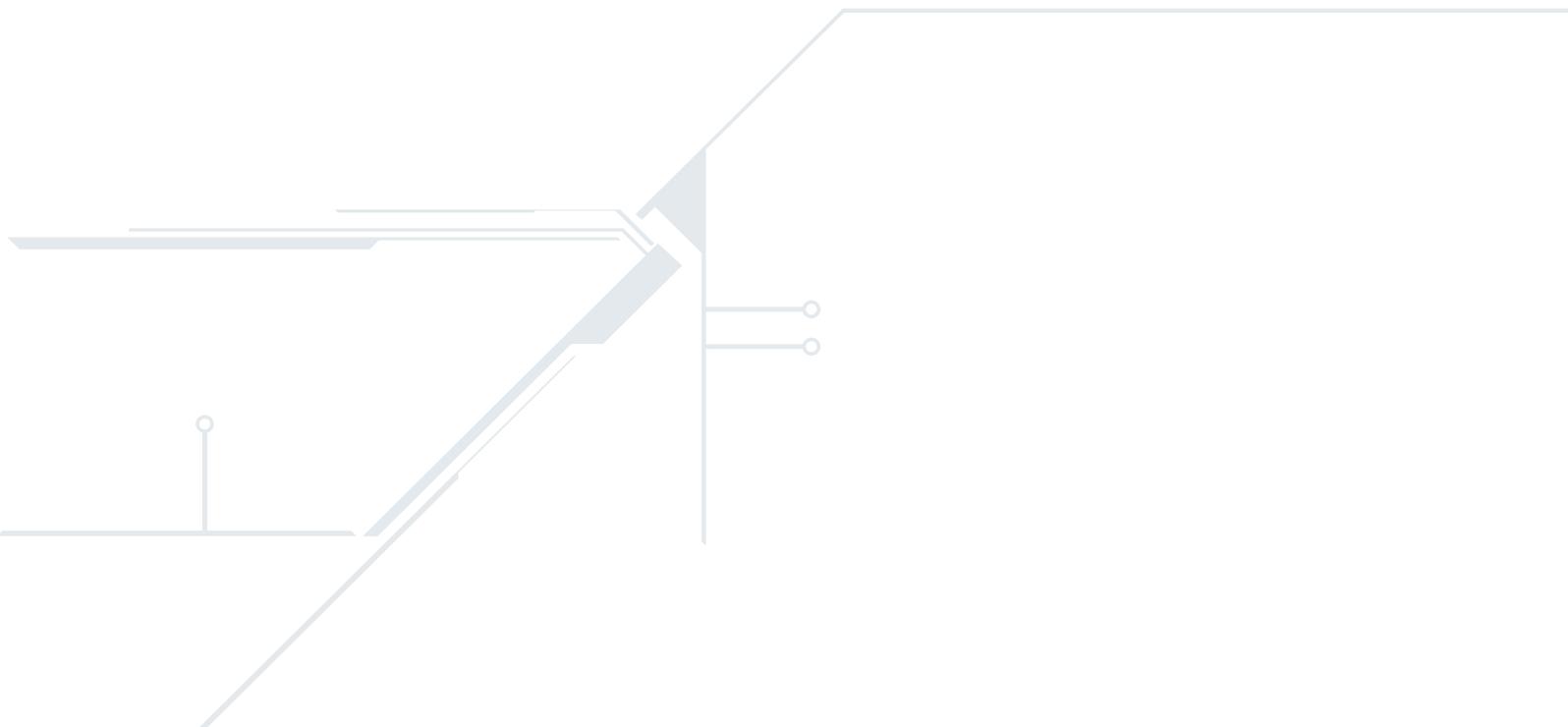
3.- Proceso editorial de la revista:

- Recepción de resúmenes para evaluar si se aborda alguna de área temática de la revista.
- Recepción de artículo completo previamente seleccionados, el Comité Editorial realiza la revisión del cumplimiento del formato y estructura de presentación. Y se valida si el trabajo es inédito.
- Se verifica la originalidad del artículo a través de la herramienta Turnitin.
- Evaluación de artículos completos o arbitraje de artículos, consiste en la validación a cargo de dos especialistas en el tema, quienes recomendarán o no la publicación y opinan si el artículo es:
 - o *Publicable sin modificaciones*: El documento no tiene ningún tipo de observación de fondo y se publica como fue recibido.
 - o *Publicable con ligeras modificaciones*: El documento amerita fundamentalmente modificaciones de forma.
 - o *Publicable con modificaciones sustanciales*: El documento amerita algunas modificaciones de fondo corregibles.
 - o *No publicable*: el documento no es recomendado para su publicación.
- Los artículos aceptados para publicación pasan por un proceso de corrección de estilo y ortografía en coordinación con los autores dentro de los plazos que se estimen.
- Concluidos todos los procesos de revisión y aceptación se procede con la diagramación e impresión de la revista.

Para más información puede revisar el sitio web de la Revista I+i en <https://www.tecsup.edu.pe/revista>



Se terminó de imprimir en los talleres gráficos de
Tarea Asociación Gráfica Educativa
Pasaje María Auxiliadora 156 - Breña
Correo electrónico: tareagrafica@tareagrafica.com
Página web: www.tareagrafica.com
Teléf. 332-3229 Fax: 424-1582
Diciembre, 2020
Lima - Perú



Tecsup

Sede Norte

Mz. A Sub lote 1 Urbanización Tecsup
Víctor Larco Herrera, Trujillo - Perú
informestrujillo@tecsup.edu.pe

T. (044) 485420

Sede Centro

Av. Cascanueces 2221
Santa Anita, Lima - Perú
informeslima@tecsup.edu.pe

T. (51-1) 317-3900

Sede Sur

Urb. Monterrey Lote D-8
José Luis Bustamante y Rivero,
Arequipa - Perú
informesarequipa@tecsup.edu.pe

T. (54) 426610

F. (54) 426654

www.tecsup.edu.pe

