

ISSN 2301-1092 • ISSN (en línea) 2301-1106

MEMORIA

INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA

Nº 21

FACULTAD DE INGENIERÍA



MEMORIA

Investigaciones en Ingeniería

ISSN 2301-1092 • ISSN (en línea) 2301-1106

Núm. 21

(2021)

Sumario

	<i>Págs.</i>
Editorial – La creación del futuro y la financiación pública a la Investigación Rafael Sotelo	1
Instrumento para medir la percepción de la población con un programa de segregación en la fuente <i>Instrument to measure the perception of the population with a segregation program at the source</i> S. García, A.A. Núñez, B.T. Padilla	2-14
Highlights of the Information Technology Industry in Uruguay <i>Aspectos Destacados de la Industria de Tecnologías de la Información en Uruguay</i> R. Sotelo, M. Rizzi	15–28
Simulación termofluidodinámica en un molde de colada continua de acero <i>Thermofluidodynamic simulation in a steel continuous casting mold</i> Y. González-Rondón, J.E. Rengel, J.J. Martínez	29-42
Optimización de parámetros en procesos de fundición a presión y compresión mediante el algoritmo de enjambre de partículas <i>Optimization of parameters in die casting and compression processes using the particle swarm algorithm</i> Y. González-Rondón, J.E. Rengel, J.J. Martínez	43–55

Impacto del diámetro en la distribución de la presión alrededor de una elipse en un arreglo de barras cilíndricas paralelas para diferentes ángulos de inclinación respecto a un flujo de aire en un canal rectangular

Impact of diameter on the distribution of pressure around an ellipse in an arrangement of parallel cylindrical bars for different angles of inclination with respect to an air flow in a rectangular channel

H. Ferrari, R. Marino, V. Herrero

56–70

Diseño y aplicación de un programa de seguridad basado en el comportamiento SBC para reducir los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección en el dique de arranque, proyecto minero Quellaveco

Design and implementation of a safety program based on SBC behavior to reduce incidents and accidents in drilling and injection activities in the arranque dam, quellaveco mining Project

C.J. Barriga, G.M. Puma

71–93

Sistema de detección de robots humanoides en ambientes semiestructurados basado en visión estereoscópica

Detection system for humanoid robots in semi-structured environments based on stereoscopic vision

O. Herrera, Y. González, P. Cortez, B. Granados

94–107

Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima

Design of road infrastructure with flexible pavement to improve the traffic of Avenida Industrial, Lurín, Lima

S.A. De La Cruz, G. A. Paredes

108–114

Analyzing the use of blockchain for managing loading zones for urban distribution

Análisis del uso de blockchain para la gestión de zonas de cargas para la distribución urbana

M. Tanco, D. Jurburg, P. Menendez, J.A. Topolansky, F. Algorta

115–129

Editorial – La creación del futuro y la financiación pública a la Investigación.

Con gran placer les presento la edición Número 21 de la revista Memoria de Investigaciones en Ingeniería.

Esta revista viene siendo publicada de manera sostenida desde el año 2000 e integra diversos catálogos. Se encuentra en Latindex, cumpliendo las 38 características necesarias. Integra el Directory of Open Access Journals (DOAJ). Y está incluida en el catálogo Clarivate Web of Science (WoS), indexada en el Emerging Sources Citation Index (ESCI).

En este número tenemos trabajos de alta calidad cuyos autores son de diversos países de América Latina como Argentina, México, Perú, Uruguay y Venezuela. Damos la bienvenida como autores a colegas de la Universidad Peruana Unión, Universidad de Oriente (Venezuela), Universidad Austral (Argentina), Universidad Nacional de Moquegua (Perú), Instituto Politécnico Nacional – UPIITA (México), Universidad Cesar Vallejo (Perú) y por supuesto, de la Universidad de Montevideo.

Los temas también son muy variados y tratan el manejo de residuos en Perú, el sector de Tecnologías de la Información en Uruguay, el modelado de fenómenos de mecánica de los fluidos, la optimización de procesos de fundición a presión y por compresión, los resultados de un estudio experimental de la distribución de presión alrededor de ciertos objetos canónicos, el diseño de un programa de seguridad en un proyecto minero, el desarrollo de un sistema de visión artificial basado en vídeo estereoscópico, el diseño de infraestructura vial con pavimento flexible, y el análisis del uso de blockchain para una aplicación logística.

En todos los trabajos se puede apreciar el esfuerzo realizado por sus autores, así como la utilidad para sus comunidades locales y su aporte como referencia a lectores de la región.

La Investigación es fundamental para construir el mundo del futuro. Queremos llamar la atención sobre la importancia de la financiación pública a la Investigación, con un ejemplo actual en un sector muy concreto.

La Computación Cuántica es una tecnología nueva, llamada a tener un rol saliente en el mundo que nos tocará vivir en las próximas décadas. En base a anuncios concretos realizados por varios países del mundo, especialmente del mundo desarrollado, vemos como estos países provocan el futuro, siendo protagonistas de primera línea.

Un interesante estudio de enero 2021 de la consultora británica Qureca (<https://bit.ly/30kYGRw>) registra el esfuerzo económico en inversión pública que muchos países han anunciado para ejecutar en los próximos años. En ese estudio hay un llamativo mapamundi coloreado en el que pueden verse los países y sus inversiones en computación cuántica. China, por ejemplo, anunció un fondo de 10.000 millones de dólares, mientras que Estado Unidos lanzó en 2018 la US National Quantum Initiative con 1.200 millones de dólares. Europa tiene su programa Quantum Flagship, mientras que algunos de sus países desarrollan, además, sus propios fondos. En efecto, Alemania anunció en mayo de este año una inversión de 2.400 millones de dólares para los próximos cuatro años en el desarrollo de tecnologías relacionadas con computación cuántica; el mayor ejecutor de esta inversión será el Centro Aeroespacial Alemán (DLR) (<https://reut.rs/3GIEXLh>).

Estos países están construyendo el futuro. Se puede ver que este dinero derrama en un sinnúmero de actividades que integran el gobierno, la academia y la industria, ya sean empresas establecidas de tiempo atrás, como startups, constituyendo una oportunidad única de realizar investigación y desarrollar tecnología.

Lamentablemente, en el mapamundi creado por Qureca que citamos, América Latina está en un color gris, no registrando fondos específicos para apoyo a la investigación y al desarrollo de esta tecnología tan importante.

Agradezco a los revisores actuantes en este número. Agradezco a la Lic. Valentina Morandi por su apoyo técnico permanente a la revista y especialmente al Ing. Fernando Hernández en su rol de Asistente Editorial.

Dr. Ing. Rafael Sotelo
Editor en Jefe
Facultad de Ingeniería
Universidad de Montevideo

Instrumento para medir la percepción de la población con un programa de segregación en la fuente

Instrument to measure the perception of the population with a segregation program at the source

Samuel García Tuanama ¹, Allison Angélica Núñez Vela ², Betsabeth Teresa Padilla Macedo³

Recibido: Noviembre 2020

Aceptado: Octubre 2021

Resumen.- Uno de los principales problemas de los distritos a nivel del Perú es la inadecuada gestión de los residuos sólidos, a partir de eso se considera la importancia de tener el conocimiento adecuado del tipo de segregación de los residuos sólidos en los hogares, en el presente artículo se busca a realizó un instrumento de medición que sea útil para evaluar la percepción de la población hacia el programa de segregación en la fuente. El instrumento cuenta con una cantidad de 27 ítems y realizó una prueba piloto del instrumento realizándose en la ciudad de Tarapoto en la selva del Perú el año 2020, a una cantidad de 50 participantes, en la cual el promedio de la edad de los participantes fue de 23 años y la mayor cantidad de participantes fue del sexo femenino. Como conclusión del instrumento desarrollado en este presente trabajo de investigación, se puede observar que permite a la municipalidad ver sus errores y mejorar en su gestión del programa de Segregación en la fuente. Asimismo, para que este programa se desarrolle con éxito comienza desde el compromiso de la población siendo este el objetivo principal del instrumento desarrollado, examinar si de parte de la población hay una respuesta positiva en cuanto al programa.

Palabras clave: Segregación; percepción; instrumento de medición.

Summary.- One of the main problems of the districts at the level of Peru is the inadequate management of solid waste, from which the importance of having adequate knowledge of the type of segregation of solid waste in households is considered, in this article The aim is to create a measurement instrument that is useful for evaluating the perception of the population towards the source segregation program. The instrument has a quantity of 27 items and it carried out a pilot test of the instrument being carried out in the city of Tarapoto in the jungle of Peru with a quantity of 50 participants, in which the average age of the participants was 23 years and the largest number of participants was female. The survey had as conclusions that the instrument developed in this research work, we observe that allows the municipality to see its errors and improve its management of the Segregation program at the source. Likewise, for this program to be successfully developed, it starts from the commitment of the population, this being the main objective of the instrument developed, to examine whether there is a positive response from the population regarding the program.

Keywords: Segregation; perception; Measuring instrument.

¹ Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, samuel.garcia@upeu.edu.pe ,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5410-9090>

² Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, investigacionambiental.tpp@upeu.edu.pe,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8599-753X>

³ Magister en Educación, Universidad Peruana Unión, investigacionambiental.tpp@upeu.edu.pe,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3299-8202>

1. Introducción. - La segregación en la fuente consiste en la escisión selectiva de los residuos sólidos en cada lugar de origen, en este caso practicándose en la población. Esta investigación permitirá obtener información sobre el nivel de compromiso de la población con respecto a la segregación de los residuos sólidos. Uno de los principales problemas de los distritos a nivel del Perú es la inadecuada gestión de los residuos sólidos, a partir de eso se considera la importancia de tener el conocimiento adecuado del tipo de segregación de los residuos sólidos en los hogares [1]. Esta investigación propone un instrumento para medir la percepción de la población respecto a un programa de segregación para poder evaluar la eficiencia de esta y la participación de la población. El instrumento servirá para la toma de decisiones a las municipalidades con respecto a la gestión, inculcar e incentivar nuevos valores a la población sobre los residuos sólidos y cultura ambiental.

2. Residuos Sólidos. - Según la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos, los residuos sólidos conforman una parte inservible de algún material que ha sido procesado, cualquier producto en estado líquido, sólidos o gaseoso, generado por actividades humanas en proceso de extracción, transformación y utilización, que está destinado a hacer desechado cuando carece de valor para la persona [2].

2.1. Clasificación. - Según el Decreto Legislativo 1278 de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, se establece la siguiente clasificación de residuos sólidos, según su manejo y su gestión.

2.1.1. Según su manejo.- a) Residuos sólidos peligrosos: Se considera residuos sólidos peligrosos los que presentan las siguientes características: autocombustibilidad, corrosividad, explosividad, toxicidad, reactividad, radioactividad o patogenicidad, los envases que fueron utilizados para el almacenamiento o comercialización de productos o sustancias peligrosas y los productos usados o vencidos que puedan producir daños a la salud o al ambiente son considerados residuos peligrosos, deben ser manejados como tales, a menos que sean sometidos a un tratamiento que elimine las características de peligrosidad.[3].

b) Residuos sólidos no peligrosos: Los residuos sólidos no peligrosos son aquellos que son producidos por las personas en cualquier sector y aumento de su actividad, que no presentan riesgos en el ambiente y la salud. Los residuos son generados en instalaciones o por procesos industriales que no presentan las características de peligrosidad. [3].

2.1.2. Según su gestión. - De acuerdo con la autoridad competente para su gestión se clasifica en:

a) Residuos sólidos municipales: Los residuos sólidos municipales (RSM), son conocidos también como basura, residuo o desecho y están compuestos por residuos orgánicos (excedentes de comida, alimentos, etc.), papel, cartón, madera y materiales inorgánicos como plástico, vidrio y metales. Estos residuos generalmente son provenientes de las actividades domésticas, construcciones, servicios públicos, establecimientos comerciales. [4].

b) Residuos sólidos no municipales: Según el Ministerio del Ambiente (MINAM) los residuos sólidos del ámbito no municipales son considerados los residuos hospitalarios, de actividad de construcción, actividades de producción industrial, actividades de agricultura y de instalaciones o actividades especiales, estas son reguladas por cada sector, siendo la responsabilidad del generador. Cada sector debe reportar al Ministerio del Ambiente (MINAM) a través de las declaraciones anuales del manejo de residuos sólidos de la gestión de estos [5].

2.2. Técnicas de minimización de residuos sólidos. - Se incluyen las tecnologías limpias y una serie de actuaciones inclinadas a reducir la cantidad o peligrosidad de los residuos sólidos generados, reducir la necesidad de tratamiento final y la conservación de los recursos [6].

Las técnicas se pueden emplear a cualquier ideal de material residual autónomo del medio receptor y no se basan necesariamente en tecnologías modernas o que requieran inmensos gastos.

3. Segregación en la fuente. - Se refiere a la acción de la separación de los residuos sólidos que pueden ser reaprovechados en el domicilio, según el decreto legislativo 1278, nos dice que los generadores de residuos nos municipales se encuentran obligados a entregar los residuos segregados debidamente a los operadores de los residuos sólidos que son autorizados o a las municipalidades que presten el servicio.

Según la “Ley de segregación obligatoria de residuos sólidos en entidad” del 2018 en el artículo primero. -Segregación de residuos sólidos: Todas las entidades del poder Ejecutivo, los gobiernos regionales y locales y demás entidades del Estado, obligadamente segregan sus residuos sólidos según su naturaleza [7].

3.1. La segregación y reciclado de residuos en el Perú. - De acuerdo a la mencionado por el diario Peruano y junta las declaraciones de la Ministra del Ambiente, solo se recicla el 1.9% de la basura que se recuperan en los programas de segregación de las municipalidades. Esta problemática tiene varias aristas, empezando desde la cultura de reciclaje de los propios ciudadanos peruanos.

3.2. Manejo de la segregación en la fuente. - El Ministerio del Ambiente (MINAM), implementó el “Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos” desde el año 2011 en viviendas urbanas a nivel nacional, con la finalidad de reducir la cantidad y peligrosidad de los residuos sólidos dispuestos inadecuadamente, impulsando una cadena formal de reciclaje y generando un incremento de la conciencia ambiental en la ciudadanía. Tal ha sido el éxito del programa que ha logrado involucrar a 249 municipios distribuidos en las 25 regiones del Perú; generando una reducción significativa de la contaminación ambiental, mejorando la calidad de vida y educación ambiental de la población, así como la generación de nuevas oportunidades de empleo formal [8].

3.3. Programas de segregación en los municipios.- La Municipalidad José Luis Bustamante y Rivero el año 2014, realizó el “Programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos inorgánicos reciclables”, debido, que hoy en día los residuos sólidos constituyen un tema crucial las diferente actividades humanas modernas y el consumismo han contribuido a acumular gran cantidad de residuos, cantidades que van en aumento cada año, siendo la causa principal la generación por parte de la población; otra causa importante la constituye las políticas antiguas de algunas municipalidades que no impulsan programas alternativos de Gestión de Residuos Sólidos centrados en la minimización y la segregación en la fuente. Sin embargo, podemos ver en los últimos años mayor cantidad de personas preocupadas por sus residuos sólidos, generalmente son aquellos que apoyan los programas de segregación en la fuente de las diferentes municipalidades del país [9].

La Municipalidad de Santiago de Surco el año 2013, implementó un programa llamado “EN SURCO LA BASURA SIRVE”. Este programa consistió en sensibilizar con campañas puerta a puerta a los vecinos de la localidad, a quienes se les otorgaba una bolsa de color anaranjado para que acopiaran durante la semana los envases que podían reusarse, y luego el mismo Municipio recogía estas bolsas y clasificaba los materiales, para luego comercializarlos localmente [10].

La Municipalidad de los Olivos realizó la “Propuesta de Mejora para la gestión estratégica del Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Domiciliarios en el distrito de Los Olivos”, a través de la tesis presentada por Rentería y Zaballos en el año 2014, de acuerdo a la investigación busca mejorar la gestión de los residuos sólidos domiciliarios a través de la aplicación de herramientas de gestión estratégica que permitirán diagnosticar, planificar y diseñar una serie de lineamientos estratégicos que formarán parte de la Propuesta de Mejora para el Programa de Segregación en la Fuente. Se ha abordado un desafío clave en el documento,

asimismo de realizar cambios estratégicos al Programa de estudio, que tendrá como estrategia principal la reducción de costos operativos del presupuesto del Programa con el fin de conseguir la sostenibilidad de este, y que impacte positivamente en el ahorro en el gasto del Servicio de Limpieza Pública de la Municipalidad Distrital de Los Olivos [1].

4. Materiales y métodos. - La metodología empleada para la elaboración del Instrumento para medir la percepción de la población con un programa de segregación en la fuente, estuvo compuesta por cuatro fases.

Fase 1. Preparación: Se define de manera clara y concisa los términos que serán utilizados en el instrumento, estos pueden ser mediante consulta a expertos y revisión bibliográfica [11]. Se define la población de interés y las características del formato con las preguntas de ¿para qué los queremos medir? y ¿en quienes lo queremos medir? posteriormente se realiza la elaboración del instrumento, en el que será definido el constructo, el propósito de la medición y la población de estudio, se realiza el primer borrador con los primeros ítems que nos permitirán someter la medición en el instrumento.

Fase 2. Validación: La validación por el juicio de expertos, se realiza al finalizar la primera redacción para que sea sometida a la opinión de expertos, ellos son personas que tienen la experiencia profesional, académica o investigativa con relación al tema a tratar en la investigación permitiendo valorar el contenido de cada uno de los ítems que fueron incluidos en el instrumento, dando certeza que el estilo de redacción es comprendida por el grupo al que está puesto el objetivo y por tanto asegura que las respuestas son válidas[12].

Fase 3. Prueba piloto: Se procedió a realizar una segunda redacción de los ítems que forman el instrumento que debe estar en concordancia con los resultados del análisis de los jueces expertos, la muestra que fue seleccionada puede ser al azar y tiene que ser parecida a las características de la población que fue seleccionada para la investigación, la población seleccionada fue de 50 participantes, personas locales de la ciudad de Tarapoto ubicado en la selva del Perú, compuesta de personas adultas hombres y mujeres, trabajadores o estudiantes, a partir de los 18 A 60 años que son capaces de tener conocimiento sobre la segregación de los residuos sólidos.

Fase 4. Validación: La validación psicométrica se establece el análisis de confiabilidad y la validez del test, para realizar la confiabilidad serán utilizados el software SPSS para el procesamiento de los datos recopilados y el análisis de Alfa de Cronbach que permite realizar y establecer la solidez interna de los ítems y cómo se comportan entre ellos[13], para realizar la prueba de validez según existen dos niveles de exploración para la validez de contenido: a nivel de la población y a nivel de expertos [14], la exploración a nivel de la población es cuando entrevistamos a los sujetos que más adelante serán objetos de evaluación; y a nivel de expertos es cuando entrevistamos a personas que no siendo investigadores conocen más que nosotros acerca del tema que deseamos medir.

5. Resultados y discusión.- La edad promedio de los participantes fue 23 años (rango: 18 a 55) como se muestra en la figura I. Teniendo más participantes a adultos entre 20 a 23 años, que nos hace pensar que ellos son los que más se interesan sobre la segregación en el hogar.

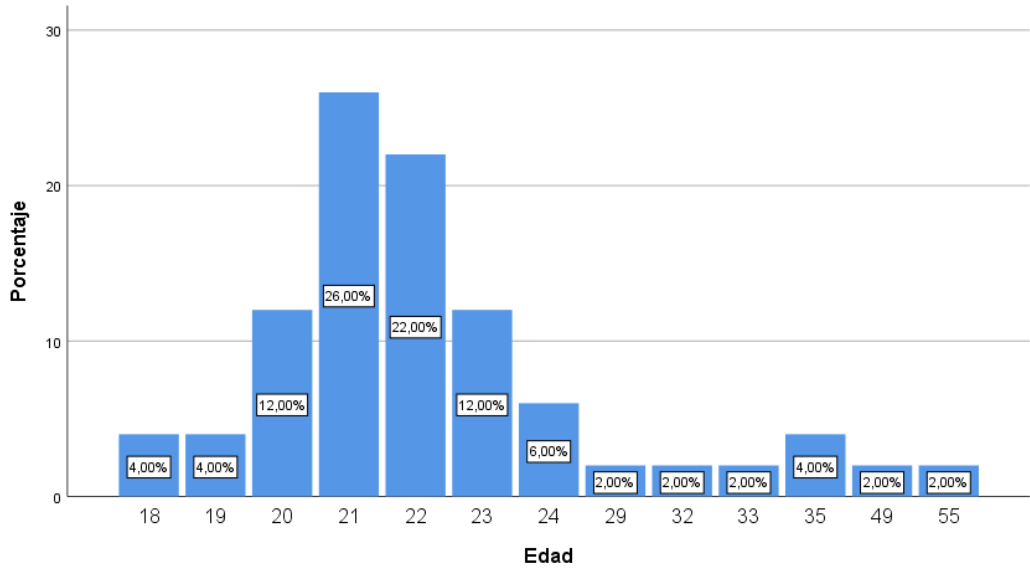


Figura I. Frecuencia de respuesta del ítem de edad de los participantes.

En la figura II se muestra la caracterización demográfica de la muestra estudiada del género en donde se obtuvo como resultado que los participantes del género femenino fueron quienes más contestaron la encuesta con un número de 32 participante el cual es el 62%, dejando con el 38% de participantes del género masculino.

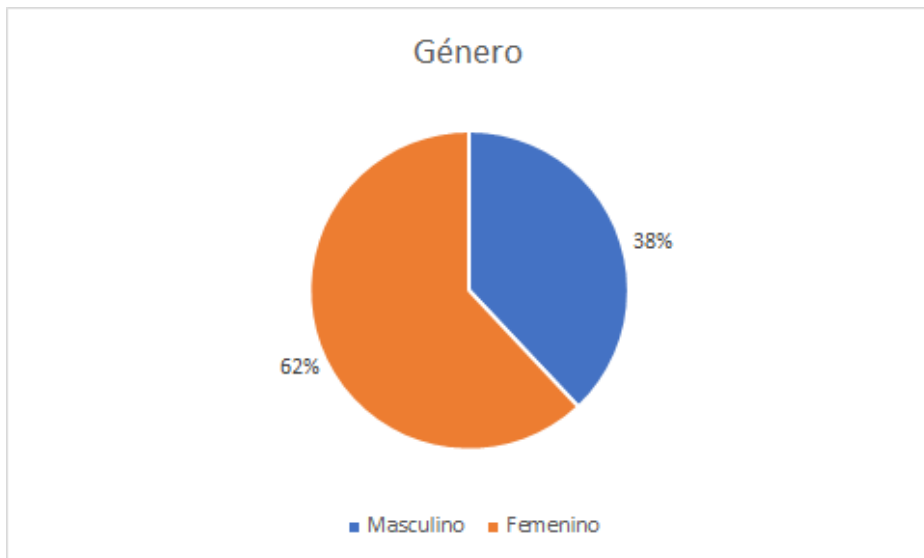


Figura II. Frecuencia de respuesta del ítem de género de los participantes.

En la figura III se muestra cuál es la dedicación de estos, en donde siendo la mayoría de los participantes estudiantes con el 44% de 22 participantes.

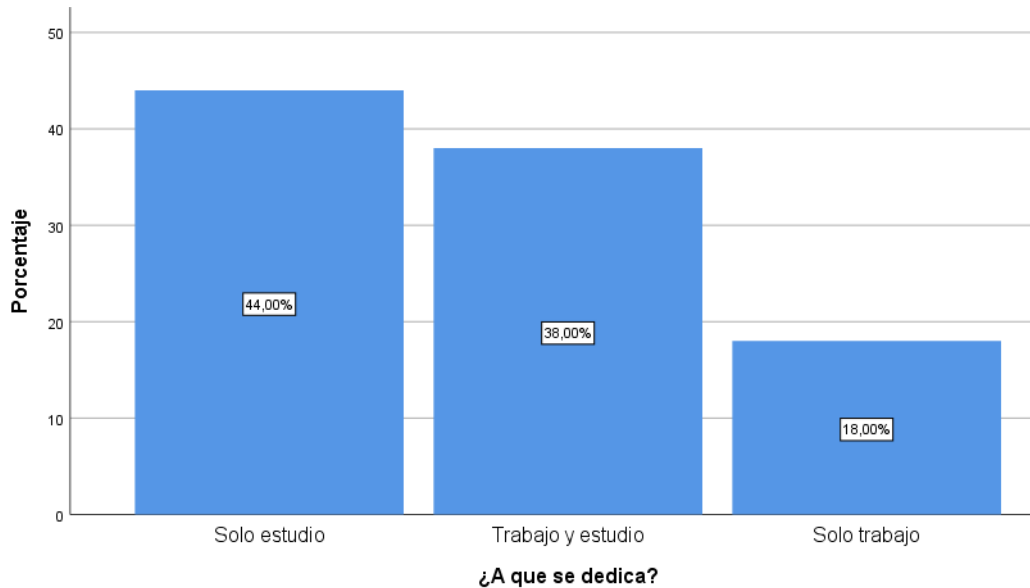


Figura III. Frecuencia de respuesta del ítem de a qué se dedican los participantes.

En la tabla I se muestra las distribuciones de frecuencia de respuesta referentes a los 27 ítems, en donde encontramos los porcentajes que se tiene de acuerdo con cada ítem con la escala propuesta.

Ítem	Escala de la percepción de la población	Nunca	Casi nunca	Algunas veces	Casi siempre	Siempre
ETAPA DE SENSIBILIZACIÓN						
1	¿A menudo se realizan este tipo de encuesta?	6(12%)	12(24%)	25(50%)	2(4%)	5(10%)
2	¿Ha menudo reciben charla acerca de que son los residuos sólidos?	8(16%)	16(32%)	16(32%)	5(10%)	5(10%)
3	¿Sabe usted cómo separar/clasificar sus residuos?	1(2%)	3(6%)	10(20%)	16(32%)	20(40%)
4	¿Usted participa continuamente de alguna charla sobre algún programa de separación de residuos sólidos?	10(20%)	17(34%)	14(28%)	6(12%)	3(6%)
5	¿Alguna vez se le fue explicada la diferencia entre residuo orgánico y residuo inorgánico?	1(2%)	4(8%)	10(20%)	11(22%)	24(48%)
6	¿Con qué frecuencia separa usted sus residuos?	4(8%)	10(20%)	16(32%)	13(26%)	7(14%)
7	Alguna vez le explicaron, ¿qué son los términos de residuos orgánicos e inorgánicos?	2(4%)	7(14%)	11(22%)	10(20%)	10(20%)

		Muy en Desacuer do	Algo en Desacuer do	Ni de Acuerdo ni en Desacuerdo	Algo de Acuerdo	Muy de Acuerdo
8	¿Cree usted que separar los residuos continuamente puede tener un impacto positivo en la salud y el ambiente?	0(0%)	2(4%)	6(12%)	42(84%)	10(20%)
9	¿Cree usted que mediante la capacitación continua (charlas) se puede mejorar la buena disposición de los residuos sólidos?	0(0%)	0(0%)	6(12%)	14(28%)	30(60%)
10	¿Considera usted que realiza una buena práctica con el manejo de sus residuos?	1(2%)	6(12%)	18(36%)	15(30%)	10(20%)
ETAPA DE SEGREGACIÓN						
11	¿Considera usted tener un lugar establecido para sus residuos sólidos?	3(6%)	5(10%)	13(26%)	14(28%)	15(30%)
12	¿Considera usted que los residuos orgánicos y los residuos inorgánicos deben ser separados?	0(0%)	0(0%)	2(4%)	10(20%)	38(76%)
13	¿Considera usted importante tener un lugar establecido para los residuos orgánicos? (cáscara de frutas y verduras, papeles, restos de comida, etc.)	0(0%)	0(0%)	2(4%)	11(22%)	37(74%)
14	¿Considera usted importante tener un lugar establecido para los residuos inorgánicos? (plástico, metal, etc.)	0(0%)	0(0%)	1(2%)	13(26%)	36(72%)
15	¿Considera importante tener diferentes recipientes para cada tipo de residuo orgánico e inorgánico antes mencionados?	0(0%)	0(0%)	4(8%)	11(22%)	35(70%)
16	¿Usted considera que al no separar sus residuos, causan un impacto negativo en el medio ambiente?	0(0%)	1(2%)	6(12%)	15(30%)	28(56%)
17	¿Considera usted que sus vecinos practican a menudo la separación de sus residuos en sus hogares (Segregación)?	13(26%)	14(28%)	17(34%)	5(10%)	1(2%)
18	¿Considera usted que las personas que viven en su hogar, saben separar debidamente sus residuos?	4(8%)	8(16%)	16(32%)	13(26%)	9(18%)

ETAPA DE REAPROVECHAMIENTO						
19	¿Considera usted que es importante darle otro uso (reaprovechar) a su residuo?	0(0%)	0(0%)	3(6%)	12(24%)	35(70%)
20	¿Considera usted que al darle otro uso (reaprovechar) a sus residuos representan una nueva oportunidad y fuente de recursos?	0(0%)	0(0%)	3(6%)	10(20%)	37(74%)
21	¿Considera usted que está haciendo reaprovechamiento de sus residuos sólidos orgánicos al darle las sobras de comida a los animales?	3(6%)	4(8%)	16(32%)	15(30%)	12(24%)
		Nunca	Casi nunca	Algunas veces	Casi siempre	Siempre
22	¿Usted hace algún tipo de reaprovechamiento de sus residuos sólidos? (por ejemplo, dando otro uso a las botellas de plásticos o vidrios en su hogar)	3(6%)	2(4%)	12(24%)	18(36%)	15(30%)
23	¿En qué medida usted diariamente practica el reaprovechamiento de sus residuos sólidos?	3(6%)	5(10%)	18(36%)	19(38%)	5(10%)
ETAPA DE RECOLECCIÓN						
24	¿Con qué frecuencia son recogidos sus residuos por la municipalidad?	1(2%)	5(10%)	12(24%)	19(38%)	19(38%)
25	¿Cumple la municipalidad con el tiempo que se hace la recolección de sus residuos sólidos?	2(4%)	6(12%)	16(32%)	17(34%)	9(18%)
26	¿Considera usted que la municipalidad siempre está comprometida en la recolección a tiempo de sus residuos?	1(2%)	5(10%)	19(38%)	20(40%)	5(10%)
27	¿Está usted satisfecho con el servicio de recolección de sus residuos?	2(4%)	5(10%)	18(36%)	17(34%)	8(16%)

Tabla I. Frecuencia de los 27 ítems propuestos para la percepción de la población en las 50 personas encuestadas.

En la tabla II se muestra el análisis psicométrico que reveló un coeficiente Alfa de Cronbach de las dimensiones de sensibilización de 0,83, de la etapa de segregación 0,65, la etapa de reaprovechamiento 0,71 y por último la etapa de recolección con 0,83, con correlaciones ítem-total -0,11 a 0,74, tal como se muestra en la tabla II. Para definir si procedía un análisis factorial, primero se determinó si los ítems de la “Percepción de la población con un programa de segregación en la fuente” presentan relaciones significativas. La medida de adecuación muestral KMO fue 0,638; dados estos resultados, se procedió a realizar un análisis factorial a fin de estudiar la estructura subyacente de la “Percepción de la población con un programa de segregación en la fuente” en términos de factores o dimensiones.

Ítem	Escala de la percepción de la población	Alfa de Cronbach si se elimina ítem	Correlación ítem-total
ETAPA DE SENSIBILIZACIÓN			
1	¿A menudo se realizan este tipo de encuestas?	0,851	0,115
2	¿Ha menudo reciben charla acerca de que son los residuos sólidos?	0,815	0,496
3	¿Sabe usted cómo separar/clasificar sus residuos?	0,794	0,694
4	¿Usted participa continuamente de alguna charla sobre algún programa de separación de residuos sólidos?	0,816	0,483
5	¿Alguna vez se le fue explicada la diferencia entre residuo orgánico y residuo inorgánico?	0,787	0,744
6	¿Con qué frecuencia separa usted sus residuos?	0,798	0,645
7	Alguna vez le explicaron, ¿qué son los términos de residuos orgánicos e inorgánicos?	0,791	0,695
8	¿Cree usted que separar los residuos continuamente puede tener un impacto positivo en la salud y el ambiente?	0,823	0,463
9	¿Cree usted que mediante la capacitación continua (charlas) se puede mejorar la buena disposición de los residuos sólidos?	0,823	0,408
10	¿Considera usted que realiza una buena práctica con el manejo de sus residuos?	0,813	0,507
ETAPA DE SEGREGACIÓN			
11	¿Considera usted tener un lugar establecido para sus residuos sólidos?	0,58	0,475
12	¿Considera usted que los residuos orgánicos y los residuos inorgánicos deben ser separados?	0,601	0,5
13	¿Considera usted importante tener un lugar establecido para los residuos orgánicos? (cáscara de frutas y verduras, papeles, restos de comida, etc.)	0,615	0,41
14	¿Considera usted importante tener un lugar establecido para los residuos inorgánicos? (plástico, metal, etc.)	0,611	0,453
15	¿Considera importante tener diferentes recipientes para cada tipo de residuo orgánico e inorgánico antes mencionados?	0,591	0,503
16	¿Usted considera que, al no separar sus residuos, causan un impacto negativo en el medio ambiente?	0,584	0,49
17	¿Considera usted que sus vecinos practican a menudo la separación de sus residuos en sus hogares (Segregación)?	0,752	-0,112
18	¿Considera usted que las personas que viven en su hogar saben separar debidamente sus residuos?	0,58	0,475
ETAPA DE REAPROVECHAMIENTO			
19	¿Considera usted que es importante darle otro uso (reaprovechar) a sus residuos?	0,675	0,483
20	¿Considera usted que al darle otro uso (reaprovechar) a sus residuos representan una nueva oportunidad y fuente de recursos?	0,676	0,486
21	¿Considera usted que está haciendo reaprovechamiento de sus residuos sólidos orgánicos al darle las sobras de comida a los animales?	0,738	0,332
22	¿Usted hace algún tipo de reaprovechamiento de sus residuos sólidos? (por ejemplo, dando otro uso a las botellas de plásticos o vidrios en su hogar)	0,565	0,67
23	¿En qué medida usted diariamente practica el reaprovechamiento de sus residuos sólidos?	0,639	0,528

ETAPA DE RECOLECCIÓN			
24	¿Con qué frecuencia son recogidos sus residuos por la municipalidad?	0,789	0,638
25	¿Cumple la municipalidad con el tiempo que se hace la recolección de sus residuos sólidos?	0,767	0,684
26	¿Considera usted que la municipalidad siempre está comprometida en la recolección a tiempo de sus residuos?	0,794	0,629
27	¿Está usted satisfecho con el servicio de recolección de sus residuos?	0,775	0,666

Tabla II. Análisis psicométrico de la percepción de población hacia un programa de segregación.

En la tabla III se muestra la matriz de baremación de las puntuaciones de las encuestas por cada dimensión, en donde se realizó de acuerdo con la escala utilizada en la encuesta, teniendo un rango de puntaje para poder realizar la clasificación de indicador que da cada participante; en donde se encuentra separada por las cuatro dimensiones realizadas.

DIMENSIONES	Nº DE PREGUNTAS	RANGO	PUNTAJE	OBSERVACIONES
ETAPA DE SENSIBILIZACIÓN	10	BAJO	1-16	Indica que la población nunca fue sensibilizada antes del desarrollo del programa de Segregación
		MEDIO	17-34	Indica que la población tiene un conocimiento vago acerca del Programa de segregación, asimismo, que no fueron sensibilizados adecuadamente
		ALTO	35-50	Demuestra que la población fue sensibilizada antes del desarrollo de programa
ETAPA DE SEGREGACIÓN	8	BAJO	1-14	Indica que la población no está practicando la segregación referente a programa
		MEDIO	15-28	Indica que población no está practicando adecuadamente la segregación de los residuos
		ALTO	29-40	Indica la adecuada segregación de parte de la población, asimismo una respuesta positiva de parte ellos respecto al programa
ETAPA DE REAPROVECHAMIENTO	5	BAJO	1-9	Demuestra que la población no realiza ningún o poco tipo de reaprovechamiento acerca de los residuos orgánicos e inorgánicos.
		MEDIO	10-18	Demuestra que la población realiza mediamente una clase de reaprovechamiento hacia sus residuos orgánicos e inorgánicos, ya sea reaprovechando botellas plásticas o dando de comer a sus animales con las sobras de comida.
		ALTO	19-25	La población realiza todo el tipo de reaprovechamiento posible hacia sus residuos sólidos.

ETAPA DE RECOLECCIÓN	4	BAJO	1-7	Demuestra que la Municipalidad no tiene un compromiso acerca de la recolección de los residuos sólidos en los hogares de la población.
		MEDIO	8-15	Demuestra que el compromiso de la Municipalidad en función con la recolección de los residuos sólidos en los hogares de la población no es ni buena ni mala.
		ALTO	16-20	Demuestra que el compromiso de la Municipalidad en función con la recolección de los residuos sólidos de la población en sus hogares es buena.

Tabla III. Baremación de las puntuaciones.

En la tabla IV se muestra el análisis de puntajes de las encuestas realizadas en donde se encuentra separada por las cuatro dimensiones realizadas mostrando el mínimo y máximo de cada dimensión, comparando los puntajes con la matriz realizada.

Dimensiones	Nº de encuestas	Mínimo de puntaje	Máximo de puntaje	Media
SENSIBILIZACIÓN	50	20	47	35,78
SEGREGACIÓN	50	24	40	32,44
REAPROVECHAMIENTO	50	9	25	20,06
RECOLECCIÓN	50	6	20	14,2

Tabla IV. Análisis de puntaje de encuestas realizadas.

En cuanto a los resultados obtenidos en la etapa de sensibilización con un valor máximo de 47 puntos lo cual nos muestra de acuerdo con la matriz realizada, que la población fue sensibilizada antes del desarrollo del programa, además que obtuvimos un valor mínimo de 20 puntos de acuerdo a este valor, nos indica que una parte de la población, tienen un conocimiento bajo acerca del programa, o que; de alguna manera ellos no fueron sensibilizados adecuadamente. Por otro lado, esto ocurre a menudo por la falta de compromiso de parte de la población de no querer participar, lo cual esto lleva a las municipalidades a tomar nuevas medidas en cuanto a la sensibilización hacia las personas.

Asimismo, en la etapa de segregación en la fuente el valor máximo fue de 40 puntos, de acuerdo con la matriz, indica la práctica adecuada de segregación por parte de los participantes, a su vez una respuesta positiva respecto al programa. Además, el valor mínimo fue 24 puntos de manera que esto nos indica que hay una parte de los participantes que no están practicando adecuadamente la segregación en sus hogares. Finalmente, esto llevaría hacer un seguimiento más de cerca en lo que respecta al compromiso con la segregación.

Sin embargo, en la etapa de reaprovechamiento el valor máximo fue 25 puntos a fin de que indica que la población practica todo tipo de aprovechamiento posible en sus hogares, también obtuvimos el valor mínimo de 9 puntos, nos muestra que una parte de la población no están practicando ningún tipo de aprovechamiento en sus hogares a causa de su falta de compromiso en sus residuos orgánicos e inorgánicos.

Finalmente, en la etapa de recolección el valor máximo fue de 20 de puntos en efecto, muestra evidentemente el compromiso de parte de la municipalidad en cuanto en la recolección de los

residuos, teniendo en cuenta que el valor mínimo fue 6 puntos un indicador de la falta de compromiso de la municipalidad en algunos lugares alejados.

6. Conclusiones. - Esta investigación propuso un instrumento útil para la evaluación de la población con un programa de segregación en la fuente, en la cual los resultados nos muestran la respuesta positiva de parte de los ciudadanos en cuanto al desarrollo del programa. En la investigación se realizó el análisis psicométrico que reveló un coeficiente Alfa de Cronbach de las dimensiones en donde se tuvo en la etapa de sensibilización 0,83, la etapa de segregación 0,65, la etapa de reaprovechamiento 0,71 y por último la etapa de recolección con 0,83, tal como se muestra en la tabla II para la identificación de confiabilidad de cada uno de los ítems. La medida de adecuación muestral KMO fue de 0,638; dados estos resultados, se realizó un análisis factorial a fin de estudiar la estructura subyacente de la “Percepción de la población con un programa de segregación en la fuente” en términos de factores o dimensiones. También se realizó una matriz para la baremación de las puntuaciones, para obtener mejores resultados en cada una de las dimensiones, dándoles valores de acuerdo con la escala utilizada en el instrumento.

Y para mejorar las respuestas negativas que se obtuvieron hacia el instrumento, este ayuda a determinar y comparar los resultados de un antes y después para mejorar el Programa de segregación en la fuente. Con el fin de alcanzar un mayor nivel de compromiso y participación hacia la población, se recomienda a la municipalidad lo siguiente: Realizar talleres de segregación buscando como meta visibilizar la importancia de un manejo adecuado de los residuos sólidos en el hogar, de esta manera generando un aporte positivo en la comunidad; y agregando a esto incentivos tributarios a los ciudadanos. Asimismo, brindando los materiales adecuados para la buena práctica del programa.

7. Referencias

- [1] J. M. Rentería Sacha and M. E. Zeballos Villareal, “Propuesta de Mejora para la gestión estratégica del Programa de Segregación en la Fuente y Recolección Selectiva de Residuos Sólidos Domiciliarios en el distrito de Los Olivos,” 2014.
- [2] Ministerio del Ambiente - MINAM, “Ley General de Residuos Sólidos,” Lima, Perú, 2004. Accessed: Jun. 23, 2020. [Online].
Available: http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_2819.pdf
- [3] Dirección de Normalización - INACAL, “Norma Técnica Peruana 900.058 - 2019 Gestión de Residuos. Códigos de colores para el almacenamiento de residuos sólidos.,” no. Lima 27, pp. 1–14, 2019, [Online].
Available: <https://www.qhse.com.pe/wp-content/uploads/2019/03/NTP-900.058-2019-Residuos.pdf>
- [4] R. Toro, M. Szantó, J. Pacheco, E. Contreras, and A. Gálvez, “Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios,” *Manuales la CEPAL*, p. 209, 2016.
- [5] Ministerio del Ambiente - MINAM, “Gestión Ambiental de Residuos Sólidos en el Perú,” 2011.
- [6] M. María and C. Gallo, “Minimización de Residuos: una política de gestión ambiental empresarial Waste minimization: An environmental management corporative policy,” *Prod. + Limpia*, vol. 1, no. 2, p. 12, 2006, Accessed: Jun. 23, 2020. [Online].
Available: http://lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol1n2/pl_v1n2_46-57_Minimización.pdf
- [7] P. CONGRESO DE LA REPÚBLICA, *Ley de Segregación Obligatoria de Residuos Sólidos en Entidades Públicas*. Perú, 2018, p. 8.
- [8] Ministerio del Ambiente - MINAM, “Programa nacional de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos|Dirección General de Calidad Ambiental,” 2011. <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/programa-nacional-de-segregacion-en-la-fuente-y-recoleccion-selectiva-de-residuos-solidos/> (accessed Oct. 29, 2019).
- [9] Municipalidad José Luis Bustamante y Rivero, “Programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos inorgánicos reciclables,” 2014. Accessed: Nov. 16, 2019. [Online].
Available: <http://www.munibustamante.gob.pe/archivos/gestamb/psfrsrsi2014.pdf>
- [10] Municipalidad de Santiago de Surco, “Premio Interamericano a la Innovación para la Gestión Pública Efectiva,” p. 16, 2013, [Online]. Available: www.munisurco.gob.pe.
- [11] M. C. M. Arribas, “Diseño y validación de cuestionarios Formación continuada El cuestionario es un instrumento para la recogida de información, diseñado para cuantificarla y universalizarla,” 2004.
- [12] A. M. Soriano Rodríguez, “Diseño y validación de instrumentos de medición,” *Diá-logos*, no. 14, pp. 19–40, Nov. 2015, doi: 10.5377/dialogos.v0i14.2202.
- [13] H. C. Oviedo and A. Campo-Arias, “Metodología de investigación y lectura crítica de estudios Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach Title: An Approach to the Use of Cronbach’s Alfa,” *Rev. Colomb. Psiquiatr. ISSN*, vol. 34, no. 4, pp. 572–580, 2005, Accessed: Jun. 23, 2020. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/806/80634409.pdf>
- [14] J. Supo, *Cómo validar un instrumento: La guía para validar un instrumento en 10 pasos*. 2013.

Highlights of the Information Technology Industry in Uruguay

Aspectos Destacados de la Industria de Tecnologías de la Información en Uruguay

Rafael Sotelo ¹, Mariana Rizzi ²

Recibido: Junio 2020

Aceptado: Octubre 2021

Summary.- Uruguay has outstanding achievements in Information Technology (IT) Industry. For example, it is the country in Latin America with the highest USD export rate of IT per capita and integrates Digital 9, the international forum of the nine governments who lead in pioneering digital practices to improve citizens' lives. This short article analyzes aspects of the history, infrastructure data and key indicators of the IT industry in Uruguay. It also addresses the challenges that the IT ecosystem faces for the future.

Keywords: IT Ecosystem; IT indicators; IT in Latin America; e-government; industry status; industry challenges.

Resumen.- Uruguay tiene logros sobresalientes en la Industria de Tecnología de la Información (TI). Por ejemplo, es el país de América Latina con la mayor tasa de exportación de TI per cápita en USD e integra Digital 9, el foro internacional de los nueve gobiernos que lideran en prácticas digitales pioneras para mejorar la vida de los ciudadanos. Este breve artículo analiza aspectos de la historia, datos de infraestructura e indicadores clave de la industria de TI en Uruguay. También aborda los desafíos que enfrenta el ecosistema de TI para el futuro.

Palabras clave: Ecosistema de TI; Indicadores de TI; TI en América Latina; gobierno electrónico; estado de la industria; desafíos de la industria.

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, rsotelo@um.edu.uy,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4034-3177>

² Facultad de Ingeniería, Universidad de Montevideo, mrizzi@correo.um.edu.uy,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2502-727X>

1. Introduction. - Uruguay has traditionally been recognized as an exporter of goods mainly associated with agricultural and commodity production. However, in recent years the growth of the IT industry has been internationally highlighted. In 2017 and 2018 exports of informatics and telecommunications exceeded those of milk and rice. To accompany such development, several investments have been made in the sector and there are currently multiple offers to train in IT. Nevertheless, the sector still has a lot of potential to develop. To address this matter, business chambers together with government agencies have been working for several years to reinforce human resources in the sector and publicize the benefits and potential of the industry.

The objective of this short article is to analyze aspects of the history, infrastructure data and key indicators of the IT industry in Uruguay. The next section describes the status of Uruguay in the regional context. Section II describes aspects of the country's infrastructure. Section III presents the IT industry in numbers. Section IV outlines the impact in education and academia and section V concludes.

2. Status in regional context. - Uruguay population is 3.3 million people. It stands out for having a democracy and stable policies, as well as having an investment grade. These characteristics make it a reliable destination for companies that wish to conduct business in the country. Traditionally it has been an exporter of commodities produced from agriculture like beef, wool, derivatives of milk, soy and rice.

Nowadays, the country is internationally recognized regarding information technologies. The early introduction of Computer Science education decades ago, the quality of its human resources, the regulatory framework that favors the export of software services and the support of government agencies have been key factors for the development of the industry.

Uruguay is member of D9 (Digital 9) since 2018. D9 is a collaborative network of the world's leading digital governments that pursue the use of digital technology to improve citizens' lives. During 2019 Uruguay chairs the group, which is also composed of Estonia, Israel, New Zealand, the Republic of Korea, the United Kingdom, Canada, Mexico and Portugal [1].

Recently, Uruguay has been highlighted as the leading per capita exporter of software in Latin America, reaching USD 120 per capita³. By way of comparison, Uruguay neighbors Brazil⁴ and Argentina⁵ export USD 12 and USD 47 per person respectively.

In Latin America region, it also stands out as one of the countries with the highest average downloading and uploading speed, occupying the first position in mobile broadband download speed and exceeding the global average [6]. Table I and Table II show the figures of download and upload speed in Latin American countries in August 2018 based on information from Speedtest Global Index.

Fixed broadband, August 2018		
<i>Global Average Download: 66,52 Mbps</i>		
<i>Global Average Upload: 35,09 Mbps</i>		
Country:	Mbps Download	Mbps Upload
<i>Chile</i>	<i>85,05</i>	<i>19,17</i>
<i>Panama</i>	<i>76,09</i>	<i>13,50</i>
<i>Paraguay</i>	<i>58,83</i>	<i>9,51</i>

³ Own elaboration based on data from the Central Bank of Uruguay and the National Statistics Institute of Uruguay [2, 3].

⁴ Own elaboration based on data from the Central Bank of Brazil [4].

⁵ Own elaboration based on data from the National Institute of Statistics and Censuses of Argentina [5].

<i>Uruguay</i>	45,62	11,43
<i>Brazil</i>	42,47	21,23
<i>Dominican Republic</i>	34,58	9,28
<i>Mexico</i>	31,86	12,43
<i>Argentina</i>	31,15	6,95
<i>Peru</i>	28,65	5,28
<i>Costa Rica</i>	23,91	6,08
<i>Colombia</i>	23,28	12,58
<i>Ecuador</i>	18,62	16,33
<i>Bolivia</i>	12,48	5,82
<i>El Salvador</i>	11,89	4,87
<i>Guatemala</i>	11,75	5,80
<i>Nicaragua</i>	8,02	7,89
<i>Venezuela</i>	3,53	1,35

Source: Own elaboration based on data from Speedtest Global Index, <https://www.speedtest.net/global-index>

Table I. Fixed broadband download and upload of speeds in Latin American countries. Source own elaboration based on data from Speedtest Global Index.

Mobile, August 2018		
<i>Global Average Download: 28,02 Mbps</i>		
<i>Global Average Upload: 10,87 Mbps</i>		
Country:	Mbps Download	Mbps Upload
<i>Uruguay</i>	29,02	13,71
<i>Mexico</i>	25,79	12,42
<i>Peru</i>	23,47	14,00
<i>Dominican Republic</i>	23,07	9,80
<i>Brazil</i>	23,02	9,66
<i>Nicaragua</i>	22,75	11,94
<i>Argentina</i>	21,89	10,16
<i>Ecuador</i>	20,33	11,00
<i>Chile</i>	20,08	13,11
<i>Costa Rica</i>	18,83	8,21
<i>Colombia</i>	18,05	11,09
<i>Guatemala</i>	16,67	13,01
<i>Bolivia</i>	16,12	11,30
<i>Paraguay</i>	14,74	9,59

<i>Panama</i>	<i>12,30</i>	<i>10,36</i>
<i>El Salvador</i>	<i>10,30</i>	<i>5,70</i>
<i>Venezuela</i>	<i>7,07</i>	<i>4,34</i>

Source: Own elaboration based on data from Speedtest Global Index, <https://www.speedtest.net/global-index>

Table II. Mobile download and upload of speeds in Latin American countries. Source own elaboration based on data from Speedtest Global Index, <https://www.speedtest.net/global-index>

Some figures of the latest report from the ITU [7] are represented in Table III. The country has the highest percentage of homes with computers in the region. It also has a percentage of the population connected to 3G and to LTE above the average of the Americas and the World.

	2017		
	Uruguay	The Americas	World
<i>3G Coverage (% of population)</i>	<i>95,0</i>	<i>93,9</i>	<i>87,9</i>
<i>LTE/WiMAX coverage (% of population)</i>	<i>88,0</i>	<i>84,3</i>	<i>76,3</i>
<i>Individuals using the Internet (%)</i>	<i>68,3</i>	<i>67,5</i>	<i>48,6</i>
<i>Households with a computer (%)</i>	<i>70,9</i>	<i>64,8</i>	<i>47,1</i>
<i>Households with internet access (%)</i>	<i>64,0</i>	<i>68,3</i>	<i>54,7</i>

Source: Measuring the Information Society Report 2018, volume 1 & 2 - International Telecommunication Union

Table III. Telecommunication coverage comparison of Uruguay, the Americas and the World. Source Measuring the Information Society Report 2018, volume 1 & 2 – International Telecommunication Union (ITU)

Table IV and V show that Uruguay has a relatively cheap connectivity price compared to the rest of the world. These elements are explained by the universalization of broadband in the country through the implementation of optical fiber, which in turn offers greater speed.

Mobile broadband prices, prepaid handset-based (500 MB), 2017	
Country:	as % of GNI pc
<i>Uruguay</i>	<i>0,27</i>
<i>United States</i>	<i>0,45</i>
<i>Canada</i>	<i>0,49</i>
<i>Argentina</i>	<i>0,71</i>
<i>Costa Rica</i>	<i>0,84</i>
<i>Brazil</i>	<i>1,40</i>

Source: Measuring the Information Society Report 2018, volume 1 & 2 - International Telecommunication Union

Table IV. Mobile broadband prices in the Americas' countries, prepaid handset-based. Source Measuring the Information Society Report 2018, volume 1 & 2 – ITU

Mobile broadband prices, postpaid computer-based (1 GB), 2017	
Country:	as % of GNI pc
<i>Costa Rica</i>	<i>0,48</i>
<i>Uruguay</i>	<i>0,60</i>
<i>United States</i>	<i>0,67</i>
<i>Argentina</i>	<i>0,83</i>
<i>Canada</i>	<i>1,10</i>
<i>Brazil</i>	<i>4,82</i>

Source: Measuring the Information Society Report 2018, volume 1 & 2 - International Telecommunication Union

Table V. Mobile broadband prices in the Americas' countries, postpaid computer-based. Source Measuring the Information Society Report 2018, volume 1 & 2 – International Telecommunication Union

3. Infrastructure milestones. - In Uruguay, the main telecommunications operator is ANTEL (state-owned company). ANTEL has the monopoly over fixed lines for both voice and Internet, which are mainly delivered through Fiber to the Home (FTTH). Mobile services, either voice or broadband data are provided by ANTEL, and the two private and transnational operators Telefónica and Claro; their market share is 53%, 31% and 16% respectively.

In 1988, the first public packet switching network was developed with national technology. During the 1990s, ANTEL began operating cellular telephony and in 1995 the Internet access service for companies and homes via modem was inaugurated via the copper telephone line. In 1997 Uruguay became the first country in the Americas and the sixth in the world to have its entire digitalized telephone network. In 2000, ANTEL began offering Internet access through ADSL broadband services. In 2004, GSM mobile and EDGE services are added for wireless data transmission. In 2005, the Agency for Electronic Government and the Information and Knowledge Society (AGESIC) was created, whose purpose is to promote the information and knowledge society through the good use of Information and Communications Technologies (ICT). In 2010 begins the deployment of the Fiber optic To The Home (FTTH) national project, and in October 2011 the first home is connected. Since 2011 ANTEL has a national and international audiovisual signal distribution platform through FTTH and LTE. The transmission in 4K HDR of the World Cup Russia 2018 through this network stands out as a world class achievement [8, 9].

In 2014 the connectivity is improved through the connection to the Monet submarine cable that allows the direct connection of Uruguay with the United States [8, 9]. More recently, Uruguay has been distinguished as the first country in Latin America and the third in the world to offer 5G technology [10].

Uruguay was the first country in the world to deploy a One Laptop per Child (OLPC) plan nationwide since 2007. This initiative is called the Plan Ceibal. The ITU highlights that the implementation of the Plan Ceibal generated an increase in the number of households that have a computer [7]. However, because the percentage of households with an Internet connection remained low, some steps were implemented such as: ANTEL begins the "Universal Homes" project, allowing free access to the Internet and laying of optical fiber for 300 thousand homes and for all Primary and secondary schools in locations with more than 10,000 inhabitants. In 2017, the public Wi-Fi network associated with the Plan Ceibal was reformulated so that no child had to move more than 300 meters to connect to the internet. As a result of these policies, the Internet connection gap between lower-income and higher-income households was significantly reduced. As of 2015, a similar plan is implemented, the Plan Ibirapitá, which distributes one Tablet per senior. Its goal is to promote digital inclusion in the elderly.

The National Agency for Research and Innovation (ANII) is a government entity that promotes

research and application of new knowledge to the productive and social reality of the country. It has been a key player by making available funds for research projects, postgraduate scholarships and incentive programs for entrepreneurship. [11]

4. Figures of IT industry. - The ICT industry in Uruguay is characterized by great dynamism and growth, and the country has a focus on technology. The latter is reflected in infrastructure investments through state-owned ANTEL, in high-quality university education, and in the export tax benefits of these services. In relation to the latter, the legal scenario guarantees the exemption in the payment of Value Added Tax (VAT) for exports of software and computer services, and the exemption to the payment of Income Tax to the production of software when certain requirements are met [12].

According to data from the Uruguayan Chamber of Information Technology (CUTI), the IT sector increased its turnover by 6% in 2018 reaching USD 1,687 million, in relation to the same period of 2017, this being the highest figure in history. On the other hand, sales to the rest of the world grew by 12.7%. Sales to the domestic market, where the state-owned company ANTEL has an important weight, increased 1.3% in the same period. In this sense, it is evident that companies turn to the external market since they can obtain better prices for the services provided [13, 29]. In 2016, the turnover of the sector represented 2.2% of the Gross Domestic Product (GDP) [14], while in 2017 this ratio amounted to 2.5%⁶ [15]. By comparison, the beef manufacturing industry accounted for 1.7% of GDP and 1.5% respectively⁷. This is outstanding, since agricultural product, and particularly beef, have traditionally been the main products of Uruguay.

When evaluating the evolution of the sector in relation to the traditional export items of Uruguay, we can verify its growth and note that, in 2017 and 2018, it exceeded milk exports and those of rice [2, 16]. The main figures of exports of Uruguay during the last years are depicted in Table VI.

	Exports of Good & Services in million of USD			
	2015	2016	2017	2018
<i>Beef</i>	1.419	1.432	1.505	1.627
<i>Raw wood</i>	572	591	706	746
<i>Soy</i>	1.122	873	1.188	526
<i>Milk</i>	374	375	384	470
<i>Rice</i>	360	432	446	398
<i>Informatic and Telecommunications</i>	310	364	465	517

Source: Own elaboration based on data from Uruguay XXI and Central Bank of Uruguay.

Table VI. Export figures of Uruguay by category, 2015 to 2018. Source own elaboration based on data from Uruguay XXI and Central Bank of Uruguay

⁶ Own elaboration based on data from the Central Bank of Uruguay [2] and Uruguayan Chamber of Information Technology (CUTI) [13].

⁷ Own elaboration based on data from the Central Bank of Uruguay [2].

As for the destination, 65.9% of exports are to the United States, and since 2014 sales to this country have been growing significantly. Although this data is auspicious given that the North American market is very wide, the concentration leaves Uruguay vulnerable to regulatory changes in that country. The second most important destination is the neighbor country Argentina, with a 5.1% share [13].

Figure I resume the dramatic growth of exports belonging to IT sector in the period 2003-2018.

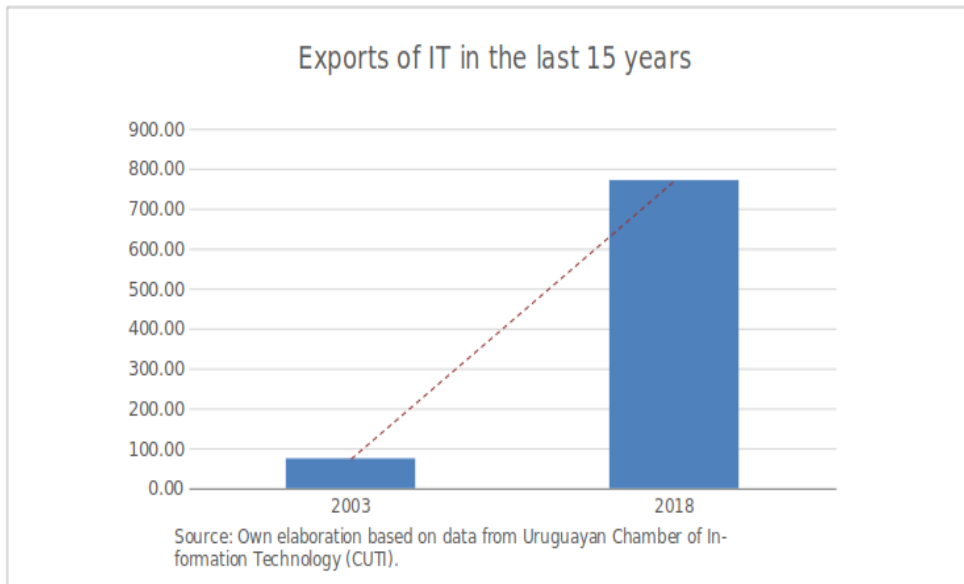


Figure I. Evolution of exportation of IT industry in Uruguay 2003 to 2018 in millions of USD. Source: own elaboration based on data from Uruguayan Chamber Of Information Technology (CUTI).

On the other hand, in relation to employment, the sector hires approximately 25,000 people. One of the main obstacles that companies face is that the number of human resources would not be keeping pace with the growth rate of the sector. Because of this, several companies are stopping engaging with some projects because they do not have the professionals to carry them out. On the other hand, this fact has fostered collaboration between different companies that have associated between them to carry out large-scale international projects.

The lack of enough qualified specialists explains that the salary levels are 30% above average in the country. Employers offer benefits to capture and retain talents [13]. Figures II to V present some data from a report by the consultant company Adecco for 2018 [17]. According to it, in Uruguay and Buenos Aires - CABA (the capital city of Argentina, the Uruguayan closest neighbor), the Programming Analysts would be earning, on average, approximately 20% more than the Accounting Analysts and Administration and Sales Analysts. Meanwhile, in Uruguay, within the leadership positions, those associated with technology and telecommunications such as a Systems Development Department have a remuneration 19% higher than headquarters associated with administration and finance. However, in Buenos Aires - CABA the latter would not be the case, given that a Chief Financial Officer would have a remuneration very similar to a Chief of Systems Development. Besides, positions in the IT sector, either analyst or head of department are better paid in Uruguay than in Argentina.

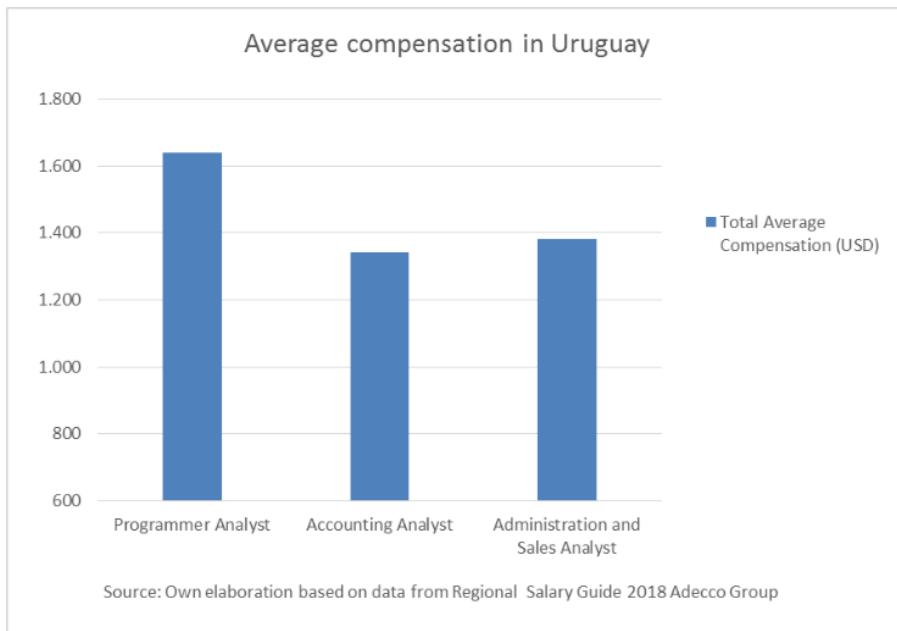


Figure II. Average Compensation in Uruguay for analysts in different sectors. Source own elaboration based on data from Regional Salary Guide 2018 Adecco Group

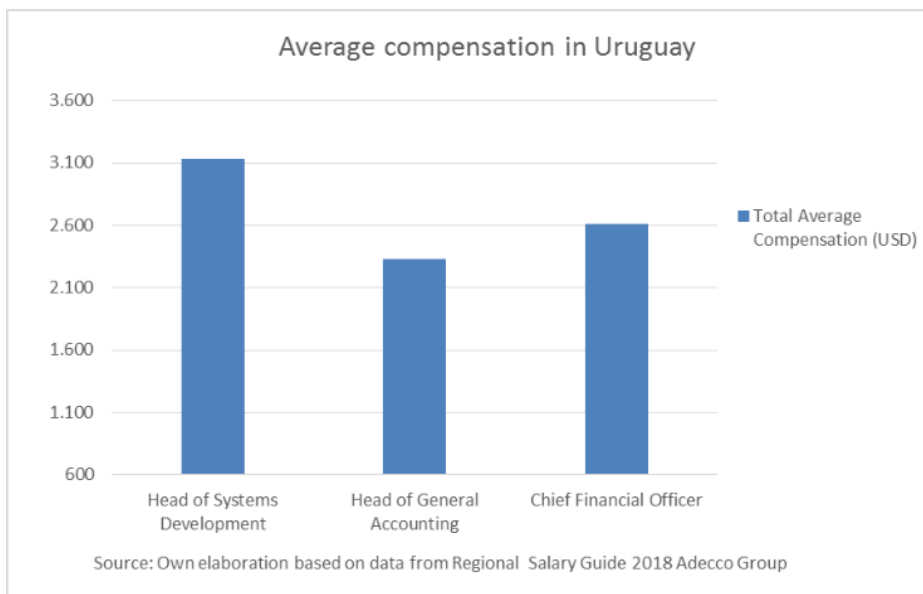


Figure III. Average Compensation in Uruguay for head of department in different sectors. Source own elaboration based on data from Regional Salary Guide 2018 Adecco Group

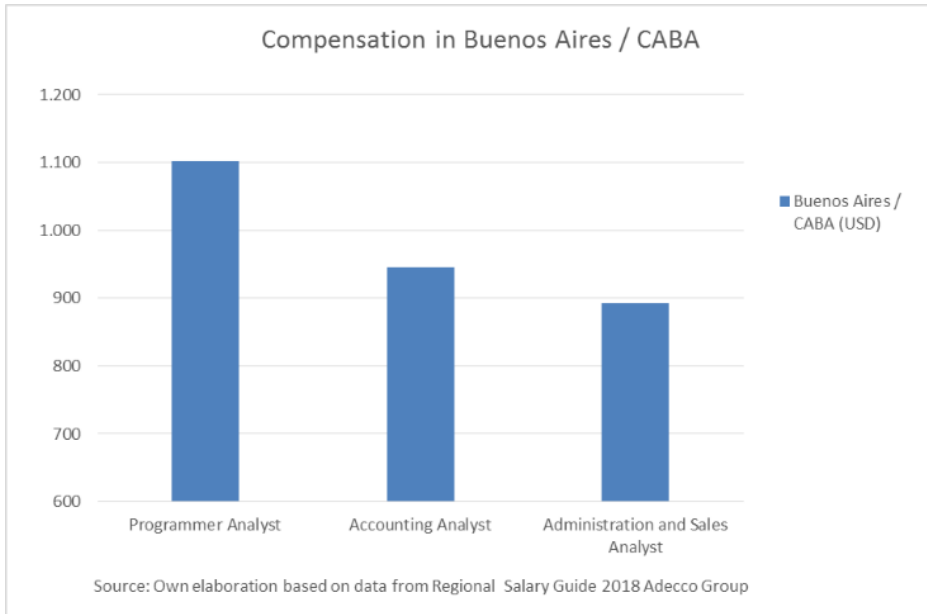


Figure IV. Average Compensation in Buenos Aires (Argentina) for analysts in different sectors. Source own elaboration based on data from Regional Salary Guide 2018 Adecco Group

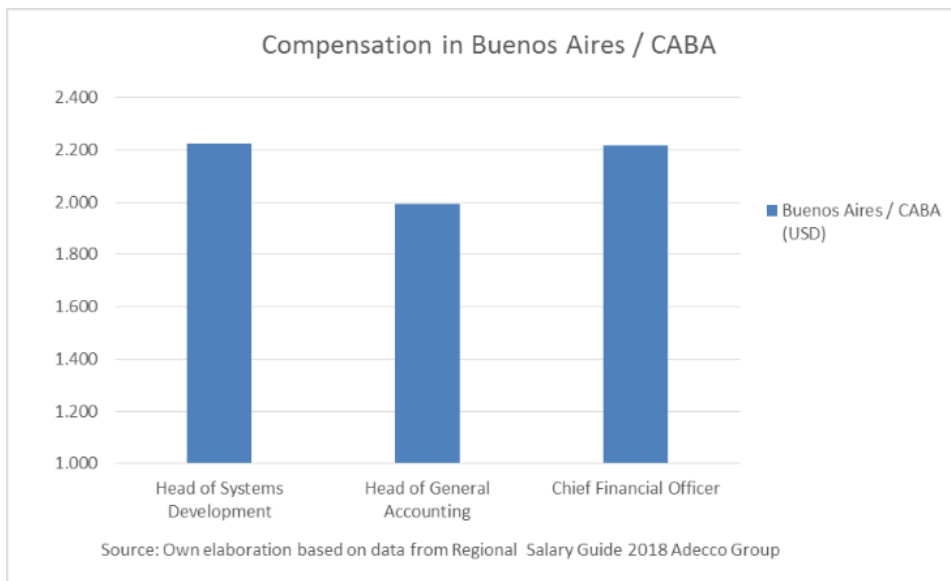


Figure V. Average Compensation in Buenos Aires (Argentina) for head of department in different sectors. Source own elaboration based on data from Regional Salary Guide 2018 Adecco Group

5. Academia and Education.- The beginning of university careers associated with computer science was very early, compared to other Latin American countries. In the '60s the School of Engineering of Universidad de la República began its courses in information technology careers [18]. Today, Uruguay has one public and four private universities, and two public technological universities. Research is made at these universities by researchers that are included in a national registry managed by ANII (National System of Researchers, SNI). Academics in the field of IT have frequent collaboration at national and international level. ANII provides competitive funds for research projects as well as co-founds projects in which academia collaborates with industry fostering innovation.

There are several offers to train in information technologies, and there is an increase in the entrance to technical and degree careers [19, 20, 21]. In 2017, incomers to IT courses increased by 4.4% in relation to 2016, at universities and 9.9% in technical careers. Women preferred degree careers, while men further increased the entrance into technical careers. As for the exits, a decrease of 2.1% was observed in the degree courses, while in the technical courses there was an increase of 27.9%, both with respect to the previous year. Table VII and VIII show the number of students in 2017 and 2016; it can be noted that number of women is inferior to that of men.

2017									
	Entry			Enrolled			Exit		
	W	M	T	W	M	T	W	M	T
Degree Courses	303	1.261	1.564	1.010	3.105	4.115	97	378	475
Technical Careers	183	746	929	514	2.134	2.648	78	280	358

Table VII. Number of students enrolling and graduating in IT careers and total population in 2017, separated by women (W), men (M) and total (T). Source own elaboration based on data from Statistical yearbook 2017 – Ministry of Education and Culture

2016									
	Entry			Enrolled			Exit		
	W	M	T	W	M	T	W	M	T
Degree Courses	298	1.200	1.498	966	3.289	4.255	118	367	485
Technical Careers	186	659	845	460	1.991	2.451	49	231	280

Table VIII. Number of students enrolling and graduating in IT careers and total population in 2016, separated by women (W), men (M) and total (T). Source own elaboration based on data from Statistical yearbook 2016 – Ministry of Education and Culture

An additional concern is the high desertion in Engineering careers. As shown in Figure VI, between 2001 and 2017, the number of incoming students to study in Computer Engineering or Computer Science increased by 360 but the number of graduates increased only by 115 in 2017.

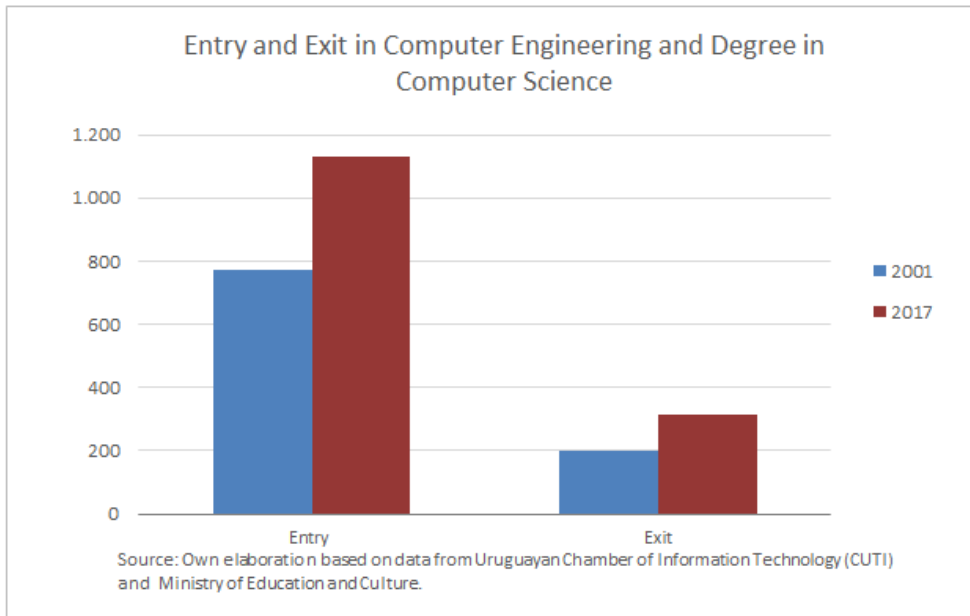


Figure VI. Number of incoming and outgoing students to IT related careers in 2001 and 2017. Source own elaboration based on data from Uruguayan Chamber of Information Technology (CUTI) and Ministry of Education and Culture

In addition to the careers offered by public and private universities, there are the following programs:

- Young people to Program: It started in 2017 and there are already 1,400 graduates of the first two editions. The 2019 edition opened only for women. The duration of the program is 8 - 9 months. It is present on most of the country [22].
- B_IT: It is an online free training program that offers the title of IT Analyst. It started in 2018. It has a duration of two years. In the 2019 edition 1,000 scholarships were offered [23].
- Ánima: It started in 2016. It is a proposal of technological baccalaureate that combines study with work experience. It offers two orientations: Administration and Information and Communication Technologies. Students carry out paid internships 12 hours a week in some of the 21 companies that participate in the project. 62% of first-generation students who have already graduated were hired by companies in the sector [24].

Another problem that exists is that most of the IT industry and the general population is concentrated in Montevideo, the capital city. A project that aims to encourage technology companies to settle in the rest of the country is the so-called Jacarandá Project. The idea is to promote work teams in other minor cities to encourage students from other regions to train in IT so they do not need to travel to Montevideo to work [25].

Among the main obstacles - which once saved will represent great opportunities - are: as already mentioned, the low availability of trained professionals that does not accompany the growth of the sector, the absence of a financial market that favors risk capital, the high level of local and international competition given that it is a sector that competes with foreign companies, and the high turnover of technicians, which is associated with the limited availability of professionals [13,15].

In recent years, the service sector has been characterized as one of the most dynamic globally. In particular, services related to technologies are becoming more important in relation to more traditional services such as tourism and transport [26, 27], and Uruguay has followed this worldwide process. In particular, the Uruguayan ICT industry is recognized internationally and has proven to have an entrepreneurial culture although it is still a sector that has a lot of potential to develop. In this sense, business chambers together with government agencies have been working for several years to reinforce the quality levels of human resources in the sector and publicize the benefits offered by the country and the potential of the industry internationally.

There are incentives for international companies to establish in Uruguayan free trade zones to provide IT services worldwide. This has led to success cases in the field of Business Process Outsourcing (BPO), Knowledge Process Outsourcing (KPO) and Information Technology Outsourcing (ITO). Governmental Agency Uruguay XXI encourages foreign investment in the area and facilitates responses to inquiries about potential investments [28].

In Uruguay, access to risk capitals is not usual, this has meant a limitation for some entrepreneurs.

6. Conclusion. - In this short article, we have reviewed the current state of the IT industry in Uruguay, the salient features of its numbers and the infrastructure that makes it possible.

The main elements to highlight are:

- There have been several investments in infrastructure to promote the sector and helped its development. Governmental agencies encourage investments in the area and provide information to foreign companies considering locating in Uruguay.
- There is a growth in the number of professionals in the area, which is explained by the improvement of the ratio of exit – entry to technology careers, the increase in enrollment and the “import” of human resources from abroad. Also worth noting is the increase of entry of woman to technology careers. All these elements help to fill the gap that exists between the demand and the labor supply of the sector, although it is not yet sufficient.
- Services related to technologies are becoming more important in relation to the more traditional ones. In the last few years, the service sector has been one of the most dynamic globally and Uruguay was not the exception. We have seen that in recent years the sector's exports have been growing at significant rates and have even surpassed other products already consolidated in the Uruguayan export market.

7. References

- [1] Leading Digital Governments. Available: <https://leadingdigitalgovs.org> Last accessed October 11, 2019
- [2] Central Bank of Uruguay. Available: <https://www.bcu.gub.uy/Estadisticas-e-Indicadores/Paginas/Balanza-MBP-6.aspx> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [3] National Statistics Institute, Uruguay. Available: <http://www.ine.gub.uy/web/guest/estimaciones-y-proyecciones> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [4] Central Bank of Brazil. Available: <https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries> (In Portuguese) Last accessed October 11, 2019
- [5] National Institute of Statistics and Censuses, Argentina. Available: <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-Tema-3-35-45> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [6] Economic Commission for Latin America and the Caribbean, August 2016. The new digital revolution: from the Internet of consumption to the Internet of production. Available: <https://www.cepal.org/en/publications/38767-new-digital-revolution-consumer-internet-industrial-internet> Last accessed October 11, 2019
- [7] International Telecommunication Union (ITU), 2018. Measuring the Information Society Report, volume 1 and volume 2. Available: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/misr2018.aspx> Last accessed October 11, 2019
- [8] National Telecommunications Administration (ANTEL). Historic Review. Available: <http://www.antel.com.uy/institucional/nuestra-empresa/resena-historica> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [9] Catholic University of Uruguay, Competitiveness Institute, School of Business Sciences, 2015. The ICT Industry in Uruguay: Analysis of Competitiveness and Clustering Possibilities. Available: https://ucu.edu.uy/sites/default/files/facultad/fce/i_competitividad/La_Industria_de_las_TIC_en_Uruguay%202015_InstitutodeCompetitividad_UCU.pdf (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [10] NOKIA website: “ANTEL and Nokia make the first 5G call on a commercial network in Latin America”. Available: <https://www.nokia.com/about-us/news/releases/2019/04/10/antel-and-nokia-make-the-first-5g-call-on-a-commercial-network-in-latin-america/> Last accessed October 11, 2019
- [11] National Agency for Research and Innovation (ANII). Available: <https://www.anii.org.uy/institucional/acerca-de-anii/#/acerca-de-anii> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [12] DCA Professional Services, 28 February 2019. Tax modifications for the Software activity in Uruguay. Available: <https://www.dca.com.uy/wp-content/uploads/2019/02/Modificaciones-impositivas-para-la-actividad-de-Software-en-Uruguay.pdf> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [13] Radio Broadcasting ‘En Perspectiva’, 27 September 2018. Interview to the President of CUTI. Available: <https://www.enperspectiva.net/home/ano-record-las-tecnologias-la-informacion-facturacion-del-sector-aumento-26-2017-crecimiento-extraordinario-segun-leonardo-loureiro-cuti/> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [14] Uruguayan Chamber of Information Technology (CUTI). Revenue from the ICT sector accounted for 2.2% of GDP in 2016 and exports grew 10%. Available: <https://www.cuti.org.uy/novedades/662-ingresos-del-sector-de-las-tic-represento-2-2-del-pib-en-2016-y-exportaciones-crecieron-10> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019

- [15] Radio Broadcasting 'FM del Sol', 17 July 2019. Interview to the President of CUTI. Available: <https://delsol.uy/facildesviarse/entrevista/de-quien-es-el-exito-de-la-industria-del-software-uruguayo> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [16] Uruguay XXI. Exports by items 2001-2018. Available: <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/exportaciones-por-partidas/> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [17] The Adecco Group, 2018. Regional Salary Guide Argentina – Uruguay 2018.
- [18] Uruguay XXI, August 2014. The ICT industry in Uruguay. https://www.smarttalent.uy/innovaportal/file/862/1/la_industria_tic_en_uruguay.pdf (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [19] Ministry of Education and Culture. Statistic yearbook 2017. <https://www.mec.gub.uy/mecweb/mec2017/container.jsp?contentid=927&site=5&channel=mec&3colid=927> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [20] Ministry of Education and Culture. Statistic yearbook 2016. Available: <https://www.mec.gub.uy/mecweb/mec2017/container.jsp?contentid=927&site=5&channel=mec&3colid=927> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [21] Uruguayan Chamber of Information Technology (CUTI), May 2018. Academic Training in ICT, Report 2017. Available: https://www.cuti.org.uy/public/documentoscuti/Informe%202017%20Formacion%20Academica%20en%20TIC_Cuti.pdf (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [22] Youth to Program. <https://jovenesaprogramar.edu.uy/> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [23] B_IT Program. <http://bit.cuti.org.uy/> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [24] *Ánima*. Available: <https://anima.edu.uy/nuestra-propuesta/> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [25] *Jacarandá* Project. Available: <https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/industria-tecnologia-cuti-loureiro-cosse-descentralizacion-interior> (In Spanish) Last accessed October 11, 2019
- [26] United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), 28 May 2019. International Trade in Services 2018. Available: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/gdsdsimisc2019d9_en.pdf Last accessed October 11, 2019
- [27] Uruguay XXI, February 2017. Global Export Services in Uruguay. Available: <https://www.uruguayxxi.gub.uy/uploads/informacion/Global-Export-Services-Uruguay-XXI-February-2017-7.pdf> Last accessed October 11, 2019
- [28] National Agency Uruguay XXI. Available: <https://www.uruguayxxi.gub.uy/en/invest/sectors/global-services-2/it-industry/> Last accessed October 11, 2019
- [29] *El País* Newspaper. Available: <https://www.elpais.com.uy/negocios/noticias/sector-tecnologia-alcanzo-facturacion-record-aspira-peso-mayor-pib.html> Last accessed September 12, 2021

Simulación termofluidodinámica en un molde de colada continua de acero

Thermofluidodynamic simulation in a steel continuous casting mold

Yordy González-Rondón¹, José Eduardo Rengel², Johnny J. Martínez³

Recibido: Enero 2021

Aceptado: Agosto 2021

Resumen.- En el presente estudio se resolvió, usando el método de los volúmenes finitos, un modelo matemático multifísico en 3D para predecir los fenómenos de flujo de fluidos y transferencia de calor en un molde de colada continua de palanquillas de acero 20CrMnTi. Los resultados mostraron la alta capacidad de enfriamiento del sistema para la formación de una capa sólida progresiva y uniforme que inicia muy cerca del menisco y alcanza a la salida del molde un espesor del 10 % de la sección de la pieza colada. A la salida de la boquilla de entrada sumergida (SEN) el acero experimentó un reflujo con una profundidad de 0,45 m medida desde el menisco. Parte del reflujo en ascenso llegó al menisco y descendió infiltrándose por las paredes del molde. Se observaron velocidades menores a 0,2 m/s en la zona superior del molde y gran penetración del chorro de acero en el centro del molde. Se concluyó, con base en lo descrito en la literatura, lo siguiente: a) El espesor de la costra solidificada, a la salida del molde, es suficiente para evitar roturas en la pieza debido a la presión ferrostática que ejerce el acero líquido, b) Las velocidades en el área del menisco generan baja turbulencia, lo que evita que se produzca atrapamiento de escoria en el acero líquido, c) Las condiciones fluidodinámicas que se presentan en la zona superior del molde, pueden ser contraproducentes para la transferencia de calor en el menisco y la disipación del sobrecalentamiento en el acero.

Palabras clave: Molde de Colada Continua, Acero, Solidificación, Termofluidodinámica

Summary.- *In the present study, a 3D multiphysics mathematical model was solved using the finite volumes method to predict the phenomena of fluid flow and heat transfer in a continuous casting mold of 20CrMnTi steel billets. The results showed the high cooling capacity of the system for the formation of a progressive and uniform solid layer that begins very close to the meniscus and reaches a thickness of 10 % of the section of the casting at the exit of the mold. At the exit of the SEN, the liquid steel underwent a reflux with a depth of 0.45 m measured from the meniscus. Some of the rising reflux reached the meniscus and descended, infiltrating the walls of the mold. Velocities less than 0.2 m/s, in the upper zone of the mold, and great penetration of the steel jet, in the center of the mold, were observed. It was concluded, based on what is described in the literature, the following: a) the thickness of the solidified crust, at the exit of the mold, is sufficient to avoid breakage in the piece due to the ferrostatic pressure exerted by the liquid steel, c) The fluid dynamic conditions that occur in the upper zone of the mold can be counterproductive for the transfer of heat in the meniscus and the dissipation of overheating in the steel.*

Keywords: *Continuous Casting Mold, Steel, Solidification, Thermofluidodynamic*

¹ Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente (Venezuela), yordygonzalez@hotmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4769-7568>

² Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente (Venezuela), Rengel66@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4510-8846>

³ Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente (Venezuela), johnnymartinr@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8901-9303>

1. Introducción. - La colada continua es el método más importante de producción de acero a nivel mundial, y consiste en hacer que el metal fluya a través de una boquilla de entrada sumergida (SEN) hacia un molde sin fondo refrigerado por agua [1 y 2]. Debido al gradiente de temperatura el acero líquido comienza a solidificar, experimentando la formación de una costra que tiende a adherirse al molde, pero esto se evita con movimientos oscilatorios y con el agregado de polvos de fundición, que se introducen por la parte superior del molde. La costra de acero solidificada alcanza a la salida del molde un espesor de 12 a 25 mm [3 y 4]. En este sentido, el molde tiene como objetivo principal extraer calor del acero líquido en un tiempo muy corto [5 y 6], para lograr que la costra formada resista la presión ferrostática que ejerce el acero líquido sobre ella. Todo este proceso ocurre en un ambiente de complejidades, en primer lugar porque el acero experimenta al mismo tiempo transmisión de calor, flujo de fluidos y transformación de fase [7 y 8]; y en segundo lugar porque se crea una interdependencia entre las variables que participan en el sistema, por ejemplo, si aumenta la velocidad de colada se afecta la infiltración de escoria y ésta a la vez condiciona la lubricación y la transferencia de calor entre la costra sólida y el molde, además aumenta la turbulencia en el flujo de acero líquido causando una distorsión en la región donde el flujo de acero impacta con la costra solidificada [9].

La dinámica de lo que ocurre en el interior de un molde es característico para cada configuración de la SEN – molde y condiciones de operación en el momento de la colada. Esto significa que no es posible crear un modelo general del comportamiento termofluidodinámico del sistema. Además, para un sistema específico en donde las condiciones de operación varían con el tiempo, tampoco es posible hacer generalidades. Debido a estas dificultades recientemente se han hecho esfuerzos por comprender lo que ocurre en el interior de un molde de colada continua. Tkadlečková et al. [10], realizaron un modelado numérico de la solidificación de productos redondos mediante la colada continua de acero inoxidable, para observar el campo de temperatura, la longitud metalúrgica y el grosor de la capa al final del molde. Jiang et al. [11], simulaban la solidificación del acero y observaron que una parte del acero líquido que salía de la buza se regresaba hacia el menisco e impactaba directamente en la interfaz de la escoria de acero, y la otra parte se movía hacia abajo del frente de solidificación formando un par de vórtices, que a medida que se extraía el calor latente del molde, la costra solidificada crecía gradualmente y la temperatura del líquido disminuía con el flujo de fluidos. Long et al. [12], desarrollaron un modelo híbrido 3D/2D para investigar los fenómenos de flujo de fluidos y solidificación durante la colada continua y concluyeron que el efecto de impacto causado por el chorro de acero fundido en la formación de la costra de solidificación era significativo. Zhang et al. [13], desarrollaron un modelo acoplado de flujo de fluidos, transferencia de calor y solidificación mediante el software ANSYS Fluent, en los resultados observaron que el acero líquido fluía en el molde creando recirculaciones tanto en la parte inferior como en la superior muy cerca del menisco, además determinaron que la escoria líquida aprovecha la oscilación del molde para infiltrarse por un espacio entre el molde y la costra solidificada. Saldaña et al. [14], analizaron la profundidad de inmersión de la boquilla de entrada sumergida en las oscilaciones del menisco y determinaron que a medida que aumentaba la profundidad de inmersión de la SEN, había una disminución en la intensidad y la velocidad del flujo dirigida hacia la superficie libre y que era posible encontrar un intervalo de funcionamiento adecuado para la profundidad de inmersión de la buza. Ni et al. [15], en su análisis sobre la profundidad de la SEN dedujeron que un aumento en la profundidad de inmersión disminuye la velocidad interfacial y esto reduce el riesgo de arrastre de escoria, además la temperatura próxima al área del menisco disminuye ligeramente. Zhang et al. [16], desarrollaron un modelo matemático multifísico 3D mediante el software comercial ANSYS Fluent y mostraron el comportamiento de las líneas de flujo, la formación de la costra de acero y los perfiles de velocidad para el sistema molde – SEN con y sin acoplamiento magnético. Trindade et al. [17], determinaron mediante simulaciones numéricas que la costra que se generaba en la parte superior del molde cerca del centro del agitador magnético era muy delgada y que en el centro de la palanquilla donde no influía

el agitador la costra era más gruesa. Sun et al. [18], publicaron que al combinar un sistema de agitación electromagnética (EMS) con frenado electromagnético (EMBR) era posible cambiar el patrón de flujo, la uniformidad, la actividad del acero fundido en la región superior del molde y la profundidad de penetración de las inclusiones en un molde. Yan et al. [19], mediante simulaciones numérica revelaron que luego que la escoria líquida se infiltraba por el menisco durante el ascenso del molde, una gran cantidad de esta escoria se regresaba al reservorio de escoria cuando el molde descendía (en la mitad del período de la tira negativa), además que el crecimiento de la costra era más predominantemente en el período que el molde descendía y menos predominante cuando el molde ascendía.

Si bien se ha avanzado en el desarrollo de modelos matemáticos, experimentación en prototipos a escala y prácticas en plantas industriales, aún falta mucho por investigar, para comprender con precisión todos los fenómenos que ocurren en las distintas configuraciones del proceso de colada continua de acero, un ejemplo de éstos, es el efecto que tiene, en el molde de palanquillas, el flujo de fluidos y la transferencia de calor sobre la formación de ciertos defectos que van en detrimento de la calidad del acero. Por tal razón, en este estudio se desarrolla un modelo matemático multifísico 3D de un molde de colada continua de acero mediante el software ANSYS Fluent, para simular el comportamiento transitorio de transferencia de calor y flujo de fluidos en un molde de palanquillas y buza sumergida circular con un solo orificio. El modelo computacional desarrollado se valida con el método analítico y el resultado del comportamiento de la costra solidificada de acero formada en el molde, se compara con aquel publicado por Zhang et al. [16]. En el análisis de los resultados, se presta especial atención en comprender los perfiles de temperatura y velocidad del acero en el molde, así como las líneas de flujo y vectores de velocidad. Los resultados aquí reportados, serán de gran utilidad para que, en trabajos posteriores, se avance en condiciones termofluidodinámicas que conlleven a un producto de altísima calidad.

2. Materiales y métodos. -

2.1 Suposiciones básicas. - Las suposiciones se deben especialmente a la complejidad del sistema, dado que ocurren simultáneamente varios fenómenos que hacen que los recursos computacionales sean limitados. De manera que las siguientes condiciones se asumieron para simplificar el modelo numérico y hacerlo computacionalmente más eficiente:

- Se trató el acero fundido como un fluido newtoniano incompresible con parámetros termofísicos constantes, como la densidad, la viscosidad, la conductividad térmica y el calor específico.
- No se consideró la influencia de la conicidad y la oscilación del molde.
- La superficie libre del acero en el molde fue plana y adiabática.
- Las paredes del molde se consideraron estacionarias y a la costra solidificada se le especificó una velocidad igual a la velocidad de colada.
- Las condiciones de velocidad a la entrada y salida del molde se aplicaron para mantener la velocidad de flujo en el molde.
- El sistema SEN – molde representó un proceso convencional de colada continua vertical de molde recto.

2.2 Modelo de flujo de fluidos. - Las ecuaciones de continuidad y de Navier-Stokes de conservación del momento transitorio se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g} + S \quad (2)$$

donde, ρ es la densidad, \vec{v} es la velocidad del fluido, p es la presión estática, μ es la viscosidad efectiva y μ es la suma de la viscosidad dinámica (μ) y la viscosidad turbulenta (μ_t). Para la solidificación, se utilizó la técnica de entalpía-porosidad donde la zona blanda se trató como un medio pseudoporoso y la porosidad en cada celda fue igual a la fracción líquida en esa celda. La porosidad del medio poroso indica el contenido líquido en sólido o líquido dispersado a través de las dendritas sólidas.

Cuando la porosidad de la celda es igual a cero, la celda es tratada como completamente solidificada y la velocidad en esta zona se extingue ya que no hay líquido. Para tener en cuenta la presencia de material sólido y mover la zona solidificada en la dirección de la colada, el término fuente "S" se agregó al lado derecho de la ecuación de Navier-Stokes. Esto mueve el material recién solidificado a una velocidad de tracción constante, la cual se estableció para que fuese igual a la velocidad de colada. El término fuente se expresa como:

$$S = \frac{(1 - \beta)^2}{(\beta^3 + \xi)} A_{mush} (\vec{v} - \vec{v}_p) \quad (3)$$

donde, β es la fracción líquida, ξ es una pequeña constante positiva que se proporciona en el denominador para evitar la división entre cero (0,001) y A_{mush} denota la zona blanda constante y está influenciada por la morfología del grano en el frente de solidificación. El valor de la constante de la zona blanda se considera entre 10^4 y 10^8 . En el término fuente "S", se usa la velocidad relativa entre el líquido fundido y el sólido (\vec{v}_p) en lugar de la velocidad absoluta del líquido.

Para considerar los efectos de la turbulencia en el flujo de fluidos del molde, autores [20 y 21] han informado que el modelo de turbulencia k - ε realizable es el más adecuado para el modelado de solidificación. Este modelo de turbulencia k - ε realizable evita la singularidad para un valor bajo de turbulencia [21 y 22], que se puede encontrar en la zona blanda. Las ecuaciones diferenciales parciales para la energía cinética turbulenta (k) y la tasa de disipación (ε) están dadas por:

$$\rho \frac{\partial k}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k \vec{v}) = \nabla \cdot [(\mu_l + \alpha_k \mu_t) \nabla k] + G + \rho \varepsilon + S_k \quad (4)$$

$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \varepsilon \vec{v}) = \nabla \cdot [(\mu_l + \alpha_\varepsilon \mu_t) \nabla \varepsilon] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{u\varepsilon}} + S_\varepsilon \quad (5)$$

donde, α_k y α_ε son los números de Prandtl efectivos inversos, $C_{1\varepsilon} = 1.44$ y $C_{2\varepsilon} = 1.92$ [23 y 24] son los parámetros del modelo, G es la generación de la energía cinética de turbulencia debido al gradiente de velocidad media. Los términos fuente S_k y S_ε se agregan a las ecuaciones de turbulencia cinética y disipación, en las zonas blanda y solidificada para dar cuenta de la presencia de materia sólida, y se pueden expresar de la siguiente manera:

$$S_\emptyset = \frac{(1 - \beta)^2}{(\beta^3 + \xi)} A_{mush} \emptyset \quad (6)$$

donde, \emptyset es la cantidad de turbulencia, que resuelve (k, ε).

2.3 Modelo de solidificación. - La entalpía del material se calculó como la suma de la entalpía sensible, h , y el calor latente, ΔH :

$$H = h + \Delta H \quad (7)$$

siendo;

$$h = h_{ref} + \int_{T_{ref}}^T c_p dT \quad (8)$$

donde, h_{ref} es la entalpía de referencia, T_{ref} es la temperatura de referencia, c_p es el calor específico a presión constante.

La fracción líquida β se puede definir como:

$$\beta = \begin{cases} \beta = 0 & \text{si } T \leq T_{solidus} \\ \beta = \frac{T - T_{solidus}}{T_{liquidus} - T_{solidus}} & \text{si } T_{solidus} < T_{liquidus} \\ \beta = 1 & \text{si } T \geq T_{liquidus} \end{cases} \quad (9)$$

El contenido de calor latente ahora se puede escribir en términos del calor latente del material, L , de la siguiente manera:

$$\Delta H = \beta L \quad (10)$$

El contenido de calor latente puede variar entre cero (para un sólido) y 1 (para un líquido). La ecuación de la conservación de la energía es dada por:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) + \nabla \cdot (\rho v H) = \nabla \cdot (\alpha \nabla T) + S \quad (11)$$

donde, H es la entalpía, ρ es la densidad, v es la velocidad del fluido, α es la conductividad térmica y S es el término fuente.

2.4 Modelo geométrico y mallado. - Para calcular numéricamente el comportamiento de la transferencia de calor y el flujo de fluidos en el molde de la colada continua se construyó un modelo numérico del molde de palanquillas mediante el programa ANSYS Fluent. La figura I muestra el diseño del modelo computacional en 3D, formado por la SEN y el molde de sección transversal 0,16 x 0,16 m y longitud de 0,8 m. La profundidad de la buza sumergida o longitud de inmersión fue de 0,1 m y los diámetros interno y externo fueron 0,033 m y 0,09 m, respectivamente. Para simular el comportamiento de la costra solidificada con mayor precisión, se realizó un refinamiento local de la malla con un número de nodos de 654.956 y 642.447 elementos. En la evaluación de la malla, se obtuvo que la calidad ortogonal fue de 0,52618 encontrándose por encima del límite inferior (0,20), la máxima oblicuidad fue 0,68916 valor inferior a 0,8 para calificarse como buena, la relación de aspecto fue de 18,383 y está dentro del intervalo 10 – 100 donde se considera aceptable, y para la calidad de mallado por metodo de elemento el máximo número fue de 0,90427 siendo un valor muy cerca de 1 para considerarse como buena. El método de solución del acoplamiento de presión – velocidad, se basó en el algoritmo SIMPLEC [13, 16] y el paso del tiempo fue constante en cada iteración (0,001). El tiempo de simulación fue de 196 horas en un computador Core i7 de ocho núcleos y 16 GB de memoria Ram. Los criterios de convergencia de la simulación se establecieron con los residuos de todas las variables dependientes en 1×10^{-6} en cada paso de tiempo.

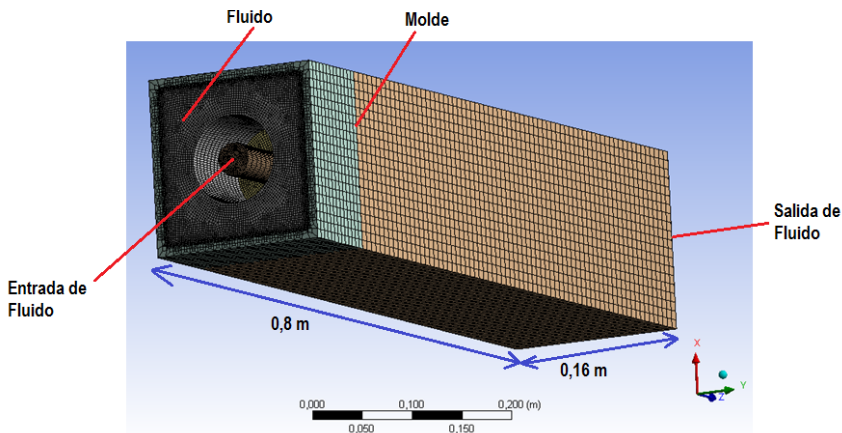


Figura I. Modelo geométrico y mallado de la palanquilla

2.5 Condiciones de simulación. - El método de la colada continua de acero que se presenta en este trabajo es vertical. La entrada fue definida en la parte superior de la buza, allí la velocidad se calculó mediante la conservación de la masa del sistema buza – molde, y la temperatura esta representada por la sumatoria de la temperatura de liquidus más el sobrecalentamiento. La salida se fijó en la parte inferior del molde y la condición de borde en esta zona fue caracterizada como outflow. Se consideró que la costra solidificada se movía a la velocidad de extracción de la palanquilla. En esta investigación se consideraron ciertas condiciones utilizadas por Zhang *et al.* [16]. El acero es de bajo carbono 20CrMnTi y las composiciones químicas, los parámetros del proceso y las propiedades físicas del acero se describen en detalle en las tabla I y II.

Elementos	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu
Masa (%)	0,19	0,89	0,24	0,016	0,001	0,01	1,08	0,01

Tabla I. Composición química del acero 20CrMnTi [16].

Parámetros del proceso	Valores	Propiedades físicas del acero	Valor
Sección de la palanquilla /m ²	0,160x0,160	Temperatura de liquidus /K	1.783
Longitud del molde /m	0,800	Temperatura de solidus /K	1.757
Diámetro interno SEN /m	0,033	Densidad /kg.m ⁻³	7.000
Diámetro externo SEN /m	0,090	Viscosidad /kg.m ⁻¹ .s ⁻¹	0,0062
Longitud inmersión SEN /m	0,100	Conductividad térmica /W.m ⁻¹ .K ⁻¹	31
Velocidad de colada /m.min ⁻¹	1,700	Calor específico /J.kg ⁻¹ .K ⁻¹	650
Temperatura de colada /K	1.803	Calor latente de fusión /J.kg ⁻¹	250.000
Temperatura del agua de enfriamiento /K	300	Coefficiente de expansión térmica /1.kg ⁻¹	0,002
Temperatura ambiente /K	300	-	-

Tabla II. Parámetros del proceso y propiedades físicas del acero [16].

3. Resultados y discusión.-

3.1 Validación del modelo. - Para la validación del modelo numérico se consideró un proceso de conducción de calor transitorio bidimensional en el molde, donde la figura II representa la vista superior del molde en el plano XY.

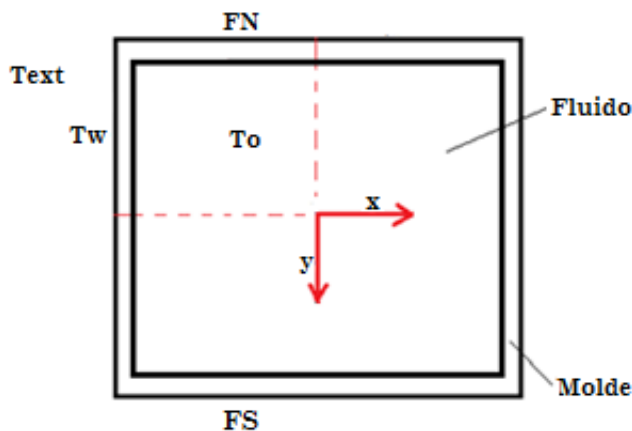


Figura II. Zona bidimensional del sistema molde – acero.

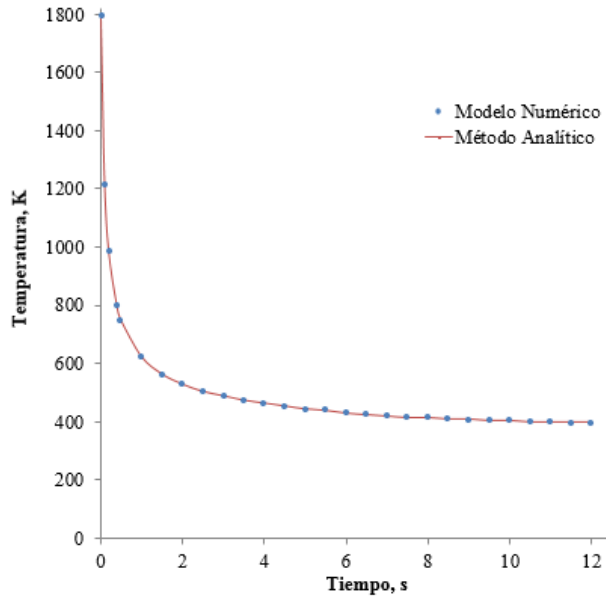


Figura III. Variación temporal de la temperatura a 1 mm de la pared del molde.

La conducción de calor transitoria para un sólido se define por:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho H) = \nabla \cdot (\alpha \nabla T) \quad (12)$$

La ecuación 12 no puede resolverse analíticamente, sin embargo, considerando la figura II del sistema molde – acero y asumiendo que:

- Las fronteras norte (FN) y sur (FS) están aisladas para convertir el problema 2D en 1D.
- El molde en la dirección x es lo suficientemente largo como para que en el centro no cambie la temperatura durante el proceso (sistema semiinfinito).
- Las propiedades termofísicas no cambian con la temperatura.

La ecuación 12 ahora puede ser resuelta analíticamente, quedando de la siguiente manera:

$$\frac{T - T_w}{T_o - T_w} = \text{fer} \left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha t}} \right) \quad (13)$$

donde, $\text{fer}()$ es la función error de Gauss definida como la integral de una distribución normal y α es la difusividad térmica, t es el tiempo de simulación, T_{ext} es la temperatura del agua de enfriamiento del molde, T_o es la temperatura del acero, T es la temperatura a una distancia x muy cerca del molde y T_w es la temperatura en la pared del molde.

Para la validación se determinaron los cambios de temperatura en la dirección x a una distancia de 1 mm de la pared del molde en función del tiempo. En la figura III se muestra las variaciones temporales de las temperaturas obtenidas con el modelo numérico desarrollado en esta investigación y la solución analítica de la ecuación 13. Se puede observar que ambas curvas tienen igual comportamiento, por lo que se confirma que la solución numérica es consistente y el modelo queda validado, sin embargo, es de resaltar que la manera de comprobar que el comportamiento de las temperaturas obtenidas esté muy cercanas a la realidad, es hacer comparaciones con resultados experimentales, debido a las simplificaciones asumidas en la metodología de validación.

3.2 Transferencia de calor. - La Figura IVa muestra la sección transversal de la palanquilla en el plano YZ y distintos cortes de la sección transversal en el plano XY localizadas a 0,001 m, 0,5 m y 0,8 m desde el menisco. Se observa en el plano YZ el crecimiento del espesor de la costra sólida que experimenta el acero durante su estadía en el molde, debido al diferencial de temperatura entre el molde refrigerado y el acero colado. En los planos XY se muestran que la fundición comienza a solidificarse muy cerca del menisco, aumentando el espesor de manera significativa y uniforme en el sentido de la dirección del proceso de colada. Los contornos de temperatura en los planos XY indican que la solidificación del acero ocurre simétricamente en el molde y que en las aristas de la palanquilla, el espesor de la costra sólida es mayor que en otras zonas. En la figura IVb se describe como en la interfaz que forma el molde y la fundición de acero, en la zona del menisco, hay una disipación del calor acelerada, lo que hace que la costra sólida comience a formarse cerca del menisco. Sin embargo, este fenómeno no es el más idóneo, porque lo más recomendable es que en la zona del menisco el fluido permanezca a una temperatura mayor a la de solidificación para retrasar el inicio de la formación de la costra y así evitar que la zona superior del molde tienda a solidificarse [25]. También se observa en la figura IVb que en las aristas del molde se encuentran las más bajas temperaturas en comparación con el centro de las caras del molde, y esto se debe a que en las aristas ocurre enfriamiento en ambas caras, lo que hace que el espesor de la costra de acero en las aristas sea mayor a las que se forman en las demás zonas de las caras del molde.

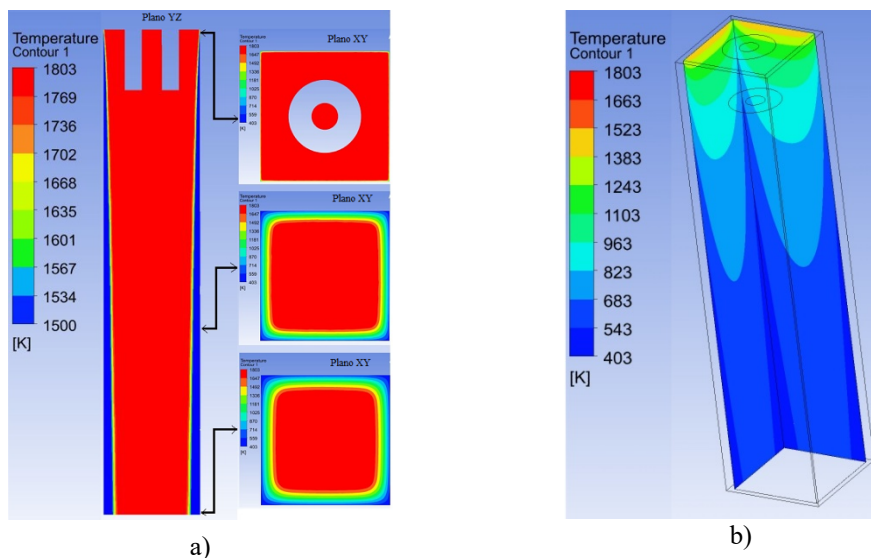


Figura IV. Contornos de temperatura en la costra sólida: a) Plano YZ y cortes transversales en el Plano XY a las distancias desde el menisco a 0,001 m, 0,5 m y 0,8 m, b) interfaz fluido - molde.

En la figura V se compara el crecimiento de la costra solidificada de acero entre los resultados arrojados por Zhang *et al.*[16] y los obtenidos en esta investigación con el modelo numérico desarrollado. Se observa gran similitud en ambas investigaciones, con igual tendencia del crecimiento del acero solidificado, coincidiendo que el máximo espesor de la costra a la salida del molde es aproximadamente 0,016 m, lo que representa un valor suficiente para que la costra no se fracture y se evite el desgarro del acero líquido [1]. Es de resaltar, que en este tipo de colada convencional el sistema tiene alta capacidad de enfriamiento, debido a que el acero fundido en el molde solidifica rápidamente y el espesor de la costra sólida aumenta de manera significativa y uniforme.

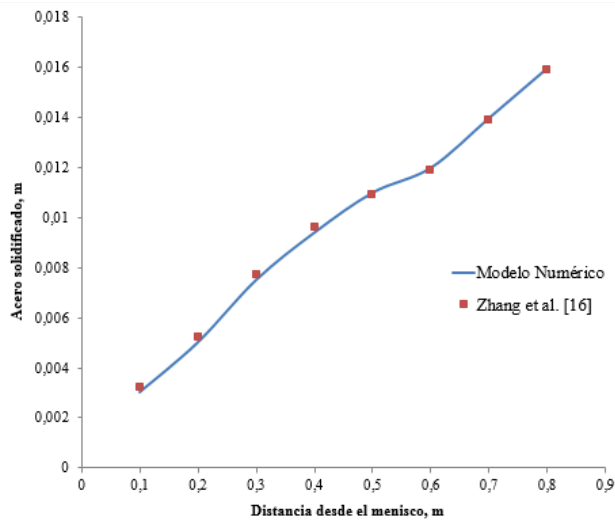


Figura V. Crecimiento de la costra sólida de acero.

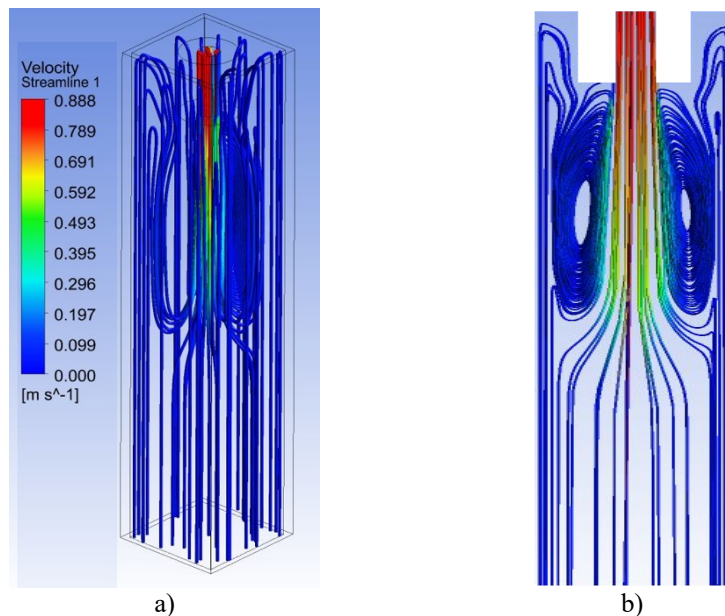


Figura VI. Líneas de flujo en el molde de colada: a) Distribución 3D, y b) 2D en el plano YZ.

3.3 Flujo de fluidos. - La figura VIa describe la trayectoria que experimenta el flujo de acero en el molde. El metal sale de la SEN y se introduce con gran impulso en el molde hasta una profundidad de aproximadamente de 0,45 m en la dirección de colada. A medida que el acero fluye, el chorro arrastra el fluido circundante debido a la fricción, reduciendo el impulso y aumentando el ancho del chorro. Mientras tanto, la presión disminuye en la región cercana al flujo descendente del chorro. Todo este proceso conduce a un reflujó vertical desde la salida de la SEN hasta la región media del molde (ver Figura VIb), y en la sección transversal, en el plano XY, desde el centro de la palanquilla hasta las paredes del molde. Parte del flujo rotacional llega cerca del menisco para luego descender por la región de las paredes del molde.

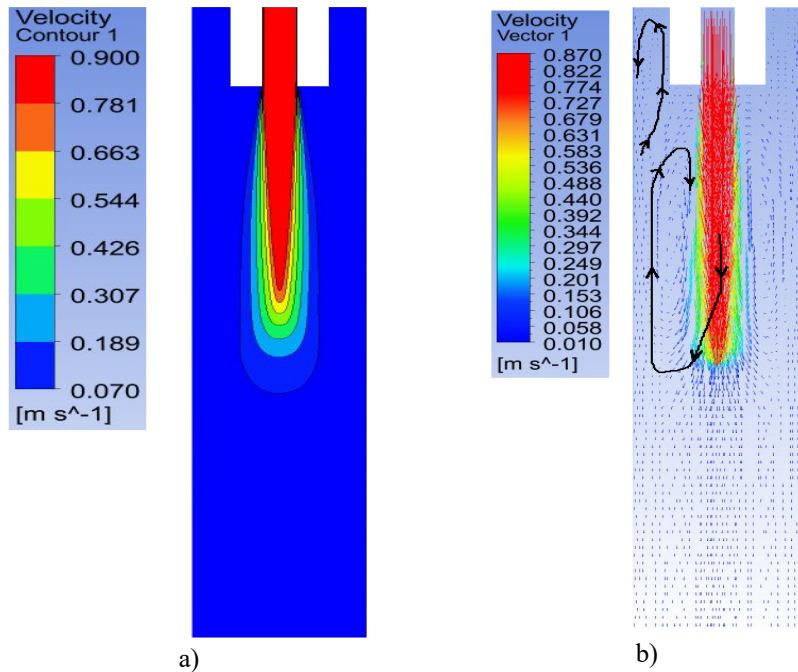


Figura VII. Velocidad del fluido en el plano YZ: a) Contorno de velocidad, y b) Vectores de velocidad.

La Figura VIIa muestra los contornos de velocidad del flujo de acero en un plano vertical en el centro del molde, específicamente en el plano YZ, según los ejes de coordenadas descritos en la figura I. Se observa que el flujo de acero se desplaza en línea recta en el sentido de avance de la palanquilla, obteniéndose los mayores velocidades en la buza sumergida y en el centro de la pieza, hasta una distancia desde el menisco de aproximadamente de 0,45 m. Este comportamiento del fluido se describe muy bien en la figura VIIb, donde la magnitud de los vectores de velocidad indican que el chorro de acero alcanza gran profundidad en el centro de la palanquilla con una rapidez de 0,8 m/s. Sin embargo, esta elevada velocidad no ayudaría a la eliminación de inclusiones en el molde, porque no habría tiempo a que sean atrapadas en la parte superior del molde. También afectaría la disipación del sobrecalentamiento del acero, ya que lo recomendable es que el sobrecalentamiento sea extraído en el molde y no en la zona de enfriamiento secundario porque alargaría la longitud metalúrgica [25]. Por otro lado, cerca de las paredes del molde, donde se forma la costra sólida, se registraron velocidades de 0,2 m/s, las cuales son muy bajas para estas regiones, porque se necesitan altas velocidades para romper las dendritas de la interfaz de solidificación y promover el nucleado, y así conducir a una mejora en la transición de una solidificación columnar a una solidificación equiaxial [15].

También es importante resaltar que en la figura VII se reportaron bajas velocidades en la parte superior del molde, cerca del menisco. Este efecto pudiera ser contraproducente para la transferencia de calor en el menisco, debido a que se produciría una solidificación muy temprana en el menisco, lo que formaría un borde grueso que generaría problemas de calidad como marcas profunda de oscilación, grietas y otros defectos superficiales [25]. Sin embargo, esta situación pudiera ser favorable para el acero porque las bajas fluctuaciones en el área del menisco reducen el atrapamiento de escoria de polvos coladores [9].

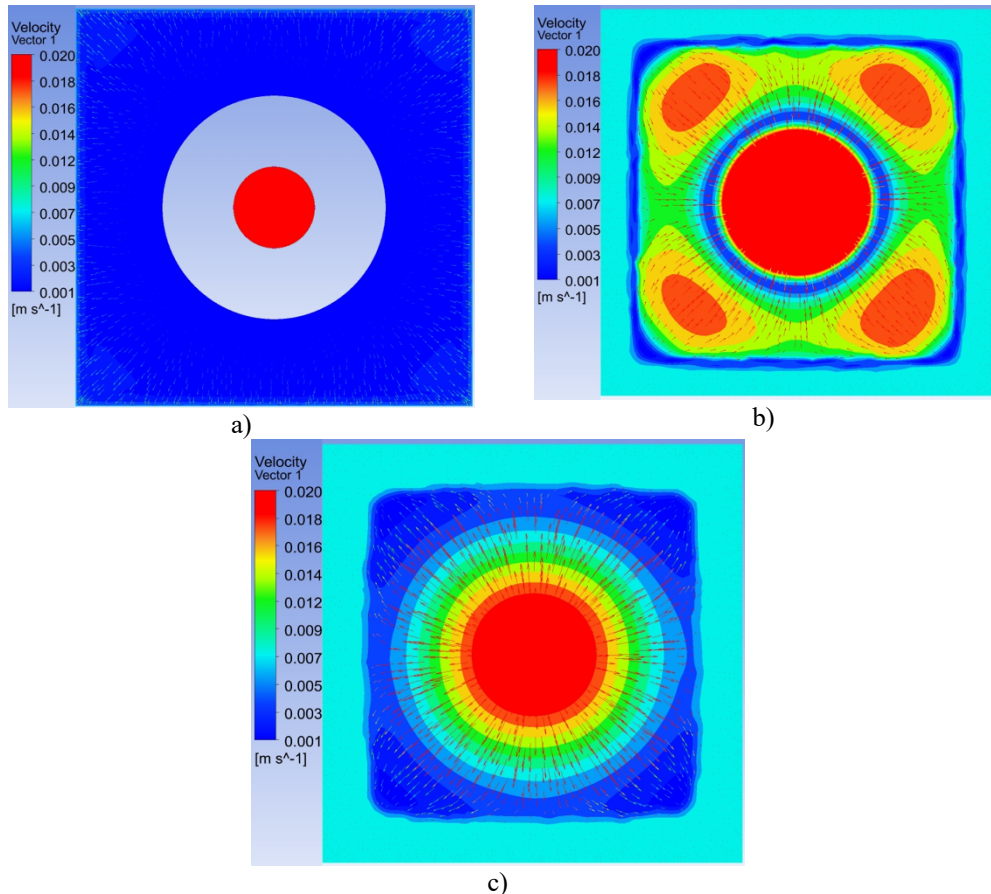


Figura VIII. Contornos y vectores de velocidad tangencial en el plano XY: a) a 0,005 m del menisco, b) a 0,2 m del menisco, y c) a 0,483 m del menisco.

La figura VIII muestra las velocidades tangenciales del flujo de acero en tres secciones transversales en el plano XY, con diferentes profundidades de molde. Se puede ver, que en la figura VIIIc a una profundidad de 0,483 m desde el menisco los vectores tangenciales alcanzan una mayor magnitud en el centro de la palanquilla y disminuyen a medida que se desplazan hacia las paredes del molde para iniciar el reflujos de forma ascendente. Luego a una profundidad de 0,2 m desde el menisco (figura VIIIb) los vectores tangenciales se desplazan desde las paredes del molde hacia el centro de la palanquilla para cumplir con la recirculación que experimenta el chorro en el molde como se mostró en la figura VIIIb. Parte del fluido que no recircula entre 0,2 m y 0,483 m desde el menisco, continúa hacia la parte superior del molde por la zona de la buza y luego se desplaza hacia las paredes del molde, como se muestra en la figura VIIIa, por donde se infiltra para iniciar el descenso. Es importante resaltar, que las tres secciones transversales mostrada en la figura VIII permiten suponer que la distribución de la velocidad tangencial del acero en el molde es simétrica y que los reflujos que se forman en el molde son uniformes. Sin embargo, de haber una modificación de la geometría del puerto de salida debido al desgaste de la SEN ocasionada por erosión y por el efecto clogging, se afectaría el patrón de flujo en el molde, que seguramente producirían distorsiones en el flujo de fluidos [14 y 26].

4. Conclusiones. - Mediante simulaciones numéricas se investigó el comportamiento de la transferencia de calor y el flujo de acero en un molde de colada continua convencional. Se analizó la formación de la costra sólida, los contornos de temperatura y vectores de velocidad del acero, así como la trayectoria que experimenta el acero líquido en el molde. A continuación, se destacan los siguientes aspectos:

- Producto del gradiente de temperatura, la fundición comenzó a crear una costra solidificada cerca del área del menisco, la cual aumentó el espesor en la dirección de colada hasta la salida del molde.
- El valor máximo del espesor de la costra a la salida del molde estuvo en 0,016 m, siendo un valor suficiente como para evitar el desgarro del acero líquido en el proceso.
- A la salida de SEN el acero líquido fluye con una velocidad de 0,8 m/s, alcanzando gran profundidad en el centro de la palanquilla, lo que crea un efecto de reflujos no favorable para la eliminación de posibles inclusiones y la disipación del sobrecalentamiento en el molde.
- La velocidad del flujo de acero en la zona superior del molde estuvo por debajo de los 0,2 m/s, lo que caracteriza a un flujo con bajas fluctuaciones y menor probabilidad de atrapamiento de escoria de polvos coladores, pero un alto riesgo de solidificación del menisco.

5. Referencias

- [1] Y. González-Rondón, J. E. Rengel-Hernández, Comportamiento termo fluidodinámico del acero en un molde de colada continua: una revisión, *Tecnológicas*, vol. 24, nro. 51, e1856, (2021)
- [2] J. Belisario, Evaluación de la efectividad del proceso de colada en la reducción de defectos de salpicaduras en las palanquillas producidas en la acería 150 TM de Sidor, Tesis de grado en ingeniería industrial. Universidad Nacional Experimental de Guayana, (2011).
- [3] A. Cruz, O. Hernández, A. Moreno y M. Vargas, Caracterización de fundentes para molde de colada continua de acero, *Acta Universitaria*, vol. 17, núm. 1, enero-abril. Universidad de Guanajuato, México, (2007). pp. 52-58.
- [4] V. Chang and P. Bolsaitis, Simplified model for heat transfer and solidification in continuous casting, *Latin American Journal of Metallurgy and Materials*, Vol. 2, N° 2, (1982).
- [5] M. Najera, Análisis del flujo de fluidos y transferencia de calor sobre la calidad de palanquillas de acero, Tesis de grado de doctor en ciencias en metalurgia y materiales, Instituto Politécnico Nacional, México, (2010).
- [6] C. Cicutti, Transferencia de calor en la colada continua de aceros, I parte, el molde, *Revista Metalurgia*, Madrid, (1977). pp. 333-344.
- [7] B. Pereira, J. Castro, A. Silva, y J. Duran, Modelado del proceso de colada continua de aceros libres de intersticios, *Revista Información tecnológica*, Vol. 21 No. 6, (2010).
- [8] J. Adilson, B. Amaral, R. Sampaio, E. Mendes and I. Leão, Numerical study of turbulent flows and heat transfer in coupled industrial-scale tundish of a continuous casting material in steel production, *IntechOpen*, Chapter 16, (2018).
- [9] K. Mills, P. Ramirez, P. Lee, B. Santillana, B. Thomas and R. Morales, Looking into continuous casting mould. *Ironmaking and Steelmaking*, Vol. 41 No. 42, (2014).
- [10] M. Tkadlečková, L. Válek, L. Socha, M. Saternus, J. Pieprzycza, T. Merder, K. Michalek and M. Kováč M. Study of solidification of continuously cast steel round billets using numerical modelling. *Arch. Metall. Mater.*, Vol. 61, No 1. (2016). pp. 221–226.
- [11] D. Jiang, M. Zhu and L. Zhang, Numerical Simulation of Solidification Behavior and Solute Transport in Slab Continuous Casting with S-EMS, *Metals*, 9, 452, (2019).
- [12] M. Long, H. Chen, D. Chen, S. Yu, B. Liang y H. Duan, A Combined Hybrid 3-D/2-D Model for Flow and Solidification Prediction during Slab Continuous Casting, *Metals*, 8, 182, (2018).
- [13] X. Zhang, W. Chen, and L. Zhang, A coupled model on fluid flow, heat transfer and solidification in continuous casting mold, *China Foundry*. Vol. 14, No. 5, (2017).
- [14] F. Saldaña-Salas, E. Torres-Alonso, J. Ramos-Banderas, G. Solorio-Díaz and C. Hernández-Bocanegra, Analysis of the Depth of Immersion of the Submerged Entry Nozzle on the Oscillations of the Meniscus in a Continuous Casting Mold, *Metals* 9, 596, (2019).
- [15] P. Ni, M. Ersson, L. Ingemar Jonsson, T. Zhang and P. Jönsson, Numerical Study on the Influence of a Swirling Flow Tundish on Multiphase Flow and Heat Transfer in Mold, *Metals* 8, 368, (2018).
- [16] W. Zhang, S. Luo, Y. Chen, W. Wang and M. Zhu, Numerical Simulation of Fluid Flow, Heat Transfer, Species Transfer, and Solidification in Billet Continuous Casting Mold with M-EMS. *Metals*. 9, 66. (2019).
- [17] L.B. Trindade, J.E.A. Nadalon, A.C. Contini, and R.H. Barroso, Modeling of solidification in continuous casting round billet with mold electromagnetic stirring (M-EMS). *Steel Res. Int.* (2017), 88, 1600319.
- [18] X. Sun, B. Li, H. Lu, Y. Zhong, Z. Ren and Z. Lei, Steel/Slag Interface Behavior under Multifunction Electromagnetic Driving in a Continuous Casting Slab Mold, *Metals* 9, 983, (2019).
- [19] X. Yan, B. Jia, Q. Wang, S. He, and Q. Wang, Mold nonsinusoidal oscillation mode and its effect on slag infiltration for lubrication and initial shell growth during steel continuous casting, *Metals* 9, 418, (2019).

- [20] T.H. Shih, W.W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, and J. Zhu, A new k- ϵ eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows—Model development and validation, *Computers Fluids*, 24:227–38. (1995).
- [21] M.R.R.I. Shamsi and S.K. Ajmani, Three dimensional turbulent fluid flow and heat transfer mathematical model for the analysis of a continuous slab caster. *ISIJ International*, 47:433–42. (2007).
- [22] M. Bielnicki, J. Jowza, and A. Cwudziński, Multiphase numerical model of molten steel and slag behavior in the continuous casting mould. *Archives of Metallurgy and Materials*, 60:257–62. (2015).
- [23] P.K. Jha, S. K. Dash, and S. Kumar, Fluid flow and mixing in a six strand billet caster tundish: A parametric study, *ISIJ International*, 41:1437–46. (2001).
- [24] P.K. Jha, and S.K. Dash, Employment of different turbulence models to the design of optimum steel flows in a tundish, *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 14:953–79. (2004).
- [25] B. Thomas, *Continuous Casting of Steel*, Chap.15, ed. by O. Yu, Marcel Dekker, New York, (2000).
- [26] B. Thomas and L. Zhang, *Mathematical Modeling of Fluid Flow in Continuous Casting*, *ISIJ International*, Vol. 41, No. 10, (2001), pp. 1181–1193.

Optimización de parámetros en procesos de fundición a presión y compresión mediante el algoritmo de enjambre de partículas

Optimization of parameters in die casting and compression processes using the particle swarm algorithm

Yordy González-Rondón ¹, José Eduardo Rengel ², Johnny J. Martínez ³

Recibido: Febrero 2021

Aceptado: Agosto 2021

Resumen.- En este artículo, se desarrolló un algoritmo, basado en la técnica de enjambre de partículas (Siglas en inglés - PSO) para optimizar los procesos de fundición a presión y por compresión, utilizando modelos matemáticos para describir el comportamiento de ambos procesos. En la fundición por compresión el modelo matemático describe un problema con múltiples objetivos y restricciones, y en la fundición a presión el modelo describe un problema de un solo objetivo con restricciones. El desarrollo del algoritmo PSO se realizó con el software FORTRAN 90, y los resultados se compararon con los obtenidos usando un algoritmo de optimización basado en el proceso de enseñanza-aprendizaje (Siglas en inglés - TLBO), demostrando buenas capacidades en la optimización de parámetros en fundición a presión y por compresión. Se observó que con el algoritmo PSO se consigue una solución óptima en todos los procesos y los tiempos computacionales fueron mínimos.

Palabras clave: Optimización de parámetros, fundición por compresión, fundición a presión, algoritmo PSO.

Summary.- In this article, an algorithm, based on the particle swarm technique (PSO), is developed to optimize die casting and compression casting processes, using mathematical models to describe the behavior of both processes. In compression casting the mathematical model describes a problem with multiple objectives and constraints, and in die casting the model describes a single objective problem with constraints. The development of the PSO algorithm was carried out with the FORTRAN 90 software, and the results were compared with those reported by a teaching-learning based optimization algorithm, (TLBO), demonstrating good capabilities in the optimization of parameters in die casting and by compression. It was observed that the PSO algorithm achieves an optimal solution in all processes and the computational time were minimal.

Keywords: Parameter optimization, Squeeze casting, Die casting, PSO algorithm

¹ Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente (Venezuela), yordygonzalez@hotmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4769-7568>

² Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente (Venezuela), Rengel66@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-4510-8846>

³ Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente (Venezuela), johnnymartinr@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8901-9303>

1. Introducción. - Desde la antigüedad se ha utilizado la fundición para la fabricación de piezas de diversas formas, el proceso consiste en llevar a muy altas temperaturas la materia prima (hierro, acero, aluminio, zinc, magnesio, entre otros) y vaciar en un molde donde se deja enfriar [1]. Actualmente se conocen distintos métodos de fundición, una forma de clasificarlos es según el tipo de molde con la forma de llenar el fundido, y entre ellos se encuentran las fundiciones a presión y compresión [2]. Estos procesos de fundición se diferencian por la metodología que utilizan para la fabricación de las piezas, y por los diferentes parámetros de entrada que afectan la salida del producto final. En el caso de la fundición por compresión, el proceso consiste en introducir una cierta cantidad de fundido pre-especificada en una cavidad de matriz precalentada, donde solidifica bajo presión hidrostática entre las placas de una prensa hidráulica [3, 4]. El aumento de la presión en el proceso de fabricación permite alcanzar una buena calidad en la pieza fundida en términos de una superficie más lisa y mejores propiedades mecánicas [5]. Aunado a lo mencionado anteriormente, con el método por compresión se consigue una estructura de grano equiaxial [6, 7], y lo que es más importante, elimina la porosidad de contracción macro/micro [8], ofreciendo importantes oportunidades para aplicaciones en una diversidad de áreas, particularmente en la industria mecánica automotriz y aeroespacial [9]. Investigaciones han surgido para entender lo que sucede en el proceso de compresión, Han et al. [10], observaron que mientras la solidificación de una aleación de Al-Cu ocurre a alta presión, se logra un significativo refinamiento de la microestructura. Maeng et al. [11], también observaron mayor refinamiento de la microestructura debido a la presión, y un aumento tanto en la dureza como en la resistencia a la tracción. Otros estudios [12-14] han descrito que, al aumentar la presión junto con el refinamiento de la microestructura, pueden ocurrir otras modificaciones estructurales como la contracción y la macrosegregación. Por su parte, la fundición a presión es un proceso versátil que consiste en forzar el fundido a alta presión en moldes de acero reutilizables que tienen la forma deseada de la pieza [15, 16]. La técnica a presión adquiere mayor importancia cuando se requiere una producción en masa [15, 17], y entre los materiales fundidos que más se utilizan, el aluminio ocupa los primeros lugares, y su aplicación abarca la fabricación de componentes en el área de ingeniería, aeronáutica y automotriz [16]. En la fundición a presión, los parámetros del proceso comúnmente a controlar son la temperatura del troquel, el tiempo de llenado del troquel, las velocidades del émbolo y de la compuerta, y la presión de intensificación [18]. Al igual que en la fundición por compresión, los parámetros del proceso que intervienen en la fundición a presión afectan la resistencia del producto y la calidad, llegando a formar defectos como la porosidad, razón por la que es indispensable calibrar las variables que intervienen en los procesos, porque una mínima variación en las magnitudes de los parámetros de entrada se verá reflejado en las características que determinan la calidad final de la pieza fabricada [19]. En este sentido, las plantas de fundición utilizan comúnmente, el método de ensayo y error para determinar estos parámetros, sin embargo, este tipo de procedimiento requiere invertir en largos periodos de trabajo experimental y traen como consecuencia pérdidas de tiempo y dinero [2]. Han surgido otras técnicas para el ajuste de parámetros en el área de la ingeniería, procesos, medicina, entre otros, denominadas Metaheurísticas de Optimización, como una alternativa para encontrar la mejor solución, o al menos una solución (incluso en muchos casos la solución óptima) en el ajuste de los parámetros de un problema [20]. Dentro de estas técnicas se encuentran los algoritmos basados en cúmulos de partículas, conocido como la técnica de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO, por sus siglas en inglés) [21, 22], técnica bastante novedosa perteneciente a la familia de los algoritmos Bioinspirados [23] (donde también están incluidos los Algoritmos Evolutivos [24], Colonias de Hormigas [25] y optimización basada en Enseñanza-Aprendizaje (TLBO, por su siglas en inglés) [26-28]), que resuelven de manera muy efectiva y eficiente un gran conjunto de problemas de optimización de alta complejidad. La TLBO se basa en el efecto de la influencia de un profesor en el aprendizaje de los alumnos en una clase, donde un grupo de alumnos se considera población y los diferentes temas ofrecidos a los alumnos se consideran los diferentes parámetros de diseño, y

el resultado de un alumno es análogo al valor de "aptitud" del problema de optimización [2]. La PSO es inspirado en el comportamiento social del vuelo de las bandadas de aves o el movimiento de los bancos de peces que simula la toma de decisión individual y grupal para conseguir un objetivo común que es la comida [21].

De manera de conocer el estado del arte en la aplicación de la PSO en procesos de fundición, en este estudio se realizó una búsqueda bibliográfica que evidenciara los esfuerzos realizados en la aplicación de algoritmos de optimización PSO para al ajuste de parámetros en modelos de simulación respecto a las fundiciones a presión y compresión, sin embargo, los resultados fueron escasos. Entre estos, Patel et al. [29], refiriéndose a un proceso de fundición por compresión, utilizaron tres métodos de búsqueda y optimización de parámetros: algoritmo genético (GA, por sus siglas en inglés), optimización del enjambre de partículas (PSO) y optimización del enjambre de partículas multiobjetivo (MOPSO-CD). Los resultados obtenidos indicaron que el PSO superó al GA en tiempo de cálculo. Shu Fu-hua [30], combinó PSO y red neuronal artificial en la optimización de los parámetros de un proceso de fundición por compresión, y determinó que el algoritmo desarrollado fue capaz de proporcionar buenos resultados en cuanto a los parámetros del proceso, los cuales permitieron alcanzar propiedades mecánicas con estrecha concordancia a las propiedades mecánicas previstas. Panicker y Kuriakose [31], utilizaron un algoritmo metaheurístico mejorado llamado DHOA basado en un coeficiente modificado (MC-DHOA) y un algoritmo PSO, para la optimización de parámetros de un proceso de fundición a compresión, donde llegaron a la conclusión que el rendimiento general del MC-DHOA fue un 16,5 % mejor que el PSO. Wu et al. [32], utilizaron datos experimentales de una matriz ortogonal L25 del método Taguchi como muestras de entrenamiento para examinar la porosidad de una pieza fundida a presión en relación con los parámetros de las variables de fundición. Ellos también usaron un algoritmo PSO para optimizar el modelo y minimizar la porosidad. Los resultados demostraron que la PSO superó al método Taguchi, proporcionando una mejora significativa sobre los resultados de la optimización. Patel, et al. [33], desarrollaron un código de optimización basada en la enseñanza-aprendizaje (TLBO) para optimizar los parámetros de entrada-salida de un proceso de fundición por compresión. Compararon los resultados del TLBO con varios algoritmos evolutivos (GA, PSO, entre otros.) y determinaron que el TLBO superó a los algoritmos evolutivos en tiempo de cálculo.

La revisión bibliográfica dio a conocer que aún falta mucho por avanzar en la aplicación del algoritmo PSO en los procesos de fundición a presión y compresión, para comprobar la efectividad del algoritmo en estos tipos de procesos. Además, los estudios que han antecedido a esta investigación no son suficientes como para dar una valoración definitiva de la eficacia del PSO. En este sentido, en la presente investigación se desarrolló un algoritmo PSO aplicable a los procesos de fundición a presión y compresión descrito por Venkata et al. [2], quienes demostraron la aplicabilidad de un algoritmo de optimización basado en enseñanza-aprendizaje (TLBO). A su vez, el trabajo de Venkata et al. [2], utilizó como referencia los trabajos de Senthil y Amirthagadeswaran [34] y Tsoukalas [35], quienes hicieron uso de métodos de optimización experimentales y algoritmo genético. Los resultados de esta investigación reportaron que la PSO, respecto al TLBO, tiene buenas capacidades en la optimización de parámetros en fundición a presión y por compresión, consiguiendo una solución óptima en todos los procesos y con esfuerzos computacionales mínimo. En próximas investigaciones se pretende aplicar la PSO en otros métodos de fundición como lo es la colada continua de acero.

2. Diseño de la técnica de optimización por enjambre de partículas (PSO). En este artículo se diseñó una técnica de optimización para el ajuste de parámetros en los procesos de fundición a presión y compresión basándose en algoritmos metaheurísticos, para proveer una solución aceptable en relación al tiempo para solucionar un problema difícil y complejo en la rama de la ciencia y la ingeniería [36]. La metaheurística que se ha convenido describir se basa en Enjambre

de Partículas o Particle Swarm Optimization (PSO). La optimización por enjambre de partículas fue introducida por Kennedy y Eberhart en 1995 [21, 22], inspirados en el comportamiento social del vuelo de las bandadas de aves o el movimiento de los bancos de peces que simula en base a la siguiente declaración [37]:

"Ningún pájaro sabe dónde está la comida; pero cada uno sabe a qué distancia se encuentra de la comida y también la distancia de sus compañeros a la comida. Entonces los pájaros se mueven hacia el más cercano a la comida durante un tiempo. Luego, cada pájaro vuelve a examinar su distancia a la comida y también la de sus compañeros, y así se mueven hacia el pájaro más cercano a la comida. El examen y el movimiento se repiten en varias iteraciones hasta encontrar la comida"

En este sentido, la PSO que se diseñó en este estudio, se fundamentó en los factores que influyen en la toma de decisión de una partícula que forma parte de un conjunto de partículas similares. La toma de decisión por parte de cada partícula se realiza conforme a una componente social y una componente individual, mediante las cuales se determina el movimiento (dirección) de esta partícula para alcanzar una nueva posición en el espacio de soluciones [21, 22]. La componente individual puede modificar su opinión dependiendo de:

- Su conocimiento sobre el entorno (su valor de fitness).
- Su conocimiento histórico o experiencias anteriores (su memoria o conocimiento cognitivo).
- El conocimiento histórico o experiencias anteriores de las partículas situadas en su entorno (su conocimiento social).

En base a éstos, cada partícula adapta su conjunto de creencias según las creencias de aquellas con más éxitos de su entorno, originando así una cultura en donde el enjambre de partículas tiene un conjunto de creencias estrechamente relacionadas. Este enjambre de partículas puede verse como un sistema multiagente, donde las partículas son agentes simples que se mueven por el espacio de búsqueda, guardando y comunicando la mejor solución que hayan encontrado.

Cada partícula tiene un fitness, una posición y un vector velocidad que dirige su movimiento. El movimiento de las partículas por el espacio está guiado por las partículas óptimas en el momento actual. Cada partícula, p_i , está compuesta por tres vectores y dos valores fitness [38], tal como se especifica a continuación:

- El vector $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ almacena la posición actual de la partícula en el espacio de búsqueda.
- El vector $pBest_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$ almacena la posición de la mejor solución encontrada por la partícula hasta el momento.
- El vector velocidad $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ almacena el gradiente (dirección) según se mueva la partícula.
- El valor de fitness $fitness_{x_i}$ almacena el valor de aptitud de la solución actual (vector x_i).
- El valor de fitness $fitness_{pBest_i}$ almacena el valor de aptitud de la mejor solución local encontrada hasta el momento (vector $pBest_i$).

En el tiempo, la partícula actualiza su posición de la siguiente forma:

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t + 1) \quad (1)$$

donde $x_i(t + 1)$ es la posición futura o bien la posición actualizada, $x_i(t)$ representa la posición de la partícula en el instante de tiempo t , y $v_i(t + 1)$ es la velocidad actualizada de la partícula i . La figura I muestra gráficamente el movimiento de la partícula.

Debido a que el vector velocidad se modifica teniendo en cuenta su experiencia y la de su entorno, la expresión que lo describe será la siguiente:

$$v_i(t + 1) = wv_i(t) + c_1rand_1(pBest_i - x_i(t)) + c_2rand_2(gBest_i - x_i(t)) \quad (2)$$

donde w representa el factor de inercia que representa el grado de influencia de la velocidad actual sobre la velocidad futura, los factores c_1 y c_2 son constantes de aceleración cognitiva y social, que determinan en qué medida influyen sobre el movimiento de la partícula su propia memoria y la cooperación entre individuos, respectivamente, $rand_1$ y $rand_2$ son dos números aleatorios uniformemente distribuidos entre 0 y 1 cuyo objetivo es emular el comportamiento estocástico y un tanto impredecible que exhibe la población del enjambre, y $gBest_i$ representa la posición de la mejor solución encontrada por todo el cúmulo. El valor del factor inercia en función del tiempo está dada por la ecuación (3) [39]:

$$w(t) = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{t_{max}} t \quad (3)$$

donde w_{max} y w_{min} son los valores máximo y mínimo de w , y t_{max} es el número máximo de iteraciones.

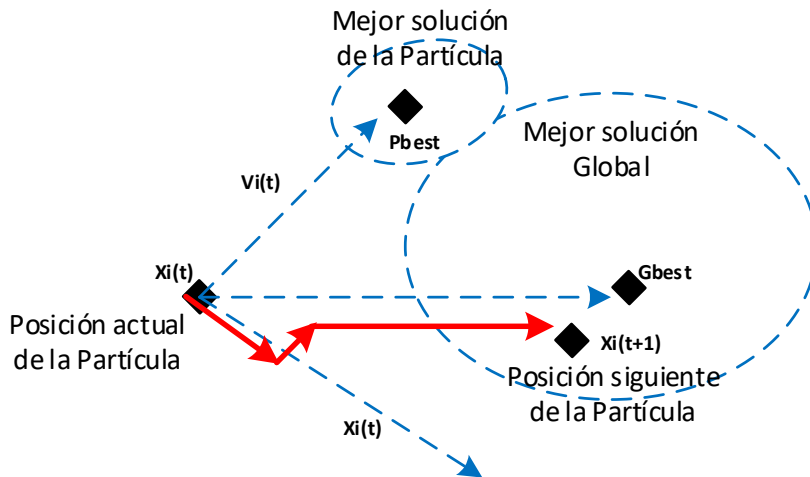


Figura I. Movimiento de una partícula en el espacio de soluciones [20]

Conceptualmente, los tres términos que componen la velocidad representan [40]:

- *Inercia o impulso* ($wv_i(t)$): previene de que la partícula cambie drásticamente de dirección, ya que mantiene un registro de la orientación anterior.
- *Componente cognitivo* ($c_1rand_1(pBest_i - x_i(t))$): tiene en cuenta la tendencia de la partícula para volver a la mejor posición previamente encontrada por ella misma.
- *Componente social* ($c_2rand_2(gBest_i - x_i(t))$): determina la capacidad de la partícula de moverse hacia la mejor posición encontrada por todo el enjambre.

La información presentada en este apartado muestra la metodología de funcionamiento del algoritmo de optimización por enjambre de partículas desarrollado en este estudio. El diagrama de

flujo que se describe en la Figura II proporciona un mayor entendimiento de cómo funciona el algoritmo de la PSO diseñado, el cual se codificó en el software Fortran 90. Se inicia con una población, con posiciones y velocidades aleatorias (dentro de los límites especificados). Posteriormente, se calcula la función de adaptación de cada partícula. Luego si no se cumple los criterios establecidos de parada, se procede a calcular la mejor posición que ha tenido cada partícula ($pBest_i$) y la mejor posición entre el grupo de partículas ($gBest_i$), para actualizar los individuos utilizando las ecuaciones (1) y (2). El procedimiento se repite hasta cumplir el criterio de parada referente al máximo de iteraciones. Al finalizar, en pantalla se muestran los resultados correspondientes a los parámetros optimizados y los objetivos alcanzados.

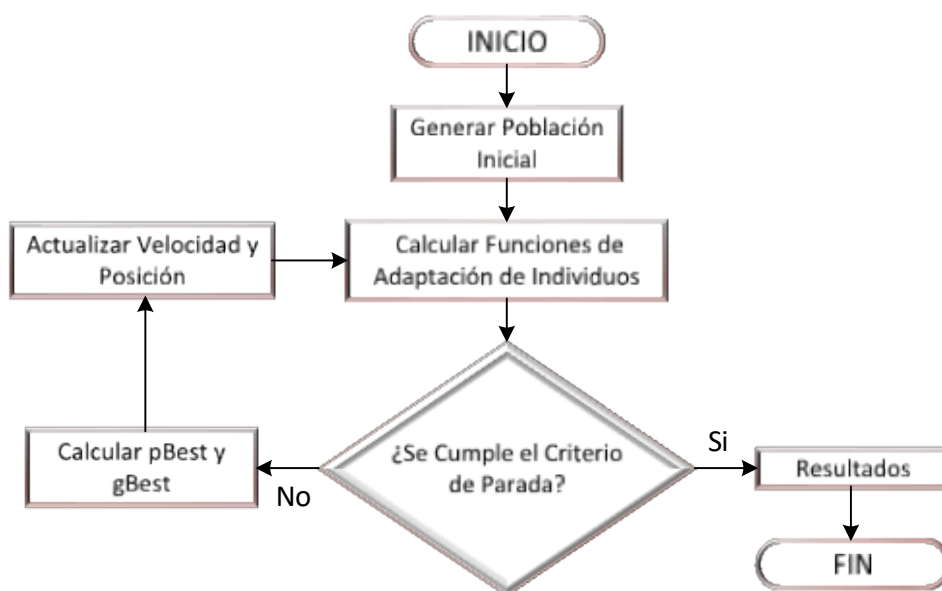


Figura II. Diagrama de flujo de la PSO [39]

Con la finalidad de estudiar la aplicabilidad y efectividad del algoritmo de enjambre de partículas propuesto en este trabajo, específicamente en los procesos de fundición a presión y compresión, se utilizaron los modelos matemáticos propuesto por Senthil y Amirthagadeswaran [34] que describen una fundición a compresión y los modelos de Tsoukalas [35] que describen una fundición a presión, para simular el ajuste adecuado de los parámetros que se manejan en estos procesos, además de determinar si estos parámetros conllevan a conseguir una mayor dureza y resistencia a la tracción en la fundición a compresión, y una mínima porosidad en la función a presión. Los resultados aquí reportados, fueron comparados con los obtenidos por Venkata *et al.* [2], en la sección de resultados y discusión.

3. Resultados y Discusión.-

3.1 Optimización de parámetros en el proceso de fundición por compresión.- Senthil y Amirthagadeswaran [34], en su investigación prepararon fundiciones de aleación de aluminio para estudiar experimentalmente la influencia de la presión, así como otros parámetros del proceso, sobre las propiedades mecánicas. Aplicaron la técnica de Taguchi para determinar el número requerido de experimentos y los parámetros del proceso fueron la presión de compresión (A), la temperatura de fusión (B), la temperatura de precalentamiento del troquel (C), y el tiempo de

compresión (E). Con el Software MINITAB 14 desarrollaron modelos matemáticos para la dureza (H , en BHN) y la resistencia a la tracción (TS , en MPa), y los resultados fueron los siguientes:

$$H = -3,82542 + 0,8787 * A + 0,46587 * C + 0,30411 * E - 0,00393 * A^2 - 0,00116 * C^2 + 0,00097 * E^2 + 0,00051 * A * C - 0,00333 * A * E - 0,00018 * C * E \quad (4)$$

$$TS = -11,2606 + 2,5778 * A + 1,3316 * C + 0,7552 * E - 0,0116 * A^2 - 0,0034 * C^2 + 0,0031 * E^2 + 0,0015 * A * C - 0,0097 * A * E - 0,001 * C * E \quad (5)$$

Los rangos de los parámetros del proceso utilizados fueron:

$$\begin{aligned} A &= (50 - 125) \text{ MPa} \\ B &= (675 - 750) ^\circ\text{C} \\ C &= (150 - 300) ^\circ\text{C} \\ E &= (15 - 60) \text{ s} \end{aligned}$$

Los valores óptimos que reportaron Senthil y Amirthagadeswaran [34] del proceso de fundición por compresión fueron los siguientes: $A = 100 \text{ MPa}$, $B = 725 ^\circ\text{C}$, $C = 200 ^\circ\text{C}$ y $E = 45 \text{ s}$. Con estos parámetros obtuvieron una máxima dureza de 100,76 BHN y una máxima resistencia a la tracción de 278,45 MPa.

Posteriormente, Venkata *et al.* [2], desarrollaron un algoritmo de optimización basado en enseñanza-aprendizaje (TLBO), utilizando los modelos descritos por Senthil y Amirthagadeswaran [34]. El algoritmo TLBO fue ejecutado con un tamaño de población de 10, un número de iteraciones de 20, y para $A = 119 \text{ MPa}$, $B = 686 ^\circ\text{C}$, $C = 225 ^\circ\text{C}$ y $E = 15 \text{ s}$, la dureza obtenida fue de 103,068 BHN, y cuando $A = 119 \text{ MPa}$, $B = 675 ^\circ\text{C}$, $C = 220 ^\circ\text{C}$ y $E = 15 \text{ s}$, la resistencia máxima a la tracción obtenida fue de 290,30 MPa, lo que representó una mejora de los resultados de Venkata *et al.* [2] respecto al estudio de Senthil y Amirthagadeswaran [34].

Ahora, en el presente estudio, se ejecutó el código basado en la técnica de optimización de enjambre de partículas, utilizando las restricciones y modelos matemáticos descritos por Senthil y Amirthagadeswaran [34]. Se realizaron 50 ejecuciones con el código PSO, cada una con 20 iteraciones y una población de 50, para $A = 120 \text{ MPa}$, $B = 713 ^\circ\text{C}$, $C = 226 ^\circ\text{C}$ y $E = 15 \text{ s}$, se obtuvo una dureza de 103,072 BHN, y cuando $A = 119 \text{ MPa}$, $B = 709 ^\circ\text{C}$, $C = 220 ^\circ\text{C}$ y $E = 15 \text{ s}$, la resistencia máxima a la tracción alcanzó los 290,303 MPa. En las tablas I y II se muestran los resultados de los métodos Experimental (Exp.), TLBO y PSO.

Parámetros	Exp.	TLBO	PSO		
			Resultados	Media	D. Estándar
Presión de compresión (MPa)	100	119	120		
Temperatura de fusión ($^\circ\text{C}$)	725	686	713		
Temperatura de compresión ($^\circ\text{C}$)	200	225	226		
Tiempo de compresión (s)	45	15	15		
Máxima dureza(BHN)	100,76	103,068	103,072	103,071	0,001

Tabla I. Comparación de la máxima dureza entre los métodos Exp, TLBO y PSO

En las tablas I y II, se observan que la máxima dureza (100,76 BHN) y resistencia máxima a la tracción (278,45 MPa) obtenidas experimentalmente por Senthil y Amirthagadeswaran [34], fueron superadas por Venkata *et al.* [2] hasta 103,068 BHN y 290,30 MPa, respectivamente. Y con el método de optimización PSO se alcanzó una máxima dureza de 103,072 BHN y una máxima resistencia a la tracción 290,303 MPa, lo que representó una mínima mejora de los resultados respecto al estudio de Venkata *et al.* [2].

Parámetros	Exp.	TLBO	PSO		
			Resultados	Media	D. Estándar
Presión de compresión (MPa)	100	119	119		
Temperatura de fusión (°C)	725	675	709		
Temperatura de compresión (°C)	200	220	220		
Tiempo de compresión (s)	45	15	15		
Máxima R. Tracción (MPa)	278,45	290,30	290,303	290,229	0,124

Tabla II. Comparación de la máxima resistencia a la tracción entre los métodos Exp, TLBO y PSO.

Para verificar la aceptación de los resultados de la PSO en este estudio, se calculó la media y la desviación estándar para una ejecución de 50 veces el código. Las medias de la máxima dureza y de la máxima resistencia a la tracción, estuvieron muy cerca de la mejor solución, y en el caso de las desviaciones estándar, los valores indican que la dispersión entre el conjunto de la población y la media fue mínima. En la figuras III se observa cómo se alcanzaron las convergencias en la máxima dureza y resistencia a la tracción con la PSO. Las curvas indican que con el algoritmo PSO se obtuvo, a escasos números de iteraciones, la estabilidad de los resultados, y una mínima mejoría en las soluciones respecto al TLBO. El ordenador utilizado para ejecutar la PSO fue un computador con procesador Intel Core i5, y el tiempo computacional fue de 5 segundos aproximadamente, lo que es posible afirmar que el algoritmo de enjambre de partículas desarrollado es una herramienta útil para mejorar el rendimiento de plantas de fundición a compresión.

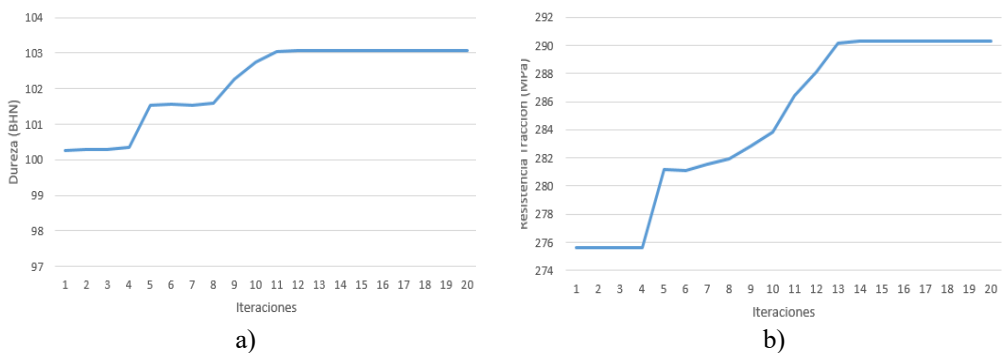


Figura III. Convergencia de la PSO para a) la dureza, y b) resistencia a la tracción.

3.2 Optimización de parámetros en el proceso de fundición a presión.- Tsoukalas [35], realizó una investigación para diseñar un algoritmo de optimización de parámetros utilizando un enfoque combinado de regresión lineal múltiple y algoritmo genético (GA), para una aleación de aluminio. Las variables consideradas por Tsoukalas [35], fueron la temperatura del horno (F), la temperatura del troquel (D), la velocidad del émbolo en la primera etapa (S), la velocidad del émbolo en la segunda etapa (H) y la presión multiplicada (M). En la metodología usó el método Taguchi para

obtener el modelo matemático que se describe con la ecuación 6, donde se relacionan los parámetros de entrada del proceso con el defecto de porosidad (P %).

$$P = 1,623 - 0,766 * 10^{-3}(F) - 1,301 * 10^{-3}(D) - 0,136(S) + 0,029(H) - 1,636 * 10^{-3}(M) \quad (6)$$

Los rangos de operación en los parámetros del proceso fueron:

$$\begin{aligned} F &= (610 - 730) \text{ } ^\circ\text{C} \\ D &= (190 - 270) \text{ } ^\circ\text{C} \\ S &= (0,02 - 0,34) \text{ m/s} \\ H &= (1,2 - 3,8) \text{ m/s} \\ M &= (120 - 280) \text{ bar} \end{aligned}$$

Utilizando un número de iteraciones de 1.000, y sin mencionar el tamaño de la población, el algoritmo genético diseñado por Tsoukalas [35], convergió después de las 800 iteraciones. Cuando $F = 729,4$ °C, $D = 269,9$ °C, $S = 0,336$ m/s, $H = 1,2$ m/s y $M = 275,7$ Bar, la mínima porosidad alcanzada fue de 0,251 %.

Posteriormente, Venkata *et al.* [2], utilizaron los resultados obtenidos por Tsoukalas [35], y desarrollaron un algoritmo de optimización basado en enseñanza-aprendizaje (TLBO). En este algoritmo utilizó 10 iteraciones y los resultados obtenidos mostraron una mínima porosidad de 0,243 % cuando $F = 730$ °C, $D = 270$ °C, $S = 0,34$ m/s, $H = 1,20$ m/s y $M = 280$ Bar.

Ahora, en el presente estudio, se utilizó el código PSO, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos por Venkata *et al.* [1], y Tsoukalas [35], utilizando las restricciones y el modelo matemático descrito en la ecuación 6. Se realizaron varias ejecuciones con el algoritmo PSO, se consideró un número de 10 iteraciones y una población de 50, y los resultados indicaron que cuando $F = 730$ °C, $D = 270$ °C, $S = 0,34$ m/s, $H = 1,20$ m/s y $M = 280$ Bar, la mínima porosidad alcanzada por el PSO fue de 0,243 %. En la tabla III se muestra los detalles de los resultados.

Parámetros	GA	TLBO	PSO		
			Resultados	Media	D. Estándar
Temperatura Horno (°C)	729,4	730	730		
Temperatura Troquel (°C)	269,9	270	270		
Veloc. Embolo 1ra. Etapa (m/s)	0,336	0,34	0,34		
Veloc. Embolo 2da. Etapa (m/s)	1,20	1,20	1,20		
Presión Múltiple (Bar)	275,7	280	280		
Mínima Porosidad (%)	0,251	0,243	0,243	0,248	0,021

Tabla III. Comparación de la porosidad entre los métodos GA, TLBO y PSO

En la tabla III se observa que los resultados obtenidos con el código PSO fueron exactamente igual a los reportados por Venkata *et al.* [2] con el algoritmo TLBO, por lo que se presume que estos resultados son la mejor solución. Para verificar la aceptación de los resultados de la PSO, se procedió a calcular la media y la desviación estándar para una ejecución de 50 veces del código. La media fue de 0,248 % y la desviación estándar estuvo en 0,021, estos valores indican que la dispersión entre el conjunto de la población y la media fue mínima. La figura IV muestra la curva de convergencia de la mínima porosidad con la PSO, en ella se observa que los resultados se estabilizan a tempranas iteraciones y el tiempo de ejecución no superó más de 4 segundos en el computador Intel Core i5. Con estos resultados, la técnica de la PSO sin duda representa una herramienta útil para mejorar el rendimiento de plantas de fundición a presión.

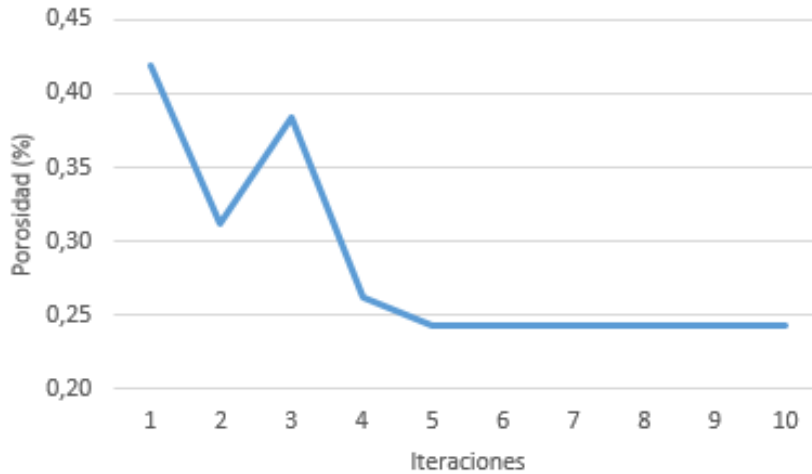


Figura IV. Comportamiento de la PSO con la porosidad.

4. Conclusiones.- En este artículo se ha desarrollado un algoritmo basado en la técnica de optimización de partículas (Particle Swarm Optimization, PSO), que simula el comportamiento social del vuelo de las bandadas de aves o el movimiento de los bancos de peces. El algoritmo PSO desarrollado ha manejado efectivamente diversos modelos matemáticos y ha demostrado buenas capacidades en el campo de la optimización de parámetros que influyen en los procesos de fundición a presión y por compresión:

- En el proceso de fundición por compresión, el algoritmo PSO consiguió en tempranas iteraciones (11 y 13) converger la máxima dureza de 103,072 BHN y la máxima resistencia a la tracción de 290,303 MPa. Estos resultados son aproximadamente igual a los obtenidos por un algoritmo de optimización de enseñanza-aprendizaje TLBO, lo que indica que el PSO es una buena alternativa para predecir las propiedades de dureza y resistencia a la tracción a un bajo costo computacional.
- En la fundición a presión, el algoritmo PSO minimizó la porosidad en la iteración 5 con un valor de 0,243 %, siendo el mismo resultado alcanzado mediante el algoritmo de optimización de enseñanza-aprendizaje TLBO.
- El algoritmo PSO desarrollado tiene un alto potencial para gestionar la determinación de parámetros en los procesos de fundición a presión y por compresión, sin embargo, se recomienda aplicar en otros tipos de procesos de fundición que no han sido estudiados en esta investigación.

5. Referencias

- [1] González-Rondón, Y. y Rengel-Hernández, J.E. (2021). Comportamiento termo fluidodinámico del acero en un molde de colada continua: una revisión, *Tecnológicas*, vol. 24, nro. 51, e1856.
- [2] Venkata Rao, R. Kalyankar, V.D. and Waghmare G. (2014). Parameters optimization of selected casting processes using teaching–learning-based optimization algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 38, 5592–5608.
- [3] Souissi, N. Souissi, S. Le Niniven, C. Ben Amar, M. Bradai, C. and Elhalouani, F. (2014). Optimization of Squeeze Casting Parameters for 2017 A Wrought Al Alloy Using Taguchi Method. *Metals*, 4, 141-154; doi:10.3390/met4020141.
- [4] Souissi, S. Souissi, N. Barhoumi, H. Ben Amar, M. Bradai, C. and Elhalouani, F. (2019). Characterization of the Role of Squeeze Casting on the Microstructure and Mechanical Properties of the T6 Heat Treated 2017A Aluminum Alloy. *Hindawi, Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2019, Article ID 4089537, 9 pages.
- [5] Belisario, J. (2001). Evaluación de la efectividad del proceso de colada en la reducción de defectos de salpicaduras en las palanquillas producidas en la acería 150 TM de Sidor, Tesis de grado en ingeniería industrial. Universidad Nacional Experimental de Guayana
- [6] Maleki, A. Shafyei, A. and Niroumand, B. (2009). Effects of squeeze casting parameters on the microstructure of LM13 alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, no. 8, pp. 3790–3797.
- [7] Dahel, A. Nogita, K. McDonald, S. Zindel, J. and Hogan, L. (2001). Eutectic nucleation and growth in hypoeutectic Al-Si alloys at different strontium levels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 32, no. 4, pp. 949–960.
- [8] Fang, Y. (2006). Mathematical modeling and experimental study of squeeze casting of magnesium alloy AM50A and aluminum alloy A356. *Electronic Theses and Dissertations*. 7212.
- [9] Guo, H. y Yang, X. (2007). Preparation of semi-solid slurry containing fine and globular particles for wrought aluminium alloy 2024. *Trans. Nonferr. Metal Soc.* 2007, 17, 799–804.
- [10] Han, Y.S. Kim, D.H. Lee, H.I. and Kim, Y.G. (1994). Effect of applied pressure during solidification on the microstructural refinement in an Al-Cu alloy. *Scripta Metallurgica et Materialia*, Vol.31, No.12, pp.1623-1628.
- [11] Maeng, D.Y., Lee, J.H., Won, C.W., Cho, S.S. and Chun, B.S. (2000). The effects of processing parameters on the microstructure and mechanical properties of modified B390 alloy in direct squeeze casting. *J. of Materials Processing Technology*, Vol.105, pp.196-203.
- [12] Hong, C.P. Shen, H.F. and Lee, S.M. (1998). Prevention of macrodefects in squeeze casting of an Al-7 wt pct Si alloy. *Metallurgical and Materials Transactions B*, Vol.31B, pp.297-305.
- [13] Hong, C.P. Shen, H.F. and Cho, I.S. (1998). Prevention of macrosegregation in squeeze casting of an Al-4.5 wt pct Cu alloy. *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol.29A, pp.339-349.
- [14] Gallerneault, M. Durrant, G. and Cantor, B. (1996). The squeeze casting of hypoeutectic binary Al-Cu. *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol.27A, pp.4121-4132.
- [15] Mahesh N. A. and Shrikant V. K. (2015). Optimization of die-casting process parameters using DOE. *International Journal of Engineering Research and General Science* Volume 3, Issue 2.
- [16] Kumar, S. Kumar Gupta, A. and Chandna, P. (2012). Optimization of Process Parameters of Pressure Die Casting using Taguchi Methodology. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* Vol:6, No:8.
- [17] Ainul Haque, M. D. Babuli Kumar, J. and Dilip Kumar, M. (2017). Optimization of process parameters in cold chamber Pressure die casting using doe. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. Volume: 04 Issue: 04, Apr.

- [18] Vanli, A.S. Akdogan, A. and Durakbasa, M.N. (2018). Process Optimization and Surface Modification of Die Casting AZ91 Magnesium Alloy Products. *Acta physica polonica A*. Vol. 134.
- [19] Gallardo, J. Ayala, C. y Castro, R. (2018). Control predictivo/adaptativo de sistemas complejos utilizando técnicas de ingeniería neuronal. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Vol. 17 Núm. 33, julio-diciembre, pp. 157-172, Medellín, Colombia.
- [20] García, J. (2006). Algoritmos Basados en Cúmulos de Partículas para la Resolución de Problemas Complejos. Departamento de Lenguajes y Ciencias de la computación. Universidad de Málaga.
- [21] Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, volume 4, pages 1942-1948, Perth, Australia, Nov.
- [22] Kennedy, J. and Eberhart, R. and Shi, Y. (2001). *Swarm Intelligence*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- [23] Stephan, O. and Zomaya, A. (2005). *Handbook Of Bioinspired Algorithms And Applications*. CHAPMAN and HALL/CRC.
- [24] Bäck, T. Fogel, D. and Michalewicz, Z. (1997). *Handbook of Evolutionary Computation*. IOP Publishing and Oxford University Press, New York and Bristol (UK), Feb.
- [25] Dorigo, M. (2000). The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications and Advances. Technical Report IRIDIA-2000-32, Université Libre de Bruxelles, IRIDIA.
- [26] Rao, R. Savsani, V. and Vakharia, D. (2011). Teaching–learning–based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems, *Comput. Aided Des.* 43, 303–315.
- [27] Rao, R. Savsani, V. Vakharia, D. (2012). Teaching–learning–based optimization: an optimization method for continuous non-linear large scale problems, *Inf. Sci.* 183, 1–15.
- [28] Rao, R. and Patel, V. (2012). An elitist teaching–learning–based optimization algorithm for solving complex constrained optimization problems, *Int. J. Ind. Eng. Comput.* 3 (4), 535–560.
- [29] Patel, G.C.M. Krishna, P. Vundavilli, P.R. Parappagoudar, M.B. (2016). Multi-Objective Optimization of Squeeze Casting Process using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. *Archives of Foundry Engineering* 16(3).
- [30] Shu Fu-hua. (2007). Aluminum-zinc Alloy Squeeze Casting Technological Parameters Optimization based on PSO and ANN. *China Foundry*, vol.4, No.3, pp.202-205.
- [31] Panicker, P. and Kuriakose, S. (2020) Parameter Optimisation of Squeeze Casting Process using LM 20 Alloy: Numerical Analysis by Neural Network and Modified Coefficient-based Deer Hunting Optimization. *Australian Journal of Mechanical Engineering*
- [32] Wu, H. Yang, X. Cao, G. Zhao, L. and Yang, L. (2021). Design and optimisation of die casting process for heavy-duty automatic transmission oil circuit board. *International Journal of Cast Metals Research* (IF 1.083).
- [33] Patel G.C.M., Ajith B, Jonathan R, Allan D S, Aniruddh M and Ashwith M. (2018). Teaching learning based optimization of squeeze casting process for quality castings. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 376 012112
- [34] Senthil, P. and Amirthagadeswaran, K.S. (2012). Optimization of squeeze casting parameters for non symmetrical AC2A aluminium alloy castings through Taguchi method, *J. Mech. Sci. Technol.* 26 (4), 1141–1147.
- [35] Tsoukalas, V. (2008). Optimization of porosity formation in AlSi9Cu3 pressure die castings using genetic algorithm analysis, *Mater. Des.* 29, 2027–2033.
- [36] Talbi, E. G. (2009). *Metaheuristics: From Design to Implementation*. New Jersey, Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.
- [37] Chun, H. L. (2012). Diseño e implementación de algoritmos aproximados de clustering balanceado en PSO. Tesis para optar al grado de Magister en ciencias mención computación. Universidad de Chile Facultad de física y matemáticas, Departamento de ciencias de la computación.

- [38] Leza, M. V. (2008). Optimización mediante Cúmulos de Partículas con Tamaño de Población Variable. Tesis de Licenciatura en Sistemas Facultad de Informática. Universidad Nacional de la Plata.
- [39] Gutiérrez, D. Villa, W. y López-Lezama, J. (2017). Flujo Óptimo Reactivo mediante Optimización por Enjambre de Partículas. *Información Tecnológica*. Vol. 28(5), 215-224.
- [40] Damiani, L. (2019). Optimización estocástica acelerada con aplicación a la ingeniería de procesos. Tesis de maestría en ingeniería de procesos petroquímicos. Universidad Nacional del Sur.

Impacto del diámetro en la distribución de la presión alrededor de una elipse en un arreglo de barras cilíndricas paralelas para diferentes ángulos de inclinación respecto a un flujo de aire en un canal rectangular

Impact of diameter on the distribution of pressure around an ellipse in an arrangement of parallel cylindrical bars for different angles of inclination with respect to an air flow in a rectangular channel

Hernán Ferrari ¹, Raúl Marino ², Víctor Herrero ³

Recibido: Mayo 2021

Aceptado: Septiembre 2021

Resumen.- Se realizó el estudio experimental de la distribución de presión alrededor de un obstáculo formado por cuatro tubos cilíndricos de tres diámetros diferentes inmerso en un flujo transversal y a distintos ángulos de inclinación respecto al flujo. Se utilizó aire a presión atmosférica con flujo máximo de 0.038 kg/seg. Para cada diámetro y separación entre cilindros, la distribución de presión alrededor del obstáculo está fuertemente influenciado por el ángulo de inclinación, pero solo marginalmente afectado por el caudal (dentro del rango de trabajo). Debido a la condición de turbulencia del flujo de aire, con un número de Reynolds en la separación entre barras de 1695 a 5100, se obtuvo una muy buena concordancia entre los resultados experimentales y un modelo basado en la velocidad media del aire en ese espacio, mejor que un modelo basado en la curvatura de las líneas de corriente.

Palabras clave: Flujo de aire, flujo transversal, obstáculos cilíndricos, distribución de presión, desprendimiento de flujo.

Summary.- *The experimental study of the pressure distribution around an obstacle formed by four cylindrical tubes of three different diameters immersed in a transversal flow and at different inclination angles with respect to the flow was carried out. Air at atmospheric pressure was used with a maximum flow of 0.038 Kg / sec. For each cylinder bore and spacing, the pressure distribution is strongly influenced by the angle of inclination, but only marginally affected by flow (within the working range). Due to the turbulent condition of the air flow, with a Reynolds number in the separation between bars from 1695 to 5100, a very good agreement was obtained between the experimental results and a model based on the average air speed in that space, better than a model based on the curvature of streamlines in the gap.*

Keywords: *Air flow, yawed flow, cylindrical obstacle, pressure distribution, flow detachment.*

¹ Doctor en Ciencias Físicas, Universidad Austral – CONICET (Argentina), hferrari@austral.edu.ar, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7024-3900>

² Doctor en Ingeniería, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Cuyo (Argentina), rmarino@fcen.uncu.edu.ar, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2654-3583>

³ Doctor en Ingeniería Nuclear, Universidad Austral – LIDTUA (Argentina), vherrero@austral.edu.ar, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9013-2135>

1. Introducción. - El comportamiento de un fluido al atravesar obstáculos con forma de cilindros es de suma importancia en aplicaciones de ingeniería tales como intercambiadores de calor, reactores nucleares, procesos químicos, estructuras civiles, etc. generando en esta área de conocimiento un problema tan interesante y complejo que ha motivado una gran cantidad de estudios experimentales y numéricos realizados por un importante número de investigadores. El entendimiento del flujo alrededor de distintas formas de obstáculos, su orientación y distancia relativa es necesaria para las aplicaciones mencionadas y muchas otras. Las características del flujo respecto al espaciamiento entre cilindros en distintos arreglos conducen a una transición de un régimen laminar a uno turbulento con la aparición de vórtices en el flujo [1-4], siendo el número de Reynolds un indicativo de la transición. Los estudios en arreglos de bancos de tubos en un flujo transversal han mostrado que no solamente tienen impacto en la pérdida de carga, sino que también producen efectos en la eficiencia del intercambio de calor [5], siendo esto de gran relevancia, por ejemplo, en el núcleo de un reactor nuclear, observándose diferentes resultados respecto tanto del ángulo de incidencia como del número de Reynolds [6]. Para el caso de intercambiadores que utilizan aire como fluido, tanto la geometría como el ángulo de incidencia del fluido respecto de los obstáculos son de suma importancia [7].

Se ha demostrado que a distintos ángulos de incidencia y números de Reynolds se verifica el principio de independencia al estudiar ciertos comportamientos para ángulos entre 40° Y 50° [8]. Schewe encontró que, en el caso de reactores nucleares, el coeficiente de arrastre y la frecuencia de desprendimiento de vórtices no son sensibles al número de Reynolds dentro del régimen subcrítico ($300 < Re < 3000$) [9]. En el artículo de Zhao [10] puede encontrarse una revisión actualizada donde se presentan varios cálculos numéricos del flujo cruzado alrededor de los cilindros en geometrías 2D y 3D.

Habiéndose estudiado tanto experimental como numéricamente el flujo que atraviesa en forma oblicua obstáculos cilíndricos [10-17], se ha observado con técnicas de visualización que el flujo muestra una fuerte dependencia con el número de Reynolds en la zona cercana a los obstáculos, pero sin efectos significativos en promedio en las zonas periódicas [18].

Al utilizar una configuración con obstáculos en forma de barras cilíndricas se observó que la distancia entre las mismas produce efectos en la dinámica del fluido que puede inducir vibraciones y así afectar la estabilidad de la estructura. De la misma manera, en la literatura se mencionan el estudio de las interacciones y simetrías en el flujo cuando dos barras están lo suficientemente cerca, identificando regiones donde pueden ocurrir separación de burbujas [19].

En este trabajo se presentan los estudios experimentales y su comparación con modelos teóricos del coeficiente de presión en la pared (C_p) alrededor de un obstáculo cilíndrico en un arreglo periódico para diferentes ángulos de inclinación respecto del flujo que lo atraviesa, como así también su dependencia del diámetro de las barras y la separación entre los obstáculos. En estudios anteriores se analizaron configuraciones similares [20] sin el estudio de la dependencia para distintos diámetros y espaciamientos entre cilindros, mostrando en este trabajo incluso algunas diferencias con los resultados obtenidos en el pasado.

2. Método y dispositivo experimental. - El dispositivo experimental, que puede verse en la fotografía de la Figura I, es similar al utilizado en estudios anteriores utilizando un canal rectangular por el cual fluye aire inyectado por un soplador axial.

El flujo es homogeneizado por un conjunto de tres mallas metálicas que se encuentran en la zona de ingreso del canal y que se encuentra a la derecha de la región central del dispositivo que se muestra en la Figura I, donde la uniformidad del perfil de velocidades se verificó midiendo los valores locales con un conjunto de anemómetros de hilo caliente. En la zona central se encuentran las barras cilíndricas las cuales pueden orientarse en diferentes ángulos cambiando la posición del panel circular móvil que se muestra en la Figura II.

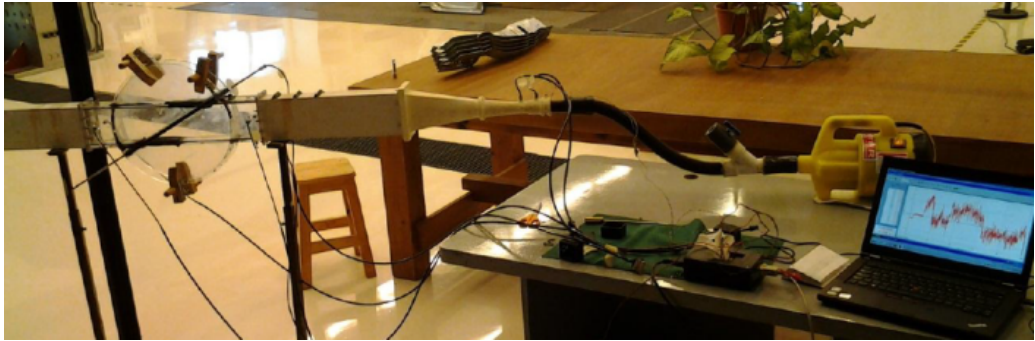


Figura I. Fotografía del dispositivo experimental.

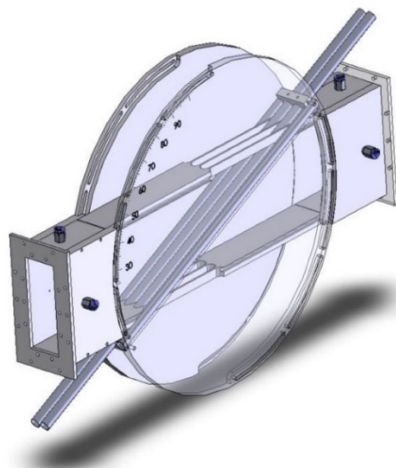


Figura II. Arreglo experimental. Región de prueba

El flujo en la sección de prueba (Figura II) es forzado a pasar a través de un obstáculo formado por cuatro barras cilíndricas, dos de ellas en la parte central y dos semibarras en las paredes del canal rectangular. A diferencia de estudios anteriores, se utilizaron tres conjuntos de cuatro barras con diámetros de 10.86 mm, 8.3 mm y 6.50 mm con la consiguiente separación entre ellas de 2 mm, 4.56 mm y 6.36 mm respectivamente. La inclinación de las barras respecto del flujo se mide con un goniómetro en la parte del disco móvil que permite una precisión de medio grado. La sección de salida evita la interferencia aguas abajo en el flujo de la sección de prueba y proporciona una ubicación conveniente para la medición de las condiciones de salida. El caudal se mide con un tubo Venturi (Figura III) ubicado antes de la entrada a la región de prueba. El Venturi está conectado a un sensor de presión diferencial DP Honeywell modelo SCX05 y también se colocó un sensor de temperatura RTD para controlar la temperatura del aire durante el experimento.

Las dimensiones de la sección de prueba son:

- Largo del canal: 500 mm Coordenada x
- Ancho del canal: 38.58 mm Coordenada y
- Altura del canal: 100 mm Coordenada z

Las dimensiones de los canales son:

- Largo del canal de ingreso: 400 mm
- Largo del canal de salida: 600 mm

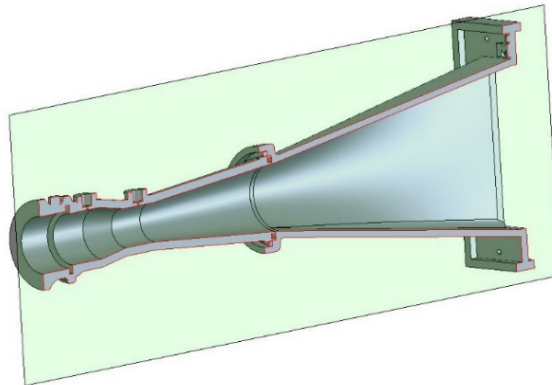


Figura III. Tubo de Venturi

En una de las dos barras centrales se realizó un orificio de 0.5 mm de diámetro en la posición del punto medio vertical, para medir la presión de pared al hacer girar manualmente la barra sobre su eje. Utilizando otro sensor similar de presión se midió la diferencia entre la presión en la superficie de la barra y la presión global en la sección de entrada.

Una vez alcanzada la estabilización de la temperatura del aire que ingresa con caudal constante en el canal, se registró la diferencia de presión entre la pared de la barra y la entrada para diferentes ángulos θ , de giro del punto de medición de la presión en un plano normal al eje de la barra (siendo $\theta = 0$ la dirección del flujo) (Figura IV), utilizando un goniómetro solidario a uno de los extremos de la barra. La inclinación de los obstáculos (barras) se fijó a ángulos $\alpha = 30^\circ, 60^\circ$ y 90° con respecto a la dirección del flujo.

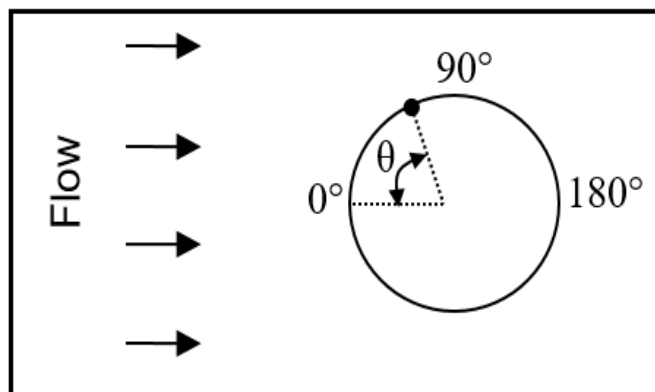


Figura IV. – Definición del ángulo de medición en coordenadas polares en la barra central.

3. Resultados. – En las Figuras V a VII se muestran las dependencias en θ , tomando el diámetro de las barras como parámetro, para ángulos α de inclinación de $30^\circ, 60^\circ$ y 90° en cada figura respectivamente.

Se define el coeficiente de presión de pared como (Fórmula I):

$$C_p(\theta) = \frac{P_w(\theta) - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho v_\infty^2} \quad (I)$$

en donde ρ simboliza la densidad del gas, $P_w(\theta)$ es la presión de pared en función del ángulo θ , y P_∞ y v_∞ corresponden a la presión y velocidad de entrada al canal, $v_\infty = \frac{\dot{m}}{\rho_\infty A_\infty}$ con \dot{m} la tasa de flujo másico y ρ_∞ y A_∞ la densidad del aire y el área de la sección de ingreso. Cada figura corresponde a mediciones realizadas para un ángulo α constante. Dado que se verificó que las mediciones eran simétricas para ángulos $180^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$, solamente se muestran los resultados en el rango $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

El diámetro hidráulico del sistema se calcula como $D_h = \frac{2}{(h^{-1} + \varepsilon^{-1})}$, en donde h corresponde a la altura del canal de medición y ε es el espacio entre las barras que es función del diámetro de las mismas al ser el ancho del canal fijo. Los números de Reynolds en el espacio entre barras calculado como $Re = \frac{v_\infty D_h}{\nu}$ resulta en valores de $Re = 1695$ para $d = 10.86$ mm; $Re = 3770$ para $d = 8.3$ mm y $Re = 5100$ para $d = 6.5$ mm.

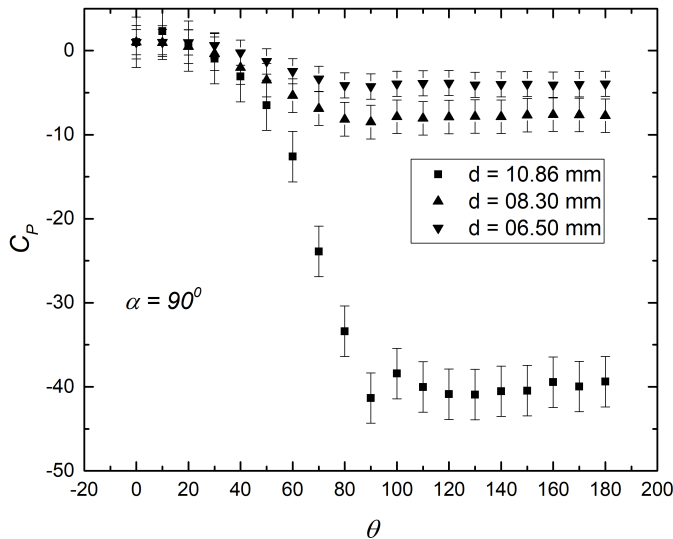


Figura V. Perfiles polares del coeficiente de presión para el arreglo de barras de distintos diámetros formando un ángulo de 90 grados respecto del flujo de aire.

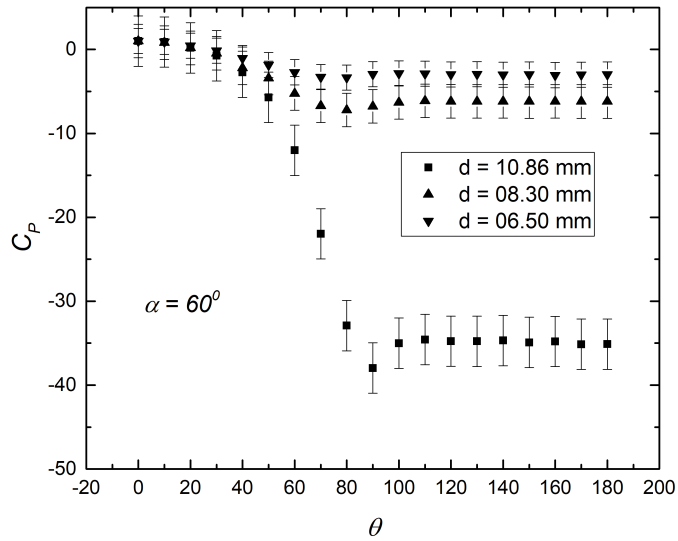


Figura VI. Perfiles polares del coeficiente de presión para el arreglo de barras de distintos diámetros formando un ángulo de 60 grados respecto del flujo de aire.

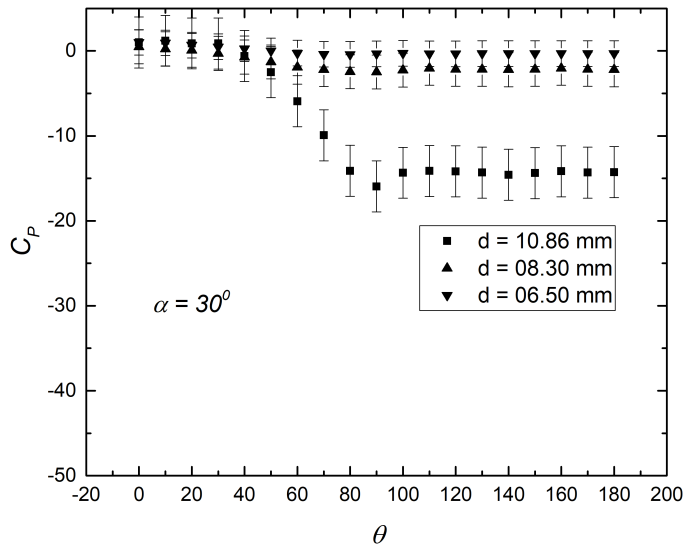


Figura VII. Perfiles polares del coeficiente de presión para el arreglo de barras de distintos diámetros formando un ángulo de 30 grados respecto del flujo de aire.

Las Figuras VIII a X muestran el coeficiente de la presión de pared C_p y su dependencia con el ángulo θ , dejando fijo en cada caso el diámetro $d = 10.86$ mm; 08.30 mm y 06.50 mm y tomando como parámetro los tres diferentes ángulos de inclinación de las barras respecto del flujo en el canal.

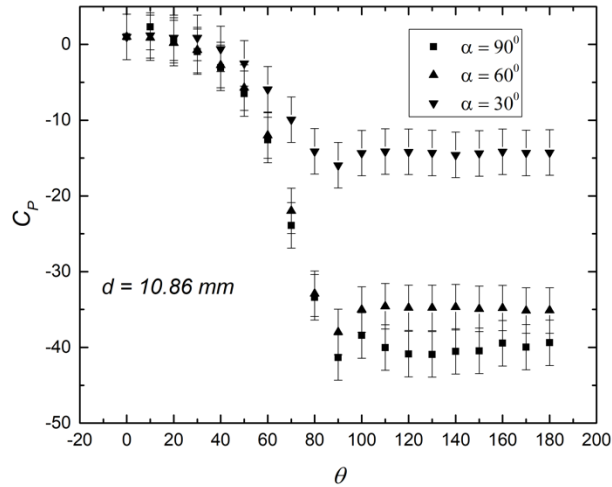


Figura VIII. Perfiles polares del coeficiente de presión para el diámetro $d = 10.86$ mm y tres diferentes ángulos de inclinación del arreglo de barras ($\alpha = 30^\circ$; 60° ; 90°).

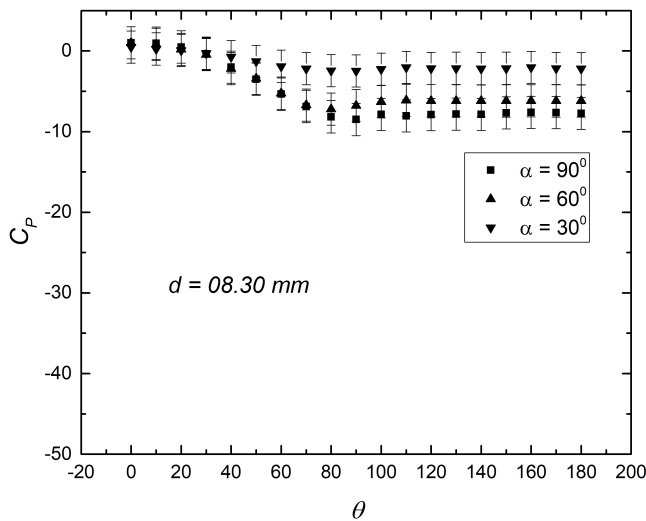


Figura IX. Perfiles polares del coeficiente de presión para el diámetro $d = 08.30$ mm y tres diferentes ángulos de inclinación del arreglo de barras ($\alpha = 30^\circ$; 60° ; 90°).

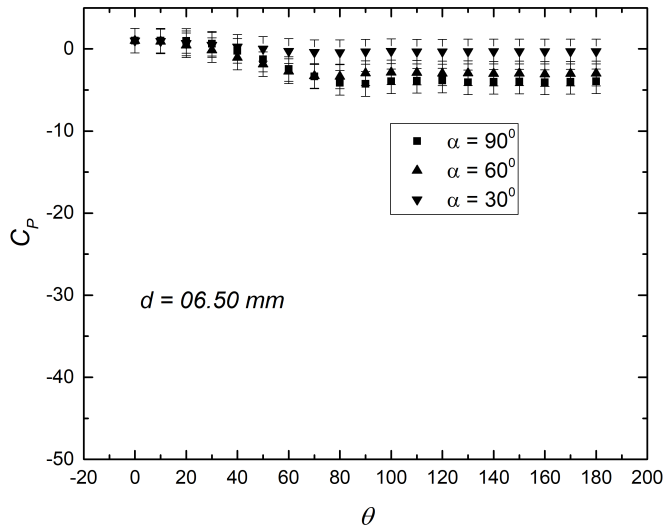


Figura X. Perfiles polares del coeficiente de presión para el diámetro $d = 06.50 \text{ mm}$ y tres diferentes ángulos de inclinación del arreglo de barras ($\alpha = 30^\circ$; 60° ; 90°).

Se puede observar en los resultados obtenidos, dentro del error experimental, que el C_p es independiente de la tasa de flujo utilizada en los experimentos[21]. La menor presión se obtiene siempre para el ángulo $\theta = 90^\circ$. Para ángulos $\theta > 90^\circ$ se observa una suave recuperación de la presión y luego la presión se mantiene constante hasta $\theta = 180^\circ$, lo cual es un indicador de la falta de desarrollo del flujo para estos ángulos. Para $\alpha = 90^\circ$ la recuperación de la presión ocurre hasta aproximadamente $\theta = 110^\circ$, más cercano a $\theta = 90^\circ$ que en un flujo que atraviesa una única barra aislada [22]. Esto sugiere que la presencia de barras cercanas dificulta el desarrollo del flujo con un consecuente retraso en la recuperación de la presión.

A medida que el arreglo de barras aumenta su inclinación respecto del flujo de aire (el valor de α decrece), los valores de presión mínima a $\theta = 90^\circ$ y la presión en la parte trasera de la barra a 180° aumenta. De la misma forma el ángulo de interrupción de la presión se mueve progresivamente a ángulos mayores, alcanzando un valor de $\theta = 140^\circ$ para $\alpha = 30^\circ$. Estos efectos son razonables ya que la forma de la intersección de las barras con un plano xy tiende a elipses que son mejores por su aerodinámica cuánto más largo es el eje paralelo al flujo Figura XI.

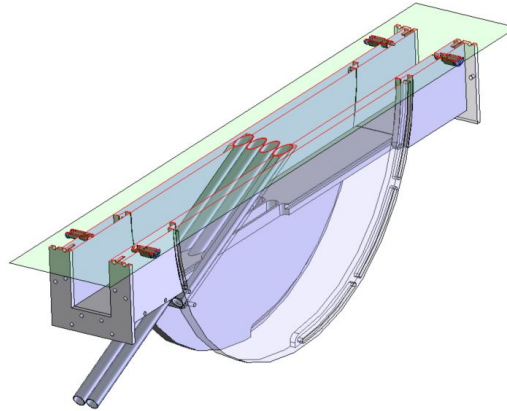


Figura XI. Visualización de las elipses formadas por la intersección de las barras con el plano xy a $z=0$, paralelo al flujo de aire

La Figura XII muestra la presión adimensional de la pared trasera promediada entre los caudales medidos para diferentes ángulos de inclinación y para diferentes diámetros de barras. Las correlaciones correspondientes para cada diámetro son:

$$C_p \text{ 10.86} = (-0.47 \pm 0.13) \alpha \pm (-0.5 \pm 0.5)$$

$$C_p \text{ 08.30} = (-0.10 \pm 0.02) \alpha \pm (0.8 \pm 0.8)$$

$$C_p \text{ 06.50} = (-0.07 \pm 0.01) \alpha \pm (1.8 \pm 0.4)$$

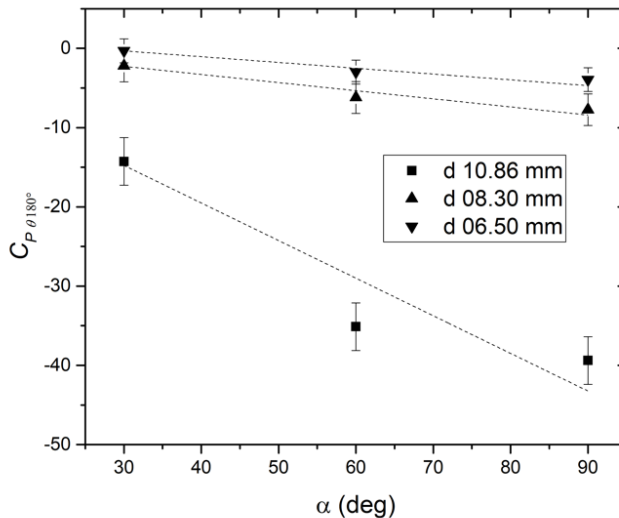


Figura XII. Dependencia del coeficiente de presión en la región trasera de la barra para diferentes diámetros y ángulos de inclinación de las barras.

En el presente trabajo, para el caso específico del arreglo de barras de diámetro $d = 10.86 \text{ mm}$, se obtuvieron valores en las correlaciones de $\tilde{C}_{D, 10.86}$ que difieren de los obtenidos por Marino [21]. En ese caso la tasa de flujo másico fue de 0.0825 kg/s . En la Figura XIII se comparan estas diferencias. Esto puede deberse a que el flujo entre las barras presenta un perfil plano, lo que significa una velocidad uniforme.

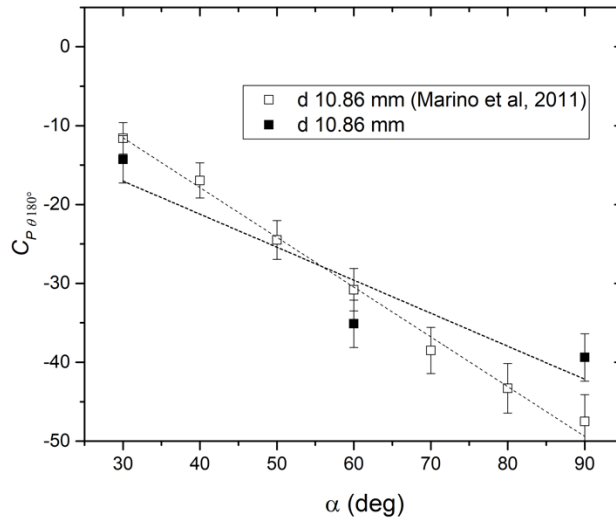


Figura XIII. Comparación para el mismo arreglo de barras de diámetro $d=10.86$ a una tasa de flujo másico $\dot{m} = 0.0825 \text{ kg/s}$ (Marino[21]) y una tasa de $\dot{m} = 0.031 \text{ kg/s}$

4. Modelo y análisis teórico. – Se desarrolló un modelo teórico del comportamiento del sistema en la separación entre barras, para comparar contra los resultados experimentales obtenidos para el caso del flujo perpendicular al arreglo de barras ($\alpha = 90^\circ$). En este modelo se desarrolló un caso de flujo bidimensional y ciertas simplificaciones para poder obtener el perfil del coeficiente de presión C_p .

4.1. Presión de pared en la separación entre barras a $\alpha = 90^\circ$. – Se calculó la presión de pared a $\alpha = 90^\circ$ considerando el caso de un arreglo de barras cilíndricas infinitas perpendiculares al flujo de aire. Para ello se analizó el balance de fuerzas en un pequeño volumen de control y los gradientes de presiones normales a las líneas de corrientes en un flujo bidimensional dado por Shapiro [23]:

$$\frac{\partial p}{\partial n} = \frac{\rho v^2}{R} \quad (II)$$

en donde R corresponde a la curvatura de las líneas de corriente.

Por simplicidad colocaremos el origen del sistema de coordenadas en el punto medio entre las dos barras centrales. De la Ecuación II utilizando la coordenada “y” que pasa por el centro de los cilindros y normal a las líneas de corriente determina la siguiente dependencia de la presión Figura XIV.

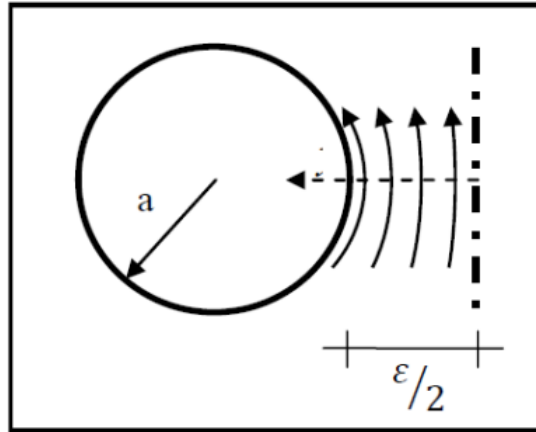


Figura XIV. Diagrama con las variables involucradas y sistema de referencia. A = radio del cilindro y ε = separación entre las barras

$$\frac{\partial p}{\partial n} = \frac{\rho v^2}{R(y)} \quad (III)$$

El radio de curvatura de las líneas de corriente $R(y)$ es infinito en el punto central del espaciado entre dos barras ($y = 0$), mientras que la curvatura en la pared de las barras es igual al radio de los cilindros ($y = \frac{\varepsilon}{2}$). Asumiendo una variación lineal de los radios de curvatura de las líneas de corriente y una velocidad promedio constante en el espaciado entre barras, se puede integrar la Ecuación III para obtener la diferencia de presiones entre el punto medio del espaciado ($y = 0$) y la pared ($y = \frac{\varepsilon}{2}$). El resultado que se obtiene es:

$$P_{(0)} - P_w = \frac{\varepsilon}{4a} \rho \bar{v}^2 \quad (IV)$$

En donde la velocidad promedio en el espaciado \bar{v} , satisface:

$$\bar{v} = v_\infty \frac{A_\infty}{A_g} \quad (V)$$

Donde A_∞ corresponde a la sección transversal de la región del canal libre de obstáculos y A_g corresponde al área mínima entre barras.

Utilizando la ecuación de Bernoulli:

$$P_\infty + \frac{1}{2} \rho v_\infty^2 = P_{(0)} + \frac{1}{2} \rho \bar{v}^2 \quad (VI)$$

Podemos obtener de esta forma usando la Ecuación I el coeficiente de presión a $\theta = 90^\circ$:

$$C_p(\theta = 90^\circ, \alpha = 90^\circ) = 1 - \left(1 + \frac{\varepsilon}{2a}\right) \left(\frac{A_\infty}{A_g}\right)^2 \quad (VII)$$

Cuyo resultado $C_p(90^\circ) = -47.95$ es muy cercano al obtenido experimentalmente (-45.8 ± 2.1) .

4.2. Presión de pared en la separación entre barras a $\alpha < 90^\circ$. – Dado que la sección transversal de una barra cilíndrica inclinada es una elipse con el semieje menor a y el semieje mayor $\frac{a}{\sin(\alpha)}$, el modelo anterior puede extenderse para $30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$, tomando el radio de curvatura en la pared de la barra $(y = \frac{\varepsilon}{2})$ como $\frac{a}{\sin^2(\alpha)}$ para $\theta = 90^\circ$. De la misma forma, el área mínima que resulta en la región entre barras, A_g , aumenta en un factor $\frac{1}{\sin(\alpha)}$, debido a la inclinación de las barras. Aproximando el flujo en el espacio entre barras circulares inclinadas, como el flujo en el espacio entre barras elípticas, perpendiculares al flujo, la Ecuación VII se puede extender a:

$$C_p(\theta = 90^\circ, \alpha) = 1 - \sin^2(\alpha) \left(1 + \frac{\varepsilon}{2a} \sin^2(\alpha) \right) \left(\frac{A_\infty}{A_g} \right)^2 \quad (VIII)$$

En las Figuras XV a XVIII se muestra la dependencia del coeficiente de presión de pared $C_p(\theta = 90^\circ)$ con el ángulo de inclinación entre el flujo de aire y el arreglo de barras, α , para $d = 10.86 \text{ mm}$; 08.30 mm and 06.50 mm y su comparación con los resultados obtenidos con el modelo descrito.

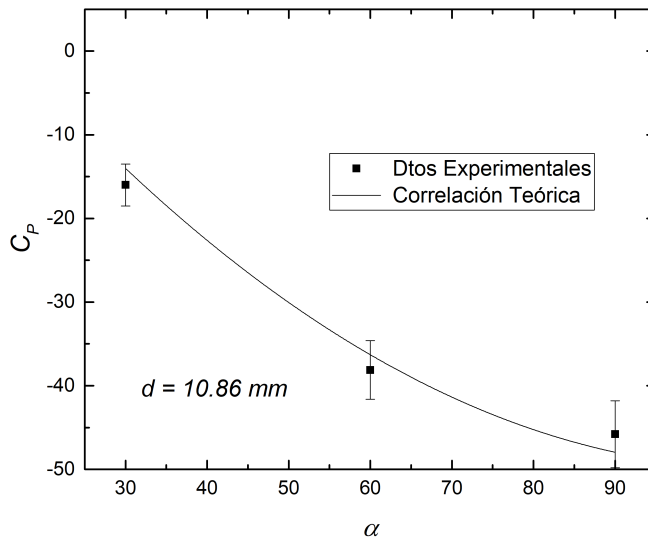


Figura XV. $C_p(\theta = 90^\circ)$ para un diámetro de barras $d = 10.86 \text{ mm}$ y ángulo de inclinación α (30° ; 60° ; 90°). Correlación entre resultados experimentales y del modelo teórico.

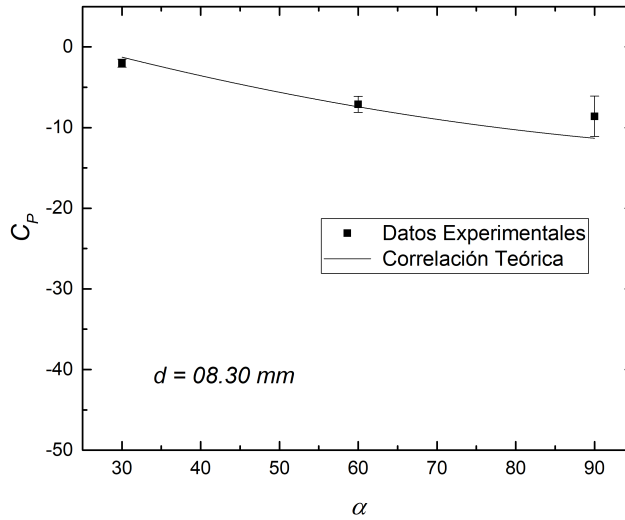


Figura XVI. $C_p(\theta = 90^\circ)$ para un diámetro de barras $d = 08.30$ mm y ángulo de inclinación α (30° ; 60° ; 90°). Correlación entre resultados experimentales y del modelo teórico.

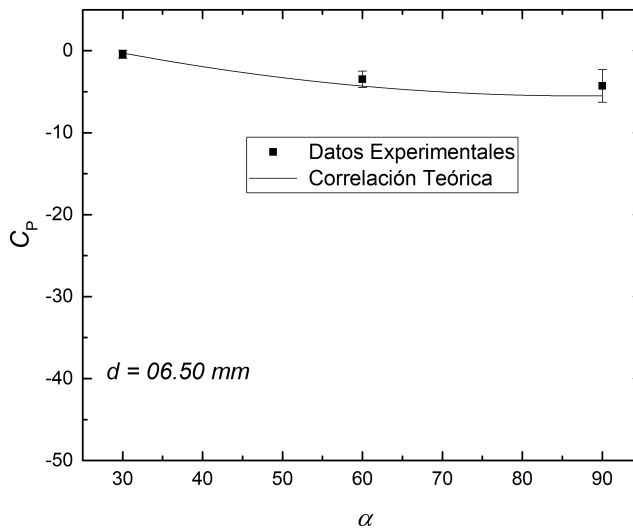


Figura XVII. $C_p(\theta = 90^\circ)$ para un diámetro de barras $d = 06.50$ mm y ángulo de inclinación α (30° ; 60° ; 90°). Correlación entre resultados experimentales y del modelo teórico.

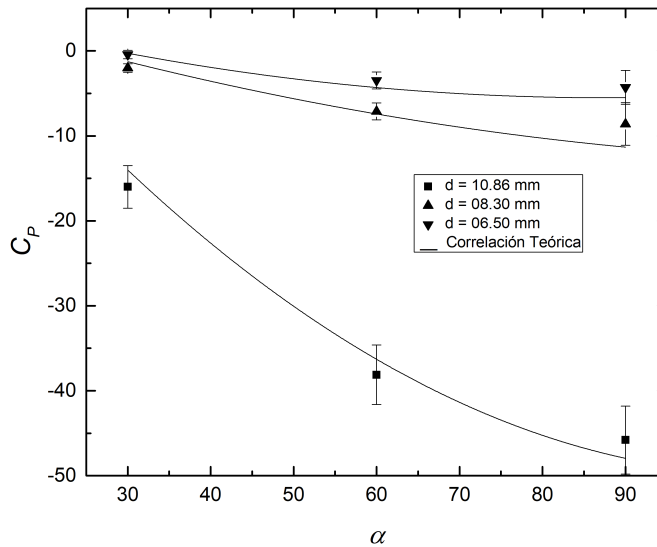


Figura XVIII. $C_p(\theta = 90^\circ)$ para los tres diámetros de barras y ángulo de inclinación α (30° ; 60° ; 90°). Correlación entre resultados experimentales y del modelo teórico.

5. Conclusiones. – Se estudió experimentalmente la distribución de la presión de pared para un flujo de aire que atraviesa un arreglo de barras cilíndricas para tres diferentes diámetros e inclinaciones de las barras respecto al flujo de aire. Los resultados obtenidos muestran una fuerte dependencia de los coeficientes con la inclinación de las barras no así con la tasa de flujo másico (con valores de 0.038 kg/seg; 0.030 kg/seg; 0.026 kg/seg). Pudo observarse experimentalmente que el coeficiente de presión de pared depende fuertemente del diámetro de las barras y que, a pesar de que a menor diámetro mayor es la separación entre barras, el retraso en el desarrollo del flujo detrás del obstáculo sigue estando presente en todas las condiciones experimentales, produciéndose en todos los casos una interrupción de la recuperación de la presión a partir de un ángulo $\theta = 100^\circ$.

Para los diferentes espacios entre barras analizados y las condiciones de turbulencia para el flujo de aire con números de Reynolds en el espacio entre barras entre 1695 y 5100, se analizó un modelo teórico considerando una velocidad promedio en el espaciado entre barras obteniéndose un acuerdo entre este modelo y los resultados experimentales obtenidos dentro de un error del 10 % acumulado entre las mediciones de todas las variables.

La inclinación de las barras cilíndricas permite aumentar la superficie de contacto con el fluido disminuyendo al mismo tiempo la pérdida de presión por la presencia del obstáculo. El modelo teórico permite calcular el coeficiente de presión para un ángulo $\theta = 90^\circ$, aplicación de gran utilidad, por ejemplo, en intercambiadores de calor.

6. Referencias. –

- [1] Zdravkovich, M., *Flow Around Circular Cylinders: 1 Fundamentals, 2 Applications*, Oxford University Press, 1997.
- [2] Bloor, M.S., “The transition to turbulence in the wake of a circular cylinder”. *J Fluid Mech* 19(2). pp. 290. 1964.
- [3] Gerrard J., “The mechanics of the formation region of vortices behind bluff bodies”. *J Fluid Mech* 25(2). pp. 401. 1966.
- [4] Roshko A., “Experiments on the flow past a circular cylinder at very high Reynolds number”. *J Fluid Mech* 10(3). pp. 345. 1961.
- [5] Seong-Yeon Y., Hwa-Kil K., Jin-Hyuk K., “A study on heat transfer characteristics for staggered tube banks in cross flow”, *Journal of mechanical science and technology*, 21. pp. 505. 2007.
- [6] R. Marino, V. Herrero, N. Silin, J. Converti, A. Clausse. “Polar Profile of the Wall Pressure on Cylindrical Bars in Yawed Gas Flow”, *Latin American Applied Research*, 40(3). pp. 287. 2010.
- [7] Meyer, C. J., Kröger, D. G., “Air-cooled heat exchanger inlet flow losses”, *Applied thermal Engineering*, 21. pp. 771. 2001.
- [8] Vakil, A., Green, S., “Drag and lift coefficients of inclined finite circular cylinders at moderate Reynolds numbers”, *Computer & Fluids*, 38. pp. 1771. 2009.
- [9] Schewe, G., “On the force fluctuations acting on a circular cylinder in cross-flow from subcritical up to transcritical Reynolds numbers”, *J. Fluid Mech.*, 133. pp 265. 1983.
- [10] Zhao, M., Cheng, L. and Zhou T., “Direct numerical simulation of three-dimensional flow past a yawed circular cylinder of infinite length”, *J. Fluids Structures*, 25. pp. 831. 2009.
- [11] King, R., “Vortex excited oscillations of yawed circular cylinders”, *ASME J. Fluids Eng.*, 99. pp. 495. 1977.
- [12] Thakur, A., Liu, X. and Marshall, J., “Wake flow of single and multiple yawed cylinders”, *ASME J. Fluids Eng.*, 126. pp. 861. 2004.
- [13] Chiba, K. and Horikawa, A., “Numerical solution for the flow of viscoelastic fluids around an inclined circular cylinder. II. The hydrodynamic force on a circular cylinder”, *Rheological Acta*, 26. pp. 255. 1987.
- [14] Marshall, J., “Wake dynamics of a yawed cylinder”, *ASME J. Fluids Eng.* 125. pp. 97. 2003.
- [15] Lucor, D. and Karniadakis G., “Effects of oblique inflow in vortex-induced vibrations”, *Flow, Turbulence and Combustion*, 71. pp. 375. 2003.
- [16] Kim, T., Hodson, H. and Lu T., “On the prediction of pressure drop across banks of inclined cylinders”, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 27. pp. 311. 2006.
- [17] Fowler, A. and Bejan, A., “Forced convection in banks of inclined cylinders at low Reynolds numbers”, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 15. pp. 90. 1994.
- [18] Paul, S.S., Tachie, M.F., Ormiston, S.J., “Experimental study of turbulent cross-flow in a staggered tube bundle using particle image velocimetry”, *international Journal of Heat and Fluid Flow*, 28. pp. 441. 2007.
- [19] Alam, Md. M., Zhou, Y., “Flow around two side-by-side closely spaced circular cylinders”, *Journal of fluid and structures*, 23. pp. 799. 2007.
- [20] Peybernès, J., “Evaluation of the forces generated by cross-flow on PWR fuel assembly”, *IAEA-TECDOC*, 13. pp. 1454. 2005.
- [21] Marino, R., Clausse, A., Herrero, V., Silin, N., Saravia, G., “Wall pressure profile around cylindrical rods in yawed gas flow”, *Journal of fluid engineering*, 133(7). 074502. 2011.
- [22] White, F. M., *Fluid mechanics*, McGraw-Hill, 3rd Ed., Mexico, 1996.
- [23] Shapiro, A., *The dynamics and thermodynamics of compressible flow*, The Ronald Press Co., New York, 1953.

Diseño y aplicación de un programa de seguridad basado en el comportamiento SBC para reducir los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección en el dique de arranque, proyecto minero Quellaveco

Design and implementation of a safety program based on SBC behavior to reduce incidents and accidents in drilling and injection activities in the arranque dam, quellaveco mining Project

Christ Jesús Barriga Paria ¹, Giuliana Marisol Puma Cruz ²

Recibido: Julio 2021

Aceptado: Noviembre 2021

Resumen.- La investigación “diseño y aplicación de un programa de seguridad basado en el comportamiento SBC para reducir los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección en el dique de arranque, proyecto minero Quellaveco- Moquegua 2020”. El objetivo fue diseñar un programa de seguridad basado en el comportamiento para reducir los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección en el proyecto minero Quellaveco, empresa contratista SBP S.A.C. La metodología del presente trabajo de investigación es de tipo aplicada tecnológica, se busca reducir los incidentes y accidentes mediante la creación de un programa de seguridad basada en el comportamiento, en razón a conocimientos de la ingeniería de minas, psicología para aplicar en las actividades de perforación e inyección, teniendo un enfoque cuantitativo. Los resultados del diseño y ejecución del programa de seguridad basada en el comportamiento (SBC), demuestra que, reduce los incidentes en las actividades de perforación e inyección y durante el tiempo de la investigación no se reportó ningún accidente. Finalmente se concluye que con la implementación y ejecución del programa se redujo las estadísticas de los incidentes, no se reportó accidentes, mejoro el desempeño en seguridad y promovió la conciencia sobre la seguridad y salud.

Palabras clave: accidente fatal; accidente incapacitante; control de riesgo; lechada impermeabilizante; regresión lineal.

Summary.- *The investigation "design of a safety program based on SBC behavior to reduce incidents and accidents in drilling and injection activities in the starting dam, Quellaveco-Moquegua 2020 mining project". The objective was to design a behavior-based safety program to reduce incidents and accidents in drilling and injection activities at the Quellaveco mining project, a contractor company SBP S.A.C. The methodology of this research work is of an applied technological type, I seek to reduce incidents and accidents by creating a safety program based on behavior, based on knowledge of mining engineering, psychology to apply in drilling activities and injection, having a quantitative approach. The results of the design and execution of the behavior-based safety (SBC) program show that it reduces incidents in drilling and injection activities and*

¹ Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Moquegua (Perú), cbarrigap@unam.edu.pe, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7130-9297>

² Ingeniería de Minas, Universidad Nacional de Moquegua (Perú), pumagiuliana@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5776-4664>

during the time of the investigation no accidents were reported. Finally, it is concluded that with the execution of the program the statistics of incidents were reduced, no accidents were reported, improved safety performance, and promoted awareness about safety and health, generating a new positive attitude on the part of workers.

Keywords: *fatal accident; disabling accident; risk control; waterproofing grout; linear regression.*

1. Introducción. - La seguridad basada en el comportamiento es un proceso que busca mediante la observación de comportamientos identificar los actos subestándares, que generen algunas lesiones, las cuales se pretenden prever mediante el programa de seguridad basada en el comportamiento, se realizara planes de acción como retroalimentación, campañas y talleres para reducción de comportamientos inseguros [1,2,3].

Para aplicar el programa de seguridad se hará una colección de datos según factores psicológicos, sociales, institucionales y culturales influyentes en la percepción del riesgo [4], además trabajar más horas puede causar estrés y sobrecargar la vida personal de la persona, lo que podría interferir tanto con los trabajadores como con sus familias [5]. En busca de mantener un ambiente laboral seguro en la industria minera se tiene una serie de protecciones institucionales estandarizadas. [6]. En las empresas mineras tales como minera San Rafael S.A. [7], mina Angélica I, empresa Alma Minerals Perú S.A. [8], contratista IESA S.A en mina Arcata [9], Servicentro Ortiz SRL en mina Antamina [10], Tecniacero S.A.C. de la compañía minera Antapaccay-Cusco [11], J.R. VER S.A.C. en la unidad minera Toquepala [12], la implementación de un programa de seguridad basado en el comportamiento redujo significativamente los actos subestándares.

Este estudio se enfoca en diseñar un programa de seguridad basado en el comportamiento para reducir los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección en el proyecto minero Quellaveco, empresa contratista SBP S.A.C. E n este estudio también se determinar la influencia del programa de seguridad basado en el comportamiento para reducir los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección, en el proyecto minero Quellaveco, empresa contratista SBP S.A.C.

Esta investigación es fundamental para replicar en otros proyectos, debido a que es una empresa multinacional que construye proyectos de ingeniería civil especializada, infraestructura portuaria, estructuras para sótanos, túneles, obras para el manejo de aguas, construcción de cimentaciones profundas, proyectos de ingeniería geotécnica, anclajes, estabilización de excavadoras, taludes y mejoramiento de suelos.

1.1 Descripción de la problemática. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT) cada año tiene lugar 317 millones de accidentes laborales, de los cuáles 2.3 millones son mortales. El coste de esta adversidad diaria es muy grande y la carga económica de las malas prácticas de seguridad y salud de las empresas suponen un 4 por ciento del producto interior bruto global de cada año [13]. Así mismo, durante el periodo 2009 al 2017 en los 28 países de la Unión europea en la industria minería se produjeron 94,651 accidentes laborales no mortales que produjeron algún tipo de lesión al trabajador y 603 accidentes fatales [14].

En el Perú, según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) [15]., en los últimos 9 años en la industria minera se han registrado en total 840,513 incidentes, 54,921 accidentes leves, 10,978 accidentes incapacitantes, 344 accidentes fatales y 3'080,946 días laborales perdidos. Conforme al último análisis estadístico de accidentes mortales del ministerio de energía y minas en el 2016, se registró un total de 34 accidentes mortales de los cuales 19 se dio por actos subestándar, 8 por condición subestándar, 7 por acto y condición subestándar.

Esta situación se ha visto reflejada en la construcción de la cortina de inyección de la presa de relave se han registrado 56 incidentes y 02 accidentes leves, durante el periodo 2019 a 2020-I, de los cuales un accidente leve corresponde a la actividad de perforación que se realizó con el cambio de mordaza de la perforadora y el otro a inyección, ruptura de packer en el interior del taladro, proyectando fluido de lechada de cemento, ambos según las investigaciones realizadas muestran incidencia en causas inmediatas por actos subestándares.

Año	Incidentes	Accidentes Leves	Accidentes incapacitantes
2020 – I	19	0	0
2019	37	2	0
TOTAL	56	2	0

Tabla I. Estadística de incidentes y accidentes

Por lo cual en la actualidad la empresa ha optado por implementar una herramienta de gestión, Seguridad Basada en el Comportamiento, que tiene como objetivo brindar a la gerencia y los trabajadores el poder para reducir y prevenir los accidentes en el ambiente de trabajo reduciendo los sesgos cognitivos que se identifican en el ámbito de la gestión de riesgos [16], mejorar el desempeño en seguridad y promover la conciencia sobre la seguridad y salud, generando una nueva actitud positiva por parte de los trabajadores.

En su investigación Mendoza [17] denominada “Gestión de la seguridad basada en el comportamiento”, selecciono 30 artículos en idioma inglés y español, por medio de una revisión sistemática exploratoria, en las cuales se demostró que aplicando el programa de seguridad basado en el comportamiento se redujo los índices de siniestralidad en un 80%, además el compromiso de la alta gerencia es fundamental para que el programa funcione, desarrollando así una cultura en seguridad.

1.2 Principios básicos para implementar el programa seguridad basada en el comportamiento. Martin [3], hay 3 principios básicos, que hemos identificado y que creemos tienen un impacto inmediato y significativo para la organización:

1. Incluir la seguridad en los objetivos de la organización, como eje fundamental de cualquier actuación en este sentido.
2. No buscar culpables e ir más allá en el análisis de incidentes y accidentes. Es cierto que la mayoría de los accidentes tienen su origen en un fallo humano, pero lo que hay que preguntarse es por qué ocurre ese fallo y si estamos haciendo todo lo posible para que ese "mal funcionamiento" del sistema no ocurra.
3. Eliminar la palabra castigo del vocabulario preventivo. Si no hay culpables, no tienen sentido las represalias y sí el valor de las soluciones.

Asimismo, se debe tomar en cuenta que para mejorar la aceptación del programa seguridad basada, el diseño de la retroalimentación debe basarse en los deseos de los trabajadores con respecto a cómo se presenta la retroalimentación [18]. Por otro lado, mediante la impartición de enfoques de diseño experimental reflexivos (es decir, con elementos de juegos y aprendizaje inductivo práctico), el rendimiento de la simulación en el caso de conductores se correlaciona fuertemente con el conocimiento del mundo real y la adquisición de habilidades, mejorando su capacidad laboral [19].

1.3 Hypothesis (H1). La aplicación del programa de seguridad basado en el comportamiento reduce los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección, durante la construcción del Dique de Arranque del proyecto minero Quellaveco, en la empresa contratista SBP S.A.C.

2. Materiales y métodos. - Tiene un enfoque cuantitativo, utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento de una población de acuerdo a Hernández [20].

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó un muestreo no probabilístico según un criterio, debido a que el tamaño de la muestra es pequeño seleccionando el tamaño de muestra total de $n=111$, dividida en 03 guardias, el cual contó con 02 trabajadores por guardia como observadores en el programa SBC [21]. Los participantes fueron reclutados del proyecto minero Quellaveco, en la obra perforación e inyecciones de la Cortafuga Final de la construcción de la presa de relave que está ubicado bajo el dique de arranque, realizado por la empresa SBP S.A.C de la obra Perforación e inyecciones de la Cortafuga Final de la construcción de la presa de relave (Plinto Estribo Izquierdo y Plinto Estribo Derecho).

2.1. Instrumento experimental. - El instrumento de medición, utilizado en el estudio de la seguridad basada en el comportamiento, llevada a cabo en empresa SBP S.A.C. en la obra perforación e inyecciones de la Cortafuga Final de la construcción de la presa de relave, fue "Cartilla de observación de comportamiento", que ha permitido realizar un registro sistemático, válido y confiable del comportamiento en las actividades de perforación e inyección, su confiabilidad se determinó con métodos de correlación para este estudio mínimos cuadrados y regresión lineal.

Siendo la corrección conformada por los comportamientos y planes de acciones como variable independiente "X" y los incidentes y accidentes, como variables dependientes "Y", teniendo como resultado una relación inversamente proporción (pendiente negativa).

Para estimar la confiabilidad del instrumento se aplicó sobre los resultados obtenidos de la muestra, el método de correlación por mínimos cuadrados y regresión lineal, en el cual si obtengo 0.25 en la correlación o coeficiente, esto indica baja confiabilidad; si el resultado es 0.50, la confiabilidad es media o regular. En cambio, si supera el 0.75 es aceptable, y si es mayor a 0.90 es elevada, para tomar muy en cuenta. En donde el coeficiente de correlación es de 0.99, aplicando la medida de estabilidad cada mes.

El método que se aplica en el instrumento para la recolección de datos es la observación y cuestionarios, en la cual el observador registra los comportamientos [22], en la cartilla de comportamientos de las actividades de perforación e inyección, este instrumento está compuesto por varias partes las cuales se describen:

1. Datos del observador y de la persona observada: Nombre del observador, fecha, actividad observada, frente de trabajo, tiempo en el proyecto de la persona observada, edad, turno de la persona observada, día del turno de la persona observada.
2. Comportamiento en las actividades
 - Comportamiento en la actividad de perforación
 - P1 Planificación de la actividad / herramientas de gestión.
 - 1.1 El trabajador elabora su ATS/ IPERC y luego los hace firmar por el personal competente y autorizado.
 - 1.2 Elabora sus permisos de alto riesgo.
 - 1.3 Elabora los check list correspondientes a la actividad.
 - 1.4 El trabajador mantiene la difusión de su JSA en el área de trabajo.
 - P2 EPP
 - 2.1 Usa de forma correcta el casco.
 - 2.2 Usa de forma correcta la protección auditiva (tapones y orejeras).
 - 2.3 Usa y mantiene en buen estado el respirador.
 - 2.4 Usa guantes, guantes antigolpes de acuerdo con la actividad que está realizando y está en buen estado.

- 2.5 Usa lentes de seguridad de acuerdo con la actividad que está realizando y está en buen estado (No rayado o roto).
- 2.6 Usa zapato de seguridad con protección metatarzal.
- 2.7 Usa arnés y línea de vida en buen estado.
- P3 Revisión de equipos y herramientas.
- 3.1 El trabajador se asegura que el equipo cuente con Kit antiderrame, extintor en buen estado.
- 3.2 El trabajador inspecciona las guardas y sensores de bloqueo antes de iniciar de iniciar la actividad.
- 3.3 Herramientas inspeccionadas y almacenamiento correcto.
- P4 revisión de plataforma de trabajo.
- 4.1 El trabajador señala su área de trabajo.
- 4.2 Realiza la inspección de los accesos, plataforma de trabajo nivelada y el punto a perforar.
- P5 Traslado y posicionamiento de la perforadora
- 5.1 Colocarse en línea de fuego
- 5.2 El trabajador mantiene las manos en los controles de mando.
- P6 instalación de la Compresora para la perforación
- 6.1 El trabajador delimitado su área con barras extensibles/cinta de seguridad y barricada rojo.
- 6.2 El trabajador inspecciona las mangueras y se asegura que cuentan antilatigazos o whip check en buen estado.
- 6.3 El encendido y apagado de la compresora de aire lo realiza un trabajador competente.
- P7 Ejecución de la actividad
- 7.1 El trabajador coloca su tarjeta y candado de bloqueo.
- 7.2 Línea de fuego.
- 7.3 Hacen uso del power grip para manipular las tuberías de perforación.
- 7.4 El trabajador señala su área de trabajo.
- 7.5 Los miembros del trabajo mantienen comunicación efectiva durante la actividad.
- 7.6 Al levantar cargas se mantiene un peso máximo de 25 kg por persona.
- 7.7 El trabajador hace uso de su arnés en pendiente de inclinaciones mayores a 18 °.
- P8 Orden y limpieza.
- 8.1 Orden y limpieza antes, durante y después del trabajo.
- 8.2 Al generar residuos el trabajador realiza la correcta segregación de residuos.
- Comportamiento en la actividad de inyección
 - I1 Planificación de la actividad / herramientas de gestión.
 - 1.1 El trabajador elabora su ATS/ IPERC y luego los hace firmar por el personal competente y autorizado.
 - 1.2 Elabora sus permisos de alto riesgo.
 - 1.3 Elabora los check list correspondientes a la actividad.
 - 1.4 El trabajador mantiene la difusión de su JSA en el área de trabajo.
 - I2 EPP.
 - 2.1 Usa de forma correcta el casco.
 - 2.2 Usa de forma correcta la protección auditiva (tapones y orejeras).
 - 2.3 Usa y mantiene en buen estado el respirador.
 - 2.4 Usa lentes de seguridad google.
 - 2.5 Usa zapato de seguridad con protección metatarzal.
 - 2.6 Usa arnés y línea de vida en buen estado.
 - 2.7 Usa careta facial en buen estado.
 - I3 Revisión de equipos y herramientas
 - 3.1 La central de inyección cuenta con Kit antiderrame, extintor en buen estado
 - 3.2 Línea de inyección (mangueras), batería de inyección, válvulas, packer, nitrógeno en buen estado.

- 3.3 Herramienta inspección y almacenamiento correcto
- I4 Ejecución de la actividad
- 4.1 El trabajador coloca su tarjeta y candado de bloqueo.
- 4.2 Línea de fuego.
- 4.3 El trabajador señala su área de trabajo.
- 4.4 Los miembros del trabajo mantienen comunicación efectiva durante la actividad.
- 4.5 Al levantar cargas se mantiene un peso máximo de 25 kg por persona.
- 4.6 El trabajador hace uso de su arnés en pendiente de inclinación mayor a 18 ° (proceso de inyección).
- I5. Orden y limpieza.
- 5.1 Orden y limpieza antes, durante y después del trabajo.
- 5.2 Almacenamiento correcto de los residuos.

El instrumento presenta la siguiente escala de medición, como se observa en la Figura I.

ACT. O.	ITEM	COMPORTAMIENTO	S	I	B	P.E.
---------	------	----------------	---	---	---	------

Figura I. Items de la cartilla de observacion de comportamiento.

Donde:

- ACT. O: Actividad observada.
- ITEM: Numero de los comportamientos.
- Comportamiento: Son los comportamientos observados.
- S: Comportamiento seguro, respuesta representada con un aspa, según el comportamiento observado.
- I: Comportamiento inseguro, respuesta representada con un aspa, según el comportamiento observado.
- B: Barreras, respuesta en escala nominal de 1. Falta de experiencia, 2. Presión de tiempos, 3. Atajos, 4. No hay una sanción, 5. No es cómodo, 6. Olvido, 7. Distraído, 8. Falta de supervisión, 9. No entiendo la indicación dada, 10. Cansancio, 11. Exceso de confianza.
- P. E: Parte expuesta, respuesta en escala nominal de 1. Cabeza, 2. Ojos, 3. Cara, 4. Oídos, 5. Pecho, 6. Brazos, 7. Mano, 8. Piernas, 9. Pies, 10. Cuerpo entero.

Cultura de seguridad salud ocupacional; es un conjunto de valores, principios, normas, costumbres, comportamientos y conocimientos que comparten los miembros de una empresa, para promover un trabajo seguro y saludable, en el que están incluidos el titular de actividad minera, las empresas contratistas mineras, las empresas contratista de actividades conexas y los trabajadores de las antes mencionadas, para la prevención de enfermedades ocupación y daño a las personas.

Para la evaluación de la cultura de seguridad se aplicó una encuesta a 85 trabajadores de la empresa contratista SBP S.A.C., para determinar cual es el nivel de seguridad manejado en la empresa antes de aplicar el programa SBC, formulada en base al Reglamento de Seguridad y Salud ocupación vigente a la fecha D.S. 024-2016 EM y su modificadora D.S. 023-2017-EM, Capítulo I, subcapítulo II, que se detalla en la Tabla II. La encuesta en mencion esta elaborada en la escala de Likert, aplicando el método de alfa de Cronbach [24], tiene una confiabilidad de 0.713, 1.

Dimensión	Pregunta
Valores	¿Considera que para su empresa la seguridad es un valor importante?
Principios	¿Considera que la seguridad es un valor importante? ¿Se conoce la política integrada de gestión de calidad,

	medio ambiente, seguridad y salud ocupacional?
	¿Se conoce el reglamento interno de seguridad y salud ocupacional?
Normas	¿Le han difundido el procedimiento escrito de trabajo seguro?
	¿Se conoce la legislación peruano vigente 29873?
Comportamiento	¿Realiza un análisis de riesgo antes de iniciar su trabajo?
	¿Antes de empezar su trabajo, espera las indicaciones del supervisor o capataz encargado?
Comportamiento	¿Hace uso de todos los equipos de protección personal que se le han entregado?
	¿Con que frecuencia expone parte de su cuerpo a la línea de fuego, cuando realiza sus actividades?

Tabla II. Ítems de preguntas de la encuesta por dimensiones.

2.2. Variable independiente. - Este estudio empleo un diseño del programa de seguridad basado en el comportamiento, teniendo como indicadores el n° de comportamientos proactivos, n° de comportamientos reactivos, n° capacitaciones, n° talleres, n° campañas y n° retroalimentaciones.

2.3. Variable dependiente. - La herramienta que se utilizo fue el informe de investigacion detallado por incidente y accidente; ademas se utilizo como indicadores numero de incidentes y accidents por grado de severidad

2.4. Procedimiento. - La confiabilidad de los datos, instrumentos del programa de seguridad basada en el comportamiento en el caso de la encuesta se desarrolló mediante el método de correlación, alfa de Cronbach, calculada a través de la varianza de los datos obtenidos. [23]

Se aplicó el programa estadístico Infostat, regresión lineal por método de mínimos cuadrados para determinar la confiabilidad de los resultados, según Sarabia, J. y Pascual M. [24].

La forma de la función que relaciona las variables X e Y pueden ser de muchos tipos. En primer lugar, consideraremos que el ajuste se realiza mediante una recta con lo que la función será de la forma $y=a+bx$, por tanto, los parámetros a determinar son a y; $b=0$, se rechaza H_0 , $b \neq 0$, se acepta H_1 [25].

El ajuste de los mínimos cuadrados consiste en hacer mínima la suma de los cuadrados de las distancias entre los valores observados y los valores ajustados, teóricos o predichos por el modelo de regresión.

Calculamos a y b haciendo mínima la suma de cuadrados de los residuos. La función para minimizar es entonces:

$$\phi(a, b) = \sum_{i=1}^N ei^2 = \sum_{i=1}^N (yi - y\hat{i})^2 = \sum_{i=1}^N (yi - a - bxi)^2 \quad (1)$$

Para obtener los valores de a y b que hacen mínima la expresión anterior, tenemos que calcular las derivadas parciales respecto a y b, igualarlas a cero y resolver el sistema. Tenemos que:

$$\frac{\partial}{\partial a} \phi(a, b) = -2 \sum_{i=1}^N (yi - a - bxi) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial b} \phi(a, b) = -2 \sum_{i=1}^N (y_i - a - bx_i)x_i = 0, \quad (3)$$

Vamos ahora a probar la descomposicion de la varianza:

$$SY^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(y_i - \hat{y})^2] = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(y_i - \bar{y})^2] \quad (4)$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y} + e_i)^2 \quad (5)$$

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e_i^2 + \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})e_i \quad (6)$$

$$= S\hat{y}^2 + Se^2 + \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})e_i \quad (7)$$

Veamos que:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})e_i = 0 \quad (8)$$

Efectivamente:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})e_i = \sum_{i=1}^N [a + bx_i - (a + b\bar{x})]e_i \quad (9)$$

$$= b \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})e_i \quad (10)$$

$$= b \sum_{i=1}^N x_i e_i - b\bar{x} \sum_{i=1}^N e_i = 0 \quad (11)$$

Al tener en cuenta las formulas anteriores. Puesto que:

$$\hat{Y} = a + bx \quad (12)$$

Se verifica que:

$$S_y^2 = b^2 s_x^2 \quad (13)$$

$$= \frac{S_{xy}^2}{S_x^4} * S_X^2 = \frac{S_{xy}^2}{S_x^2 * S_y^2} * S_y^2 \quad (14)$$

Para probar la ultima propiedad escribimos:

$$S_e^2 = S_y^2 - S_y^2 \quad (15)$$

Y hacienda uso de la propiedad anterior:

$$S_e^2 = S_y^2 - r^2 S_y^2 = S_y^2 (1 - r^2) \quad (16)$$

Lo que prueba el resultado. Las medidas de ajuste permiten estudiar, la calidad del ajuste de la recta de regresión. Se denomina coeficiente de determinación de a regression de Y sobre X a:

$$R_{y^2|x} = \frac{S_y^2}{S_y^2} = 1 - \frac{S_e^2}{S_y^2} \quad (17)$$

A partir de (6):

$$R_{y|x}^2 = x \quad (18)$$

Se puede interpretar como el porcentaje de la variabilidad de la variable dependiente explicada por el modelo de regression.

El coeficiente de determinación verifica las siguientes propiedades:

$$0 \leq R_{y^2|x} \leq 1 \text{ y } -1 \leq R_{y|x} \leq 1 \quad (19)$$

El deficiet de determinacion es igual al cuadrado del coeficiente de correlacion lineal:

$$R_{y^2|x} = r^2 \quad (20)$$

En cuanto a la interpretacion analitica de es preciso analizar los posibles valores de este coeficiente:

- $R_{y|x}^2 = r = 1 \Rightarrow S_e^2 = 0$. En este caso; En este caso, diremos que existe correlación perfecta positiva. Es decir, todos los valores teóricos coinciden con los observados y por tanto, la dependencia es funcional. Además, el adjetivo positivo indica que ambas variables varían en el mismo sentido.
- $R_{y|x}^2 = r = -1 \Rightarrow S_e^2 = 0$. La correlación es perfecta negativa. Es decir, la dependencia también es funcional pero las variables varían en sentidos opuestos,
- $R_{y|x}^2 = r = 0 \Rightarrow S_e^2 = S_y^2$. Las variables no están relacionadas y la correlación es nula. No existe entre las variables una dependencia de tipo lineal. Sin embargo, puede existir otro tipo de dependencia.
- Si $-1 < R_{y|x}^2 = r < 0$. La correlación es negativa y es tanto más intensa cuanto más próxima este
- $0 < R_{y|x}^2 = r < 1$. La correlación es positiva, existiendo mayor relación cuanto más próximo este $R_{y|x}^2$ a 1.

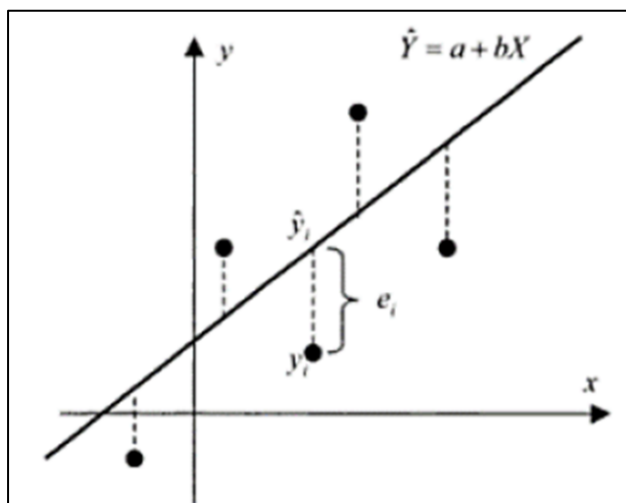


Figura II. Regresión lineal.

3. Resultados. - En los resultados se consideró la información de incidentes y accidentes del proyecto Quellaveco, empresa contratista SBP S.A.C., antes y durante la aplicación del programa así mismo se aplicó exámenes en las capacitaciones, con una calificación máxima de 20 y mínima de 0 para medir el progreso del programa SBC, cada pregunta tiene una valoración en función a este de puede determinar la evolución del programa SBC. La presentación de resultados está orientada y organizada estructuralmente según los objetivos específicos y objetivo general planteado en la presente investigación.

3.1. Diseño del programa de seguridad basado en el comportamiento. - El diseño del programa SBC está basado en la observación de los comportamientos (seguros e inseguros) y la ejecución de planes de acciones (capacitaciones, talleres, campañas), para la reducción de incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección en la empresa SBP SAC, proyecto minero Quellaveco. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla III.

N° Mes	Programa seguridad basada en el comportamiento			Accidentes e incidentes	
	Comportamientos seguros	Comportamientos inseguros	Capacitaciones talleres, campañas	N° accidentes	N° incidentes
M1	13	107	1	0	5
M2	39	82	1	0	4
M3	53	70	2	0	3
M4	82	44	2	0	2
M5	95	29	3	0	2
M6	110	18	3	0	1

Tabla III. Resumen de los resultados del programa de seguridad basado en el comportamiento

Comportamientos inseguros y seguros durante la ejecución del programa SBC en meses.

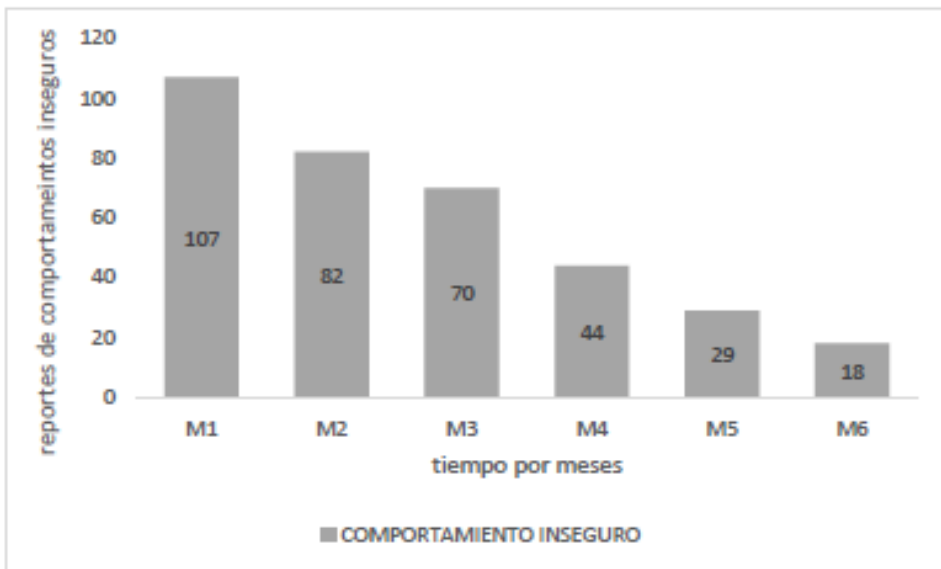


Figura III. Comportamientos inseguros durante la ejecución del programa SBC.

En la Figura III, se observa los comportamientos inseguros, reportados durante los meses de ejecución del programa SBC, que tiene una tendencia decreciente, representando el mayor reporte en el primer trimestre con un total de 259 comportamientos inseguros.

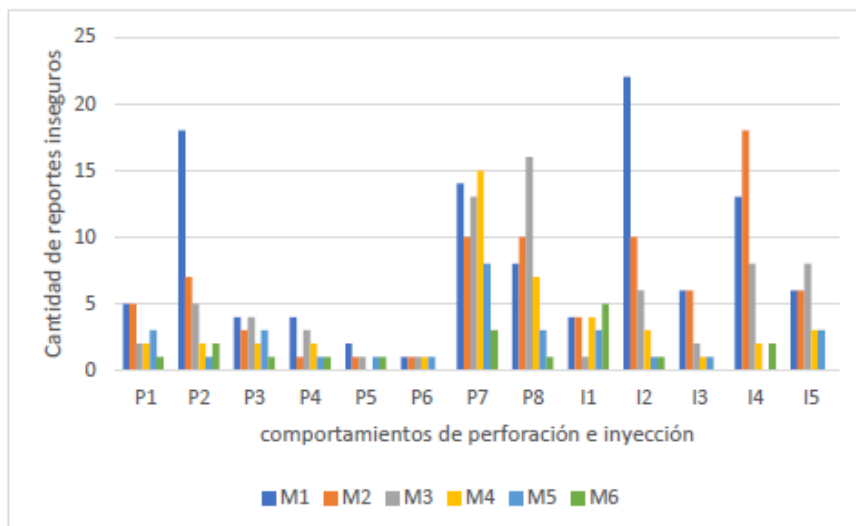


Figura IV. Evolución de comportamientos inseguros observados en 6 meses de aplicación del programa SBC.

En la Figura IV, se observa la evolución gráfica sobre los comportamientos inseguros observados, los cuales destacan por su mayor incidencia:

I2: EPP en la actividad de inyección.

I4: Ejecución de la actividad en la actividad de inyección.

P8: Orden y limpieza en la actividad de perforación.

P7: Ejecución de la actividad en la actividad de perforación

I1: Planificación de la actividad / herramientas de gestión en la actividad de inyección.

Estos resultados indican que los trabajadores de empresa SBP S.A.C. no usan de forma correcta sus equipos de protección personal como casco, respiradores, protección auditiva, lentes de seguridad, guantes, zapatos, metatarzal y arnés en las pendientes mayores a 18° según los estándares del proyecto minero Quellaveco.

Por otra parte, los trabajadores no cumplen con los estándares del proyecto en la segregación de residuos sólidos como tampoco cuentan con las difusiones actualizadas en sus procedimientos de trabajo seguro (JSA) y en algunos casos se reporta que no cuentan con su procedimiento en campo.

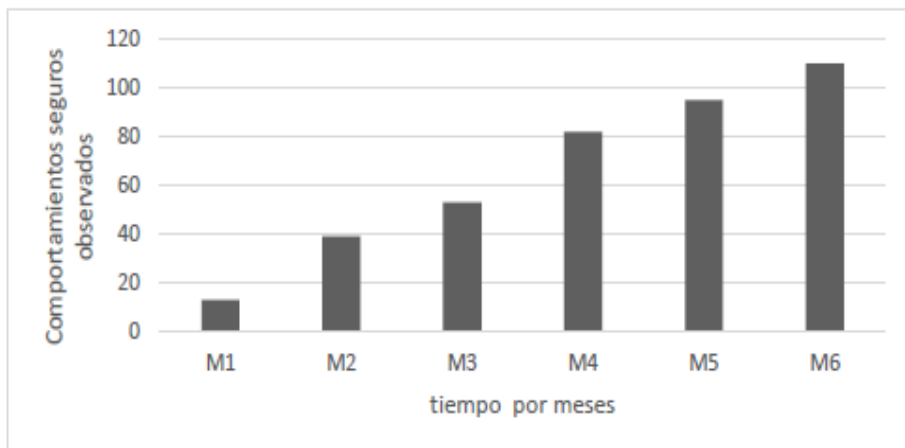


Figura V. Comportamientos inseguros durante la ejecución del programa SBC.

Los comportamientos seguros observados muestran una tendencia creciente como se observa en la Figura V, estos comportamientos aumentan en función del tiempo, como muestra la Figura VI, las cartillas de comportamientos registran que los trabajadores inspeccionan el área de trabajo antes de iniciar sus actividades, inspeccionan sus puntos a perforar, realizan las inspecciones de herramientas y colocan la cinta de mes según estándares del proyecto.

En la Figura VII, podemos observar la evolución del índice de comportamientos, el cual una relación inversamente proporcional, es decir a medida que disminuye el índice de comportamientos inseguros, aumenta el índice de comportamientos seguros, teniendo como resultado durante los 06 meses de ejecución del programa SBC, 47% en el índice de comportamientos inseguros y 53% en el índice de comportamientos seguros.

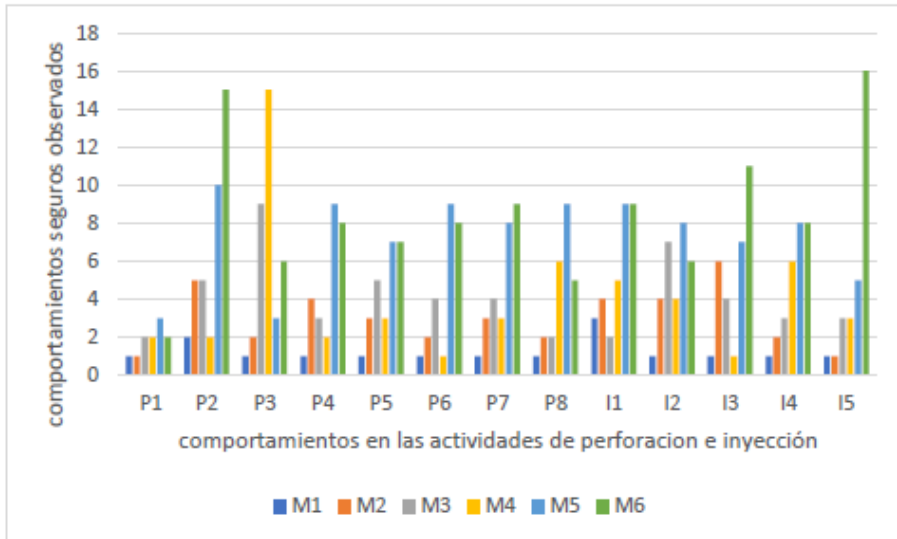


Figura VI. Evolucion de comportamientos seguros observados en 6 meses de aplicación del programa SBC.

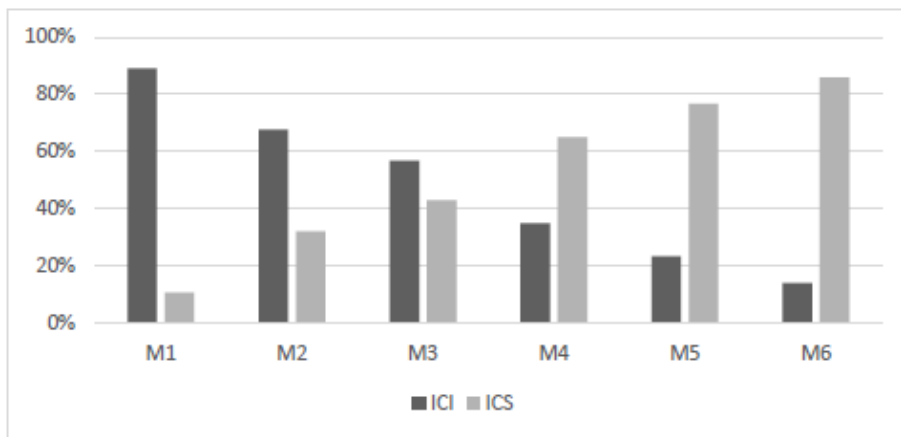


Figura VII. Evolucion del indice de comportamientos (6 meses de aplicación del programa SBC).

3.2. Índices de seguridad antes y al finalizar el programa SBC. Antes de iniciar el programa de seguridad basado en el comportamiento, se realizó una encuesta, la cual se aplicó a 85 trabajadores de la empresa contratista SBP S.A.C., teniendo como resultado la Figura VIII y Figura IX.

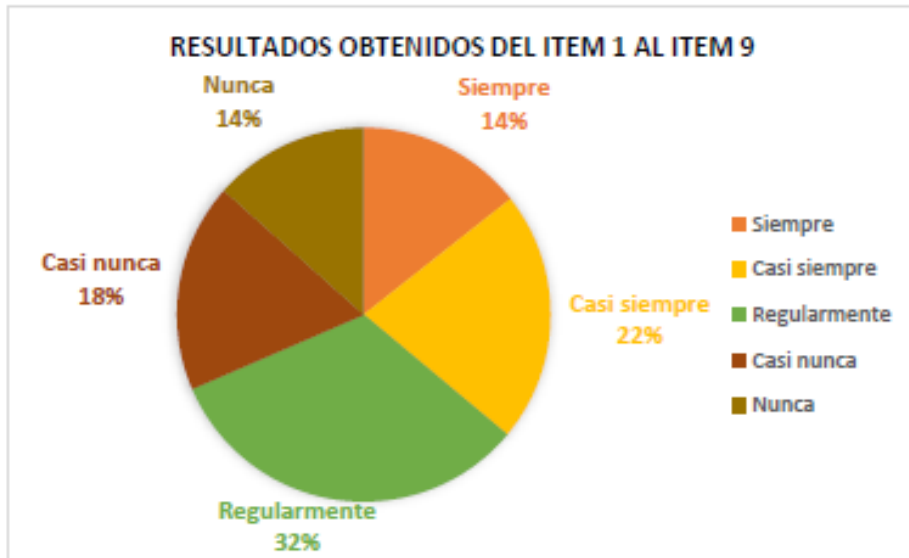


Figura VIII. Resultados obtenidos del ítem 1 al ítem 9 en la primera encuesta.

En la Figura VIII según el contenido de los ítems 1 al 9, están elaboradas para obtener resultados en la clasificación SIEMPRE, la indique todos los trabajadores conocen y practican los valores de seguridad, principios, normas, costumbres y comportamientos seguros. Con los datos obtenidos podemos ver que el mayor porcentaje de respuestas positivas alcanzó la clasificación REGULARMENTE con un 32%.



Figura IX. Resultados obtenidos del ítem 10 en la primera encuesta.

En la Figura IX, podemos ver el resultado obtenido en la interrogante 10, la cual está elaborada para obtener respuesta en la clasificación NUNCA indicando que los trabajadores no exponen con frecuencia su cuerpo a la línea de fuego, cuando realiza sus actividades, teniendo como resultado un 28%, siendo la clasificación de respuesta REGULARMENTE, el mayor porcentaje representado con un 54%.

Al finalizar el programa de seguridad basado en el comportamiento, se aplicó la misma encuesta, los resultados obtenidos se visualizan en la Figura X y Figura XI.

En la Figura X, se observa que la clasificación de respuesta siempre, ha obtenido el 55%, seguido de la clasificación casi siempre con un 37%, es decir las variables del programa de seguridad basado en el comportamiento han influido de manera positiva en los cambios de la cultura de seguridad, dado que en los ítems 1,2,3,4,5,6,7,8 y 9, fueron elaborados para obtener respuesta en clasificación siempre, lo que indica que los trabajadores conocen y ponen en práctica comportamientos, valores, principios, normas y costumbres de la seguridad.

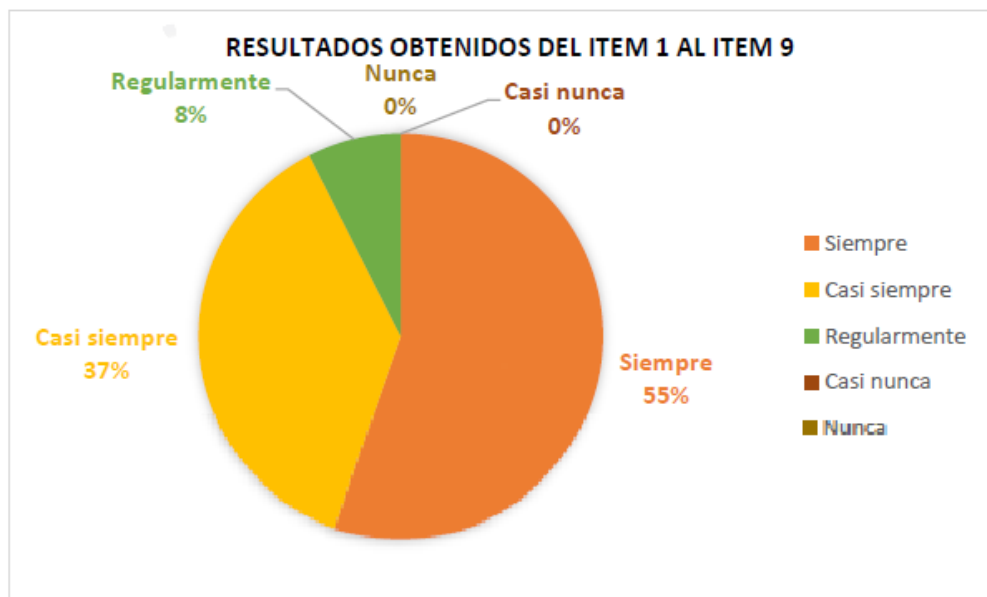


Figura X. Resultados obtenidos del ítem 1 al 9 en la encuesta aplicada al finalizar el programa SBC.

En la Figura XI, se observa el ítem 10 de la encuesta aplicada al finalizar el programa de seguridad basado en el comportamiento, tiene como resultado que la clasificación de respuesta NUNCA ha obtenido el 78%, indicando que los trabajadores no exponen las partes de su cuerpo a la línea de fuego en las actividades de su trabajo, lo que indica que el programa de seguridad basado en el comportamiento ha influido de manera positiva en la cultura de seguridad.



Figura XI. Resultados obtenidos del ítem 10 en la encuesta aplicada al finalizar el programa SBC.

Para determinar la influencia de la seguridad basada en el comportamiento para la reducción de accidentes e incidentes, en las actividades de perforación e inyección en la empresa contratista SBP S.A.C. en el proyecto minero Quellaveco, durante el III y IV trimestre del 2020, en la ejecución del programa SBC, se ha elaborado un registro de incidentes y accidentes durante el año 2019 y 2020, los resultados se muestran en la Tabla IV.

Año	Incidentes	Accidentes Leves	Accidentes incapacitantes	Accidentes fatales
2020-IV	5	0	0	0
2020-III	12	0	0	0
2020-II	13	0	0	0
2020-I	19	0	0	0
2019-IV	18	2	0	0
2019-III	19	0	0	0

Tabla IV. Registro de incidentes y accidentes por trimestres

3.3. Evaluación de hipótesis. - El presente estudio tuvo como objetivo brindar a la gerencia y los trabajadores el poder para reducir y prevenir los accidentes en el ambiente de trabajo, mejorar el desempeño en seguridad y promover la conciencia sobre la seguridad y salud. Generando una nueva actitud positiva por parte de los trabajadores. Con los resultados obtenidos, se procede a realizar la prueba de la hipótesis general de la investigación donde:

- **Hipótesis nula (H0):** El diseño del programa seguridad basada en el comportamiento no reduce los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección en el proyecto minero Quellaveco, en la empresa contratista SBP S.A.C.

- **Hipótesis alternativa (H1):** El diseño del programa de seguridad basado en el comportamiento reducirá los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección en el proyecto minero Quellaveco, en la empresa contratista SBP S.AC.

4. Discusión de resultados. - El programa seguridad basada en el comportamiento (SBC), está estructurado en comportamientos seguros, comportamientos inseguros, para lo cual aplicaremos la comprobación de la hipótesis en función a cada variable que compone la variable independiente con la variable dependiente los incidentes y accidentes reportados durante los meses de ejecución del programa SBC.

Para la demostración estadística, aplicamos el programa INFOSTAT, por regresión lineal, método de mínimos cuadrados, obteniendo como resultado la Figura XI, en donde se analizó los datos registrados de los comportamientos (seguros e inseguros) con relación a los incidentes y accidentes que se reportaron durante los meses de ejecución del programa.

Siendo en el eje "X" la variable independiente, programa SBC que está conformada por los comportamientos y planes de acción, para lo cual se analizó solo los comportamientos en función a la variable dependiente "Y" incidentes y accidentes, teniendo como resultado una pendiente negativa, es decir cuando la variable X aumenta la variable Y disminuye.

Por lo cual existe una relación de disminución de los comportamientos (comportamientos seguros e inseguros reportados en el programa SBC) en relación de incidentes y accidentes ($R^2=0.93$; $Y=61.03+(-0.47) X$), teniendo un coeficiente de determinación o coeficiente de confiabilidad del 93%, coeficiente de correlación del 0.96, considerada como una correlación excelente, por consiguiente, se rechaza la hipótesis (H0) y se acepta la hipótesis (H1).

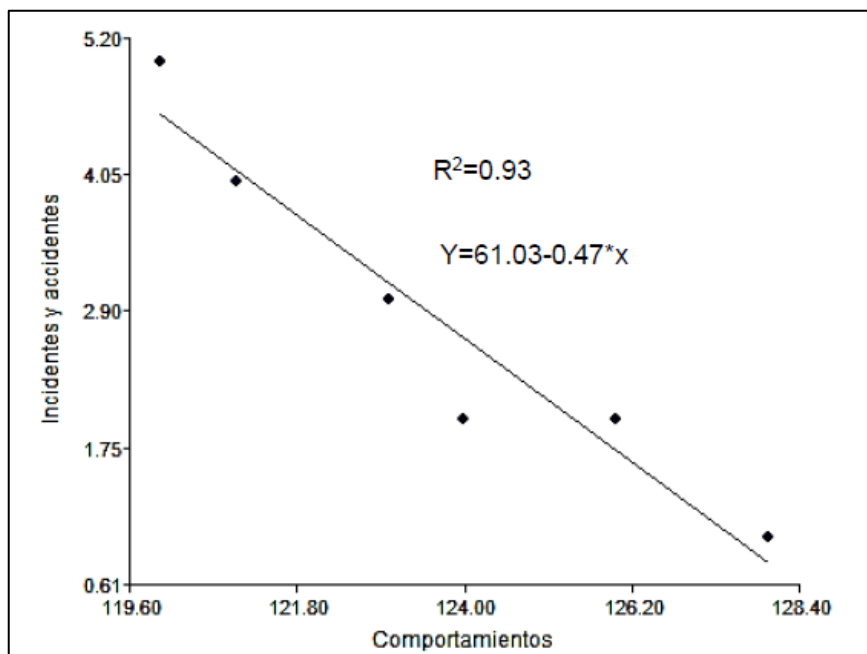


Figura XII. Comportamientos reportados en el programa SBC en función a los incidentes y accidente.

En la Figura XII podemos ver que los resultados de la aplicación de regresión lineal tienen una tendencia creciente, a mayores comportamientos inseguros aumentan los accidentes y accidentes, analizando los datos con el programa INFOSTAT, tenemos una pendiente positiva ($R^2=0.97$;

$Y=0.35+0.04X$), teniendo un coeficiente de determinación o coeficiente de confiabilidad del 97% y un coeficiente de correlación de 0.98, considerada como una correlación excelente.

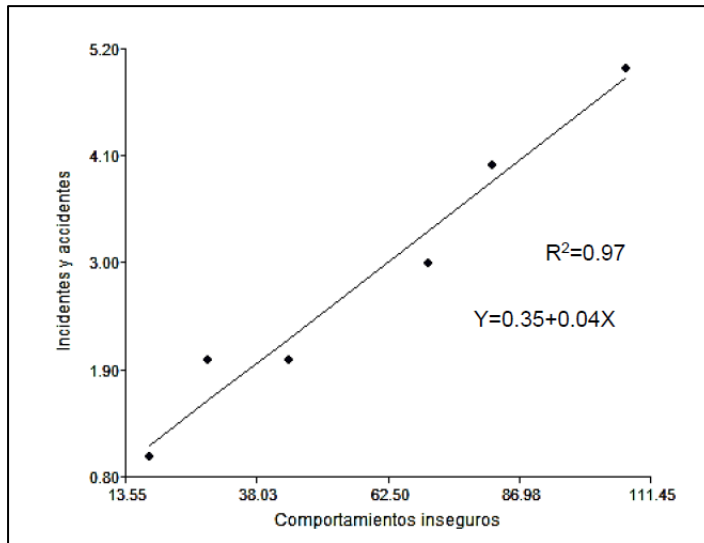


Figura XIII. Comportamientos inseguros en función a los incidentes y accidente.

En la Figura XIV podemos ver una pendiente negativa ($R^2=0.97$; $Y=5.42+(-0.04) X$), teniendo un coeficiente de determinación o coeficiente de confiabilidad del 97% y un coeficiente de correlación de 0.98, considerada como una correlación excelente, es decir que a mayores comportamientos seguros disminuyen los incidentes y accidentes.

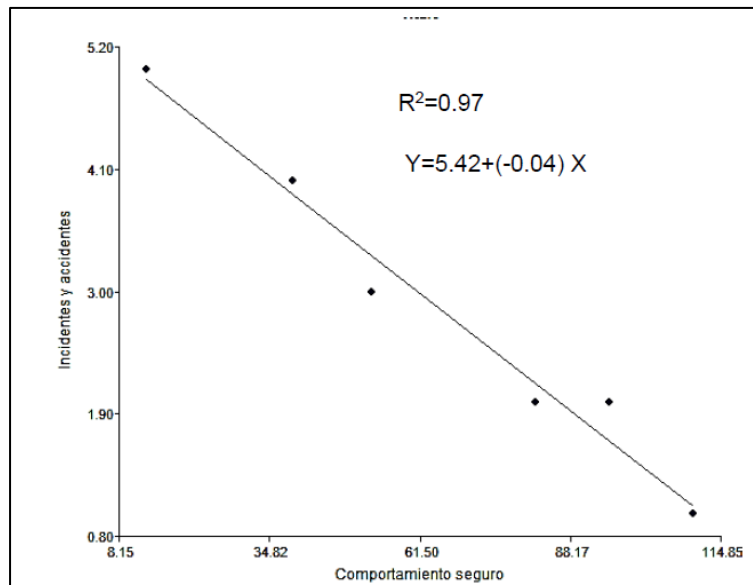


Figura XIV. Comportamientos seguros en función a los incidentes y accidente.

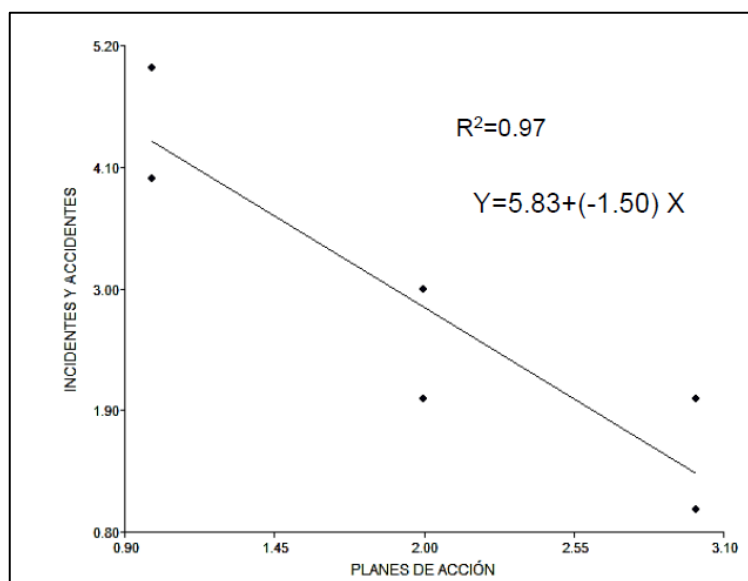


Figura XV. Planes de acción en función a los incidentes y accidente.

En este caso se analiza los datos obtenidos en los planes de acción con relación a los incidentes y accidentes como se observa en Figura XIV la cual aplicando regresión lineal por el método de mínimos cuadrados, se tiene una pendiente negativa ($R^2=0.97$; $Y=5.83+(-1.50)X$), teniendo un coeficiente de determinación o coeficiente de confiabilidad del 97% y un coeficiente de correlación de 0.98, considerada como una correlación excelente, es decir que a más planes de acción disminuyen los incidentes y accidentes.

Variable independiente (X)	Variable dependiente (Y)	Coefficiente de correlación
Comportamiento inseguro	Incidente y accidentes	0.98
Comportamiento seguro	Incidente y accidentes	0.98
Planes de acción	Incidente y accidentes	0.91
Coeficiente correlación promedio		0.95

Tabla V. Registro de incidentes y accidentes por trimestres.

5. Conclusiones. - El comportamiento humano representa el mayor porcentaje de causas de los incidentes y accidentes en la empresa contratista SBP S.A.C., en la presente investigación se analizó los resultados obtenidos del diseño y la aplicación del programa de seguridad basado en el comportamiento en las actividades de perforación e inyección, la cual busca que todos los trabajadores puedan, quieran y tengan el conocimiento para poder trabajar seguro, llegando a las siguientes conclusiones:

- Comportamiento en la actividad de inyección En esta tesis el diseño de un programa de seguridad basado en el comportamiento, redujo los incidentes y accidentes en las actividades de perforación e inyección, analizando las dimensiones de la variable dependiente en relación con la variable independiente se obtuvo un coeficiente promedio de correlación de 0.95. Además, se obtuvo un 47% en el índice de comportamientos inseguros, 53% en el índice de comportamiento seguros, indicando una relación inversamente proporcional durante la ejecución del programa.
- El programa de seguridad basado en el comportamiento en las actividades de perforación e inyección influye significativamente en la reducción de accidentes e incidentes, con los análisis estadísticos realizados a la data recopilada de las cartillas de comportamiento, podemos concluir que la confiabilidad promedio es de 92.3%, lo que produce cambios positivos en el comportamiento hacia la seguridad, impactando positivamente las tasas de incidentes y accidentes.
- La ejecución del programa de seguridad basada en el comportamiento redujo durante trimestre 2020-IV y 2020-III, solo el 74% y 37% de incidentes en las actividades de perforación e inyección, en la cual no se reportó ningún accidente, en la Plinto Estribo Derecho y Plinto Estribo Izquierdo de la obra perforación e inyecciones de la Cortafuga Final de la construcción de la presa de relave.

6. Patentes.

- Fondos: Esta investigación no recibió financiación externa

- Declaración de la Junta de Revisión Institucional: El estudio se realizó de acuerdo con las pautas de la Universidad Nacional de Moquegua, Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, además agradecer a mis docentes por compartir su experiencia y conocimientos.

- Declaración de consentimiento informado: Se obtuvo el consentimiento informado de todos los sujetos involucrados en el estudio.

- Declaración de disponibilidad de datos: Los datos no están disponibles públicamente debido a la política de protección de datos de los participantes.

7. Agradecimientos. - Los autores desean agradecer sus compañeros de trabajo, Ing. Francis Moreyra, Ing. Luis Mendoza Ureta, Ing. Jenny Guillen Catasi por su orientación, atención a mis consultas y su preciosa amistad. Los autores desean agradecer a la empresa Soletanche Bachy Perú (SBP S.A.C), al Ing. Enrique Salcedo, gerente corporativo del área HSE, por tener la disposición en apoyar las investigaciones y brindarme la confianza para realizar la investigación en unos de los proyectos de la empresa.

8. Referencias

- [1] Petersen, D. (1997). Behavior-based safety systems: A definition and criteria to assess. *Professional Safety*.
- [2] Martínez Oropesa, C. (2011). El proceso de gestión de la seguridad basado en los comportamientos. El nuevo rol de los supervisores. *Universidad Autónoma de Occidente*.
- [3] Martín, M. (2017). *Influir en el comportamiento de las personas: Implantación efectiva de programas SBC*. Prevention World. Disponible: <https://prevention-world.com/actualidad/articulos/influir-comportamiento-personas-implantacion-efectiva-programas-sbc/>.
- [4] Chaswa, E. N., Kosamu, I. B. M., Kumwenda, S., & Utembe, W. (2020). Risk Perception and Its Influencing Factors among Construction Workers in Malawi. *Safety*, 6(2), 12. Disponible: <https://doi.org/10.3390/safety6020033>.
- [5] Smith, T. D., Balogun, A. O., Yu, Z., & Mullins-Jaime, C. (2020). Health, Physical Activity and Musculoskeletal Symptoms among Stone, Sand, and Gravel Mine Workers: Implications for Enhancing and Sustaining Worker Health and Safety. *Seguridad*, 6(4). Disponible: <https://doi.org/10.3390/safety6040052>.
- [6] Teja Valluru, C., Rae, A., & Dekker, S. (2020). Behind Subcontractor Risk: A Multiple Case Study Analysis of Mining and Natural Resources Fatalities. *Seguridad*, 6(3), 1–18. Disponible: <https://doi.org/10.3390/safety6030040>.
- [7] Guerra Ramírez, J. V. (2017). *Programa de seguridad basado en el comportamiento para la minera san rafael, S.A.*
- [8] Villanueva Chávez, E. J. (2017). *Seguridad basada en el comportamiento humano para la prevención de accidentes e incidentes en la mina Maria Angelica I, Empresa ALMA MINERALS PERÚ S.A.*
- [9] Anibal Sucari, L. (2018). *Influencia de la aplicación de seguridad basada en el comportamiento en la ocurrencia de accidentes de trabajo de mina arcata en la empresa contratista IESA S.A. durante el año 2016*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- [10] Huayta Velasquez, N. J. (2018). *Implementación de procesos de seguridad basada en el comportamiento para minimizar accidentes en la empresa Servicentro Ortiz Srl Mina Antamina*. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- [11] Velezmoro Saona, J. L. (2019). *Implementación del programa de seguridad basada en la prevención de comportamientos sub estándar en la empresa TECNIACERO SAC. De la compañía ANTAPACCAY-Cusco 2018*. Universidad Nacional de Huancavelica.
- [12] Faver Mamani, M. M. (2018). *Escuela Profesional de Ingeniería de Minas*. Universidad Nacional de Moquegua.
- [13] *Organización Internacional del Trabajo*. (n.d.). Retrieved June 3, 2021, from <https://www.ilo.org/global/lang--es/index.htm>.
- [14] *Home - Eurostat*. (n.d.). Retrieved June 4, 2021, from <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- [15] *Gobierno del Perú*. (n.d.). Retrieved June 3, 2021, from <https://www.gob.pe/>.
- [16] Burggraaf, J., Groeneweg, J., Sillem, S., & Van Gelder, P. (2019). How Cognitive Biases Influence the Data Verification of Safety Indicators: A Case Study in Rail. *Safety*, 5(4). <https://doi.org/10.3390/safety5040069>.
- [17] Mendoza Moreira, L. D. (2019). *Gestión de la seguridad basada en comportamientos*. Universidad San Gregorio de Portoviejo.
- [18] Brandhorst, S., & Kluge, A. (2021). When the Tension Is Rising: A Simulation-Based Study on the Effects of Safety Incentive Programs and Behavior-Based Safety Management. *Safety*, 7(1). Disponible: <https://doi.org/10.3390/safety7010009>.
- [19] Hulme, K. F., Schiferle, M., Su, R., Lim, A., Estes, A., & Schmid, M. (2021). *Incorporation of Modeling, Simulation, and Game-Based Learning in Engineering Dynamics Education towards*

- Improving Vehicle Design and Driver Safety*. Disponible: <https://doi.org/10.3390/safety7020030>.
- [20] Hernández, S.R., Fernández, C.C., B. P. L. (2004). *Metodología de investigación*. México.
- [21] Aldefonso Grande Elena Abascal. (2005). *Análisis de encuestas*. Disponible: <https://books.google.com.pe/books?id=qFczOOiwRSgC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.
- [22] Nogareda, C., Gracia, D. Á., Martínez, J. F., Peiró, J. M., Lahera, M., & Meliá, J. L. (2007). *Perspectivas de intervención en riesgos psicosociales*.
- [23] Cronbach, L. J. (1951b). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334. Disponible: <https://doi.org/10.1007/BF02310555>.
- [24] Pascual Sáez, M., & Sarabia Alegría, J. M. (2005). *Curso básico de estadística para economía y administración de empresas*. Disponible: <https://www.editorialuc.es/libro/curso-basico-de-estadistica-para-economia-y-administracion-de-empresas>.

Sistema de detección de robots humanoides en ambientes semiestructurados basado en visión estereoscópica

Detection system for humanoid robots in semi-structured environments based on stereoscopic vision

Oscar Herrera ¹, Yesenia González ², Paola Cortez ³, Benito Granados ⁴

Recibido: Junio 2021

Aceptado: Septiembre 2021

Resumen.- El presente trabajo propone el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de visión artificial basado en video estéreo, el cual es ejecutado en un sistema embebido, con el fin de identificar a robots humanoides dentro de un área semiestructurada. El sistema embebido utiliza una cámara RealSense de Intel que además de poder obtener distancias hacia los objetos debido a la visión estéreo que posee, es capaz de discriminar información después de un umbral de distancia determinado por el usuario, eliminando los objetos de fondo de la escena y mediante reconocimiento de imágenes basado en una red neuronal convolucional reconoce a robots humanoides dentro de esta. La aplicación del sistema se basa en el concurso Robocup Humanoid League, donde dos equipos de robots juegan fútbol, por lo que además de reconocer a robots humanoides a diferentes ángulos y distancias, el sistema puede clasificar a los robots reconocidos como compañeros o contrincantes (dependiendo del reconocimiento de marcas de color que estos porten), emulando que, a futuro, el sistema propuesto estará montado sobre otro robot humanoide.

Palabras clave: Visión artificial, video estéreo, red neuronal convolucional, robots humanoides.

Summary.- *This work proposes the design, development and implementation of an artificial vision system based on stereo video, which is executed in an embedded system, to identify humanoid robots within a semi-structured area. The embedded system uses an Intel RealSense camera that, in addition to being able to obtain distances to objects due to its stereo vision, is capable of discriminating information after a distance threshold determined by the user, eliminating objects in the background of the scene and, through Image recognition based on a convolutional neural network recognizes the humanoid robots within it. The application of the system is based on the Robocup Humanoid League contest, where two teams of robots play soccer, so in addition to recognizing humanoid robots at different angles and distances, the system can classify recognized robots as companions or opponents (depending on the recognition of color marks they carry), emulating that, in the future, the proposed system will be mounted on another humanoid robot.*

Keywords: *Artificial vision, stereo video, convolutional neural network, humanoid robots*

¹ Facultad de Ingeniería, Instituto Politécnico Nacional – UPIITA (México), oherreraf1500@alumno.ipn.mx, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7805-3677>

² Doctora en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional – UPIITA (México), ygonzalezn@ipn.mx, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2370-4660>

³ Maestría en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional – UPIITA (México), pcortez@ipn.mx, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2338-8581>

⁴ Doctor en Ciencias, Instituto Politécnico Nacional – UPIITA (México), bgranadosr@cinvestav.mx, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1958-7780>

1. Introducción. - Cada vez son más los sistemas donde se requiere que la toma de decisiones se realice de manera autónoma de acuerdo con las variaciones que se presenten en las señales de entrada. Esas señales de entrada pueden provenir de diferentes tipos de sensores, uno de ellos son los sensores ópticos (cámaras) y la información que este tipo de sensores adquieran será necesario aplicarle diferentes etapas de procesamiento para lograr evidenciar la información que interese. Además, se requiere que estos sistemas sean robustos, es decir, que mantengan un funcionamiento apropiado aún con variaciones no deseadas en el ambiente. La disciplina de la visión artificial ha ido evolucionando a través de los años, el surgimiento de las redes neuronales de aprendizaje profundo y en específico, de las redes neuronales convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés), enfocadas en un inicio en el procesamiento de imágenes, ha permitido tener sistemas más robustos que desempeñan tareas de reconocimiento en ambientes no estructurados. Estos algoritmos también han podido implementarse en sistemas embebidos debido al surgimiento de nuevos sensores y tarjetas de desarrollo con más capacidades e incluso con arquitecturas específicas para la implementación de algoritmos que operan de manera paralela, como es el caso de las redes neuronales artificiales.

Este trabajo propone el reconocimiento y clasificación de robots humanoides usando visión estereoscópica. Esta propuesta se basa en el concurso “RoboCup Humanoids League [1]”, donde dos equipos de robots humanoides deben jugar un partido de fútbol de manera autónoma. El juego se lleva a cabo dentro de una cancha de fútbol a escala pero que está rodeada de un entorno no controlado (comúnmente rodeada de espectadores humanos y otros objetos), por lo que la tarea de reconocimiento de objetos de interés representa un reto, desde el punto de vista de visión artificial. El trabajo está organizado de la siguiente manera: en la sección 2 se describen algunos trabajos relacionados al tema, en la sección 3 se presenta la metodología utilizada, la sección 4 aborda la implementación y resultados obtenidos, en la sección 5 se presentan las pruebas realizadas y por último, en la sección 6 se presentan las conclusiones

2. Trabajos relacionados. – Con los avances de la Inteligencia Artificial, en años recientes se ha incrementado el uso de robots en distintas áreas de la industria y en diversos servicios. Además, muchos de estos robots operan de manera colaborativa, ya sea con humanos o entre robots. Tal es el caso de los robots dedicados al área de logística en compañías como Amazon [2] o robots autónomos para limpieza [3], que, si bien ya son máquinas altamente sofisticadas, el reconocimiento de su entorno o de la cercanía con otros robots lo realizan utilizando tecnologías como lectura de códigos QR, sensores LiDAR (Light Detection and Ranging) o bien utilizando técnicas de visión artificial para la detección de formas sencillas. Sin embargo, si la tendencia es tener entornos cada vez más colaborativos entre robots y humanos, es necesario explorar y mejorar técnicas más sofisticadas de reconocimiento de objetos de interés.

Robocup surgió como una iniciativa científica internacional con el objetivo de promover el estado del arte de los robots inteligentes [4]. Con relación a la categoría “RoboCup Humanoids League”, donde dos equipos de robots humanoides deben enfrentarse en un juego de fútbol de manera autónoma, los algoritmos desarrollados para la tarea de detección de robots humanoides han sido diversos, aunque no tan abundantes comparados con otras áreas de desarrollo, debido a que los interesados en esta tarea son pocos grupos de investigación a nivel mundial. En [5] se aborda la importancia de que un robot pueda reconocer a otros si se requiere de la interacción autónoma entre ellos. Algunos de los algoritmos desarrollados incluyen aplicaciones de visión estereoscópica para el cálculo de distancia hacia objetos para su evasión, pero sin realizar el reconocimiento de los objetos [6], la aplicación de diferentes combinaciones de técnicas de procesamiento de imágenes y de extracción de rasgos [7], [8] hasta el surgimiento e implementación de las redes neuronales convolucionales. En [9], se realiza la detección de robots humanoides utilizando diferentes arquitecturas de CNNs con la intención de probar el rendimiento en diferentes sistemas como lo son GPU GTX980, GPU GT620, CPU Intel I5 y CPU Celeron dual Core.

3. Metodología. – Se plantea que el sistema debe reconocer dentro de una escena a robots humanoides y debe clasificarlos como compañero o enemigo (dos clases) tomando como premisa el hecho de que los robots portan un identificador de color en el cuerpo, siempre y cuando los robots se encuentren dentro de un rango de distancia definida por el usuario (dentro del rango operativo de la cámara) a partir del punto de referencia.

La solución propuesta es utilizar un algoritmo de reconocimiento de imágenes basado en una red neuronal convolucional, capaz de identificar robots humanoides dentro de un área delimitada en un espacio controlado haciendo uso de mapas de profundidad [10] y un ordenador de placa reducida (NUC barebone). El mapa de profundidad se obtiene de un módulo de cámaras (Realsense D435) conectado al ordenador de placa reducida en el cual se realiza la tarea de reconocimiento de imágenes y posteriormente la clasificación de los robots. La Figura I muestra la arquitectura del sistema.

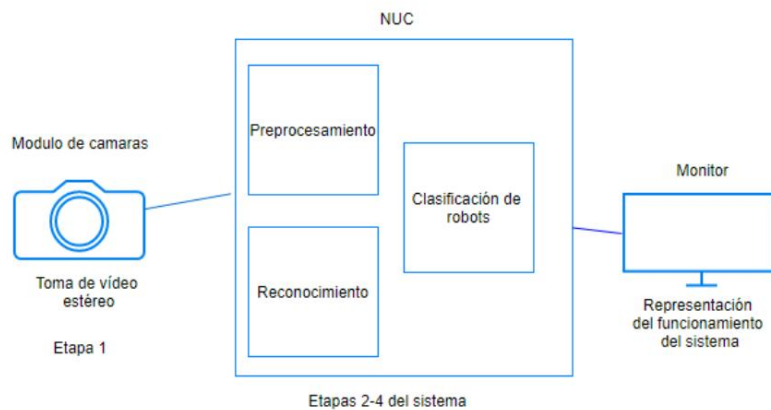


Figura I. – Arquitectura del sistema.

La descripción de la función que realiza cada uno de los componentes físicos del sistema se describe a continuación:

- Módulo de cámaras: Este módulo tiene 2 cámaras y un sensor infrarrojo que permiten el procesamiento de las imágenes para obtener un mapa de profundidad.
- NUC: Dispositivo donde se lleva a cabo el preprocesamiento de la imagen, reconocimiento y clasificación de los robots humanoides.
- Monitor: Dispositivo usado para visualizar los resultados del sistema.

El módulo de cámaras obtiene 2 imágenes (una por cada cámara que contiene el módulo), estas imágenes se procesan de manera que se pueda obtener el mapa de profundidad de la escena y una imagen RGB de esta. Una vez obtenido el mapa de profundidad se buscan en ella todos los píxeles que tengan una distancia mayor a un umbral de distancia definido por el usuario. Al tener localizados los píxeles que cumplan esta condición, se le cambia el color a un valor basado en la escala de grises que el usuario determine. Teniendo la imagen de la escena con el fondo eliminado, se procede a insertarla al algoritmo de reconocimiento, este encuentra y marca a los objetos que se reconocen como robots en un recuadro de color aleatorio. De la imagen resultante del reconocimiento se crean N imágenes donde N es el número total de objetos reconocidos para que en cada recuadro se aplique un filtro de color. Para la propuesta aquí desarrollada, se seleccionaron los colores rojo y azul. Una vez teniendo las áreas de los colores especificados, se reemplazan estos

píxeles de la imagen RGB, así se obtiene la imagen de la escena con los robots clasificados por colores, finalmente se procede a insertar texto en las áreas de color azul con la palabra “Compañero” y en las áreas de color rojos “Enemigo” (puede invertirse esta asignación).

4. Implementación y resultados. – A continuación, se describe la implementación de cada una de las etapas del sistema y los resultados obtenidos. El sistema se implementó con la cámara RealSense D435 de Intel y la NUC Barebone, donde se ejecutó el algoritmo de reconocimiento y clasificación de robots humanoides utilizando el lenguaje de programación Python en su versión 3.8.

4.1 Etapa 1: Toma de video estéreo. – El video estéreo ayuda a obtener el mapa de profundidad, este se obtiene mediante el módulo de la cámara Realsense configurándolo mediante programación y la librería de la que depende el módulo pyrealsense2.

4.2 Etapa 2: Preprocesamiento. – Las imágenes a color que entrega la cámara son en formato RGB y cada imagen a color es un conjunto de 3 matrices de datos con la misma resolución (número de filas y columnas). Aparte, se genera otra matriz con formato Z16 donde cada dato representa la distancia de cada píxel con respecto a la cámara. La librería pyrealsense2 tiene una función llamada “clipping_distance” [11], la cual tiene como argumentos:

- a) La matriz de distancia representada con valores numéricos
- b) 3 matrices que representan una imagen a color en formato RGB.
- c) Distancia máxima de visualización expresada en metros.

En la Ecuación (1) se ejemplifica el formato de ingreso de datos considerando 30 FPS, una resolución de imagen en formato VGA (640 × 480 píxeles) y un umbral de distancia de 1 m.

$$[30, (640,480), 1] \quad (1)$$

La Figura II muestra un ejemplo de una imagen a la cual se le aplicaron los parámetros de la Ecuación (1). Puede observarse la imagen original en formato de color RGB, el mapa de profundidad obtenido y la discriminación de píxeles con distancias mayores a 1 m, a los cuales se le cambió el color original a color gris (se seleccionó el valor numérico 153).

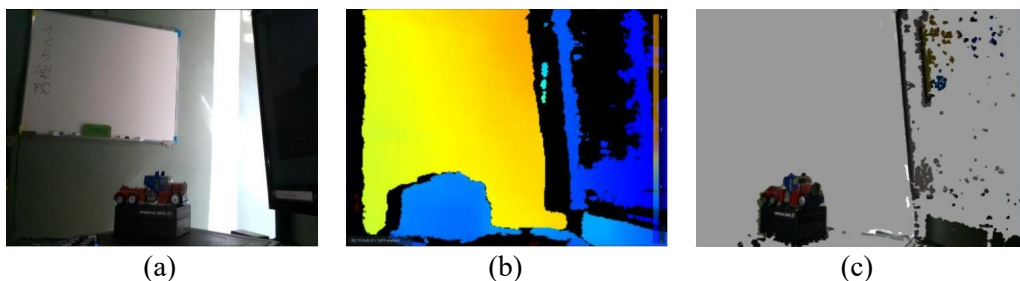


Figura II. – a) Imagen original en formato de color RGB. b) Mapa de profundidad. c) Discriminación de píxeles con distancia al punto de referencia mayor a 1 m..

4.3 Creación del banco de datos. – Una vertiente de la robótica es construir robots muy semejantes al humano y en este trabajo lo que se persigue es identificar robots humanoides más semejantes a máquinas. El tipo de humanoides que se quiere reconocer se muestra en la Figura III.



Figura III. Ejemplo de robots que se quiere reconocer.

Para recolectar datos con las características deseadas se usaron videos obtenidos de internet. De estos videos, mediante un programa escrito en Python se obtuvieron todos los fotogramas que lo formaban. El resultado fue un conjunto de datos de 17,280 imágenes. Este conjunto de datos es bastante grande, sin embargo, al ser fotogramas de videos, las imágenes en su mayoría no tenían diferencia, esto es algo que se debe evitar para entrenar a una red neuronal ya que los modelos pueden sufrir de sobreajuste y no funcionan más que con los datos con los que fueron entrenados.

Para evitar esto, se realizó la limpieza de datos, solo se tomaron un numero pequeño de imágenes de estos fotogramas y de las imágenes obtenidas en la web. El resultado fue un conjunto de datos de 485 imágenes para entrenamiento (90 %) y 54 para pruebas (10 %). A estos datos se les aplicó el proceso de etiquetado por medio de un programa en Python que genera un archivo XML con la información de la imagen (nombre, ancho, alto, esquina superior izquierda donde inicia el objeto a reconocer, esquina inferior derecha donde termina el objeto a reconocer). Algunas de las imágenes de la base de datos utilizada para el entrenamiento de la red neuronal se muestran en la Figura IV.

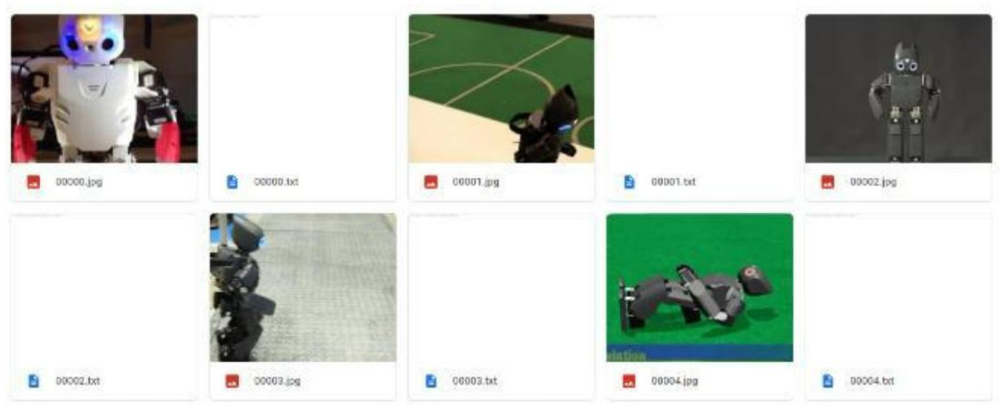


Figura IV. Imágenes del banco de datos utilizado para el entrenamiento de la red neuronal convolucional.

4.4 Etapa 3: Reconocimiento de robots. – En esta etapa se utiliza una red neuronal convolucional. A continuación, se describe el proceso de selección de la arquitectura de red.

El trabajo desarrollado se basó en la arquitectura de red neuronal convolucional YOLO [12], ya que esta cuenta con distintas versiones (extendidas y reducidas), lo que permitió evaluar el desempeño de sus versiones en cuanto a métricas de velocidad de procesamiento y eficiencia. Para elegir una versión para el sistema propuesto, se realizaron pruebas con las versiones 2, 3 y 4 de YOLO. Estas se realizaron bajo las mismas condiciones para que las métricas pudieran ser comparadas sin factores que alteren los resultados.

Para el entrenamiento se utilizó la plataforma GOOGLE Colab, la cual ayuda a ejecutar código en una máquina virtual con la posibilidad de usar GPU dedicada modelo Tesla T4, para acelerar el proceso. El número de épocas (número de barridos sobre los datos de entrenamiento) se estableció de 6000 en el entrenamiento de todas las versiones. Como se puede ver en la Tabla I los tiempos son distintos, siendo la versión 2 la más lenta de todas, sin embargo, la diferencia es mucho menor cuando se compara la versión 3 con la 4.

Versión de YOLO	Tiempo de entrenamiento (horas)
2	30
3	14
4	10

Tabla I. Horas de entrenamiento de cada versión de YOLO

El algoritmo de entrenamiento genera archivos con la extensión “weigh” estos archivos se generan cada 1000 épocas, lo que ayuda a entrenar la misma red desde ese punto en caso de que el entrenamiento se interrumpa sin la necesidad de iniciar de cero. De igual forma estos archivos ayudan a monitorear cuando el modelo se sobreajusta (overfitting).

Para las tres versiones entrenadas, se probaron los archivos de las épocas 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 y 6000. Eligiendo para la comparativa el que tuviera menor número de errores en el reconocimiento como lo son falsos negativos y falsos positivos, métricas especificadas a continuación.

Los archivos según el número de épocas que mejor resultado dieron en todas las versiones se muestran en la Tabla II.

Versión de YOLO	Numero de épocas
2	3000
3	3000
4	4000

Tabla II. Numero de épocas de cada versión de la CNN YOLO.

Con esta información, se observa que las versiones 2 y 3 entran en un estado de sobreajuste en un número de épocas después de las 3000, mientras que la versión 4 después de las 4000 épocas empieza a entrar en ese mismo estado. Esto es importante ya que entre menos épocas pasen para llegar al estado de sobreajuste, más posibles errores se tendrán en pruebas reales [13].

Se realizó la comparación del algoritmo funcionando en tiempo real con 4 videos (videos que no se usaron para el conjunto de datos anteriormente descrito) donde el número máximo de robots en cámara es de 4.

El uso de recursos del sistema tales como lo son CPU y memoria RAM, se muestra en la Tabla III.

Versión de YOLO	% de CPU	RAM (en gigabytes)
2	90	3
3	87	3.1
4	85	3.4

Tabla III. Consumo de recursos por versión de red CNN YOLO

En la Figura V se muestra el número de fotogramas por segundo (FPS) promedio de los videos resultantes después de la predicción de cada versión de YOLO.

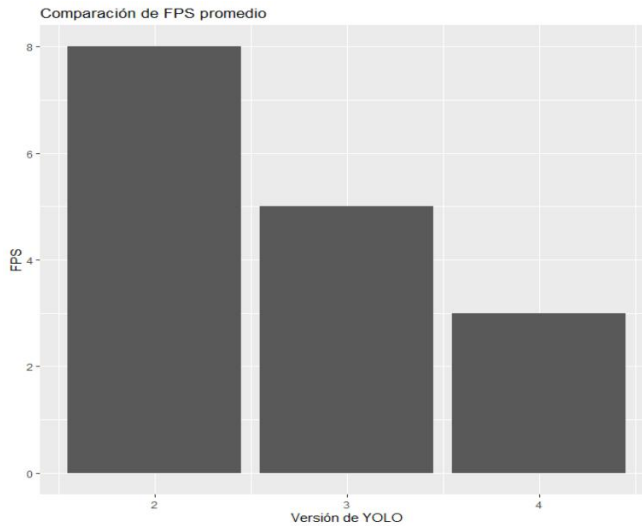
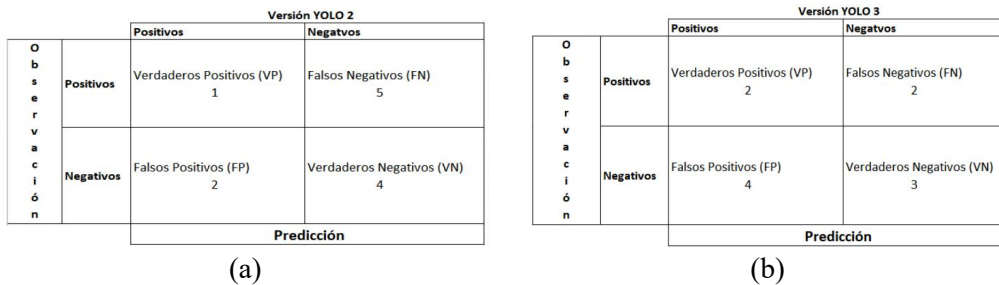


Figura V. Comparación de FPS promedio por versión de YOLO.

Para comparar la eficiencia de predicción de cada versión, se ocuparon las siguientes métricas:

- Verdadero positivo (VP): positivos que fueron clasificados correctamente como positivos.
- Verdadero negativo (VN): negativos que fueron clasificados correctamente como negativos.
- Falso positivo (FP): positivos que fueron clasificados incorrectamente como negativos.
- Falso negativo (FN): negativos que fueron clasificados incorrectamente como positivos.

En la Figura VI se muestran el número promedio de estas métricas de cada versión utilizando matrices de confusión.



		Versión YOLO 4	
		Positivos	Negativos
O b s e r v a c i ó n	Positivos	Verdaderos Positivos (VP) 3	Falsos Negativos (FN) 0
	Negativos	Falsos Positivos (FP) 2	Verdaderos Negativos (VN) 4
		Predicción	

(c)

Figura VI. Matriz de confusión por versión de arquitectura de red convolucional YOLO.

Con base a los resultados de las métricas realizadas, se seleccionó la arquitectura YOLO versión 4 [14], ya que ofrece un mejor desempeño en cuanto a reconocimiento de los robots y menor tiempo de entrenamiento. El hecho de tener menos fotogramas por segundo no afecta al sistema dado que la velocidad de movimiento de los robots no amerita tener una gran cantidad de imágenes reconocidas por segundo.

La Figura VII muestra un ejemplo de la salida esperada de la etapa de reconocimiento.

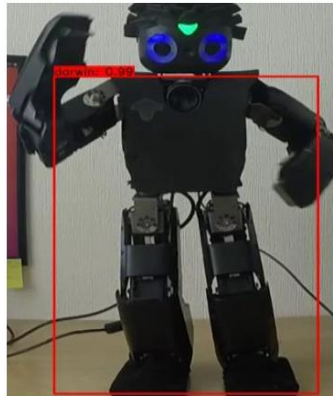


Figura VII. Ejemplo de salida de la etapa de reconocimiento.

4.5 Resultados del entrenamiento de la red convolucional. – Como se mencionó en la sección previa, para lograr el reconocimiento de los robots humanoides, se usó la arquitectura YOLO en su versión modificada, desarrollada por los Doctores Alexey Bochkovski, Chien-Yao Wang, Hong-Yuan Mark Liao que denominaron YOLO v4.

Para poder entrenar la red neuronal, se requiere modificar los siguientes parámetros en el archivo de configuración con sus respectivos valores:

- Batch = 64
- Subdivisions = 16
- Max_batches = 6000
- Steps = 4000
- Classes = 1
- Filters = 18
- Width, height = (tamaño de imagen de entrada al sistema)

El valor de batch es el número de ejemplos que se pasan al algoritmo en cada iteración de aprendizaje, el valor de subdivisions es el número por el cual se divide el número de batch, max_batches es el valor resultante de la multiplicación del número de clases por 2000, según la publicación, se debe poner 6000 en caso de tener menos de 3 clases. Steps es el número de ciclos que ejecutará la red neuronal. Classes es el número de objetos que se quieren reconocer, filters es el número de capas que la red tiene.

De igual manera es necesario tener un archivo de pesos previos al entrenamiento, este archivo se genera al usar la red neuronal con clases y base de datos (datasets) precondicionados; en este caso, el grupo de investigadores proporcionan el archivo en su github de sus pesos resultantes del entrenamiento que hicieron con la base de datos “coco” de GOOGLE [15].

El entrenamiento se realizó en la plataforma GOOGLE Colab, esta plataforma ofrece un uso gratuito limitado de GPU, en específico se utilizó una GPU Tesla T4 de NVIDIA. La gráfica de pérdida y precisión (color azul y café respectivamente) de las etapas de entrenamiento y validación se muestran en la Figura VIII.

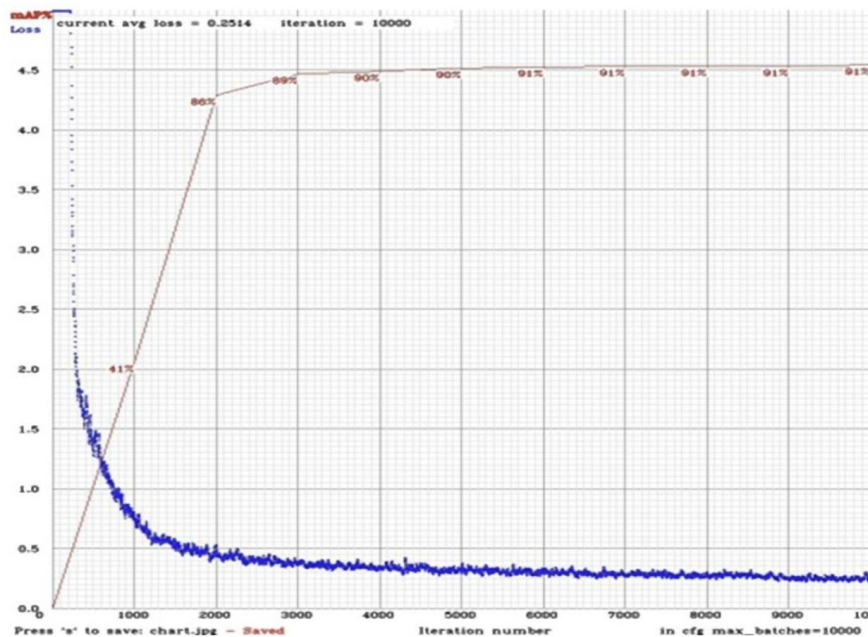


Figura VIII. Gráfica de pérdida y precisión de la etapa de entrenamiento de la red convolucional.

4.6 Etapa 4: Clasificación de robots. – De acuerdo con el reglamento de la categoría “RoboCup Humanoids League”, los robots deben tener marcas en ciertas partes de cuerpo de color rojo o azul y dependiendo del color se les asigna la etiqueta de enemigo o compañero. Para este trabajo las marcas se consideraron como rectángulos con los colores mencionados.

Ya que la etapa previa a la clasificación de los robots es el reconocimiento de estos en la escena, la Figura IX ejemplifica un proceso donde fueron reconocidos dos robots y uno de ellos tiene una marca roja y el otro una marca azul.

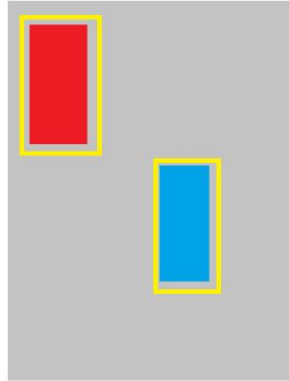


Figura IX. Imagen que ejemplifica el reconocimiento de dos robots en la escena y uno de ellos tiene una marca rectangular de color rojo y el otro una marca rectangular de color azul.

El sistema toma cada elemento (región de la imagen original) reconocido como robot y los procesa de forma independiente (ver Figura X.a) aplicando un segmentador de color [16] para clasificar a cada robot. Si la etapa de segmentación de color reconoce las componentes del color rojo o azul, se agregan entonces en la imagen de salida las etiquetas de “compañero” o “enemigo” a los recuadros donde la CNN reconoció a robots humanoides. Un inconveniente es que puede ocurrir ruido visual, que genere rupturas en las áreas de colores que se busca clasificar, como se muestra en la Figura X.b.

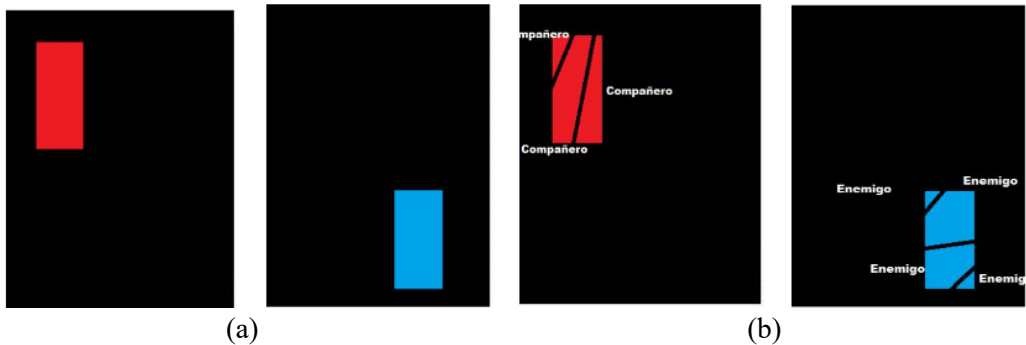
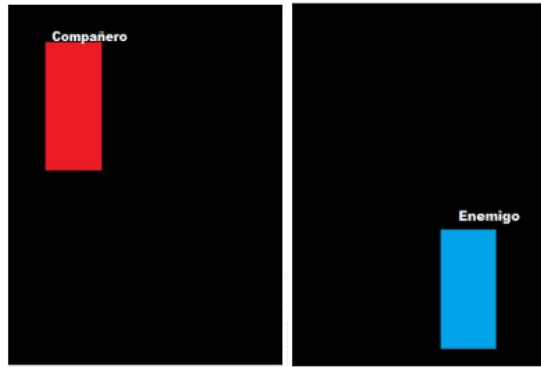


Figura X. Proceso de separación de objetos reconocidos en una imagen (robots). a) Robot con marca roja y robot con marca azul. b) Representación de las marcas obtenidas por la etapa de segmentación de color afectadas por ruido visual.

Para solucionar la partición de un objeto y tener solo una etiqueta por robot, se aplicó un filtro de desenfoco gaussiano [17], el cual promedia el color de los píxeles a partir del color de los píxeles vecinos. Así la imagen queda reconstruida como se ejemplifica en la Figura XI.



(a) (b)
 Figura XI. Ejemplo de imagen reconstruida.

Finalmente se sobrepone cada píxel extraído y procesado de la imagen RGB sobre la imagen RGB original, como se muestra en la Figura XII.

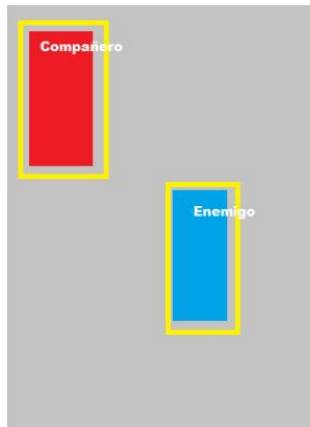


Figura XII. Ejemplo de imagen final del sistema con los recuadros donde se han reconocido a los robots humanoides y se han etiquetado de acuerdo con los colores de las marcas.

4.7 Implementación del sistema en el ordenador de placa reducida. – El sistema se implementó en una tarjeta NUC de Intel® con 16 GB de memoria RAM. El sistema operativo instalado fue UBUNTU 20.04. La Tabla IV presenta las librerías instaladas y sus versiones.

Librería	Versión	Librería	Versión
Python 3	8.0.23	Open CV	3.8.0
Tensor Flow	2.0	Pyrealsense2	2.33.1

Tabla IV. Librerías instaladas en la tarjeta NUC.

5. Pruebas al sistema. – El sistema fue probado en la tarjeta NUC dentro de una habitación de un área de 3 m² y como robots de prueba se usaron 2 robots de juguete Metal Fighter marcados con 4 rectángulos de papel de color rojo y azul colocados en sus piernas como se muestra en la Figura XIII.



Figura XIII. Robots usados para las pruebas al sistema.

El sistema logró procesar 4 fotogramas por segundo en promedio. Se usaron 3 escenarios para validar el funcionamiento del sistema:

- Escenario 1: Cámara y robots estáticos
- Escenario 2: Cámara y robots en movimiento
- Escenario 3: Cámara y robots estáticos con agentes diferentes a los robots humanoides

La Figura XIV muestra un ejemplo de las imágenes utilizadas que fueron ingresados al sistema para cada uno de los distintos escenarios de prueba.

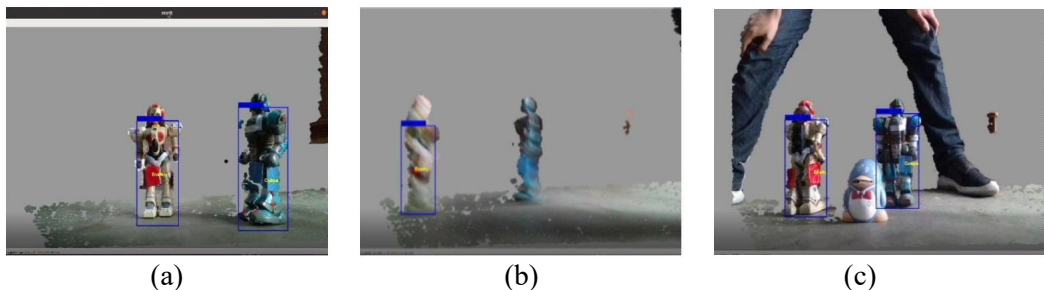


Figura XIV. a) Escenario con cámara y robots estáticos. b) Escenario con cámara y robots en movimiento. c) Escenario con agentes diferentes a robots humanoides.

En el escenario donde los robots y la cámara están en movimiento (escenario más cercano a la realidad) se observaron fotogramas como se muestran en la Figura XIV.b donde no se reconoce a uno de los robots, a esto se le conoce como falso negativo y se da por lo borroso que se captura ese fotograma por el movimiento de ambos dispositivos, sin embargo, estos fotogramas son minoría. Para observar el rendimiento del sistema, se tomó una ventana de 60 segundos y se graficó el número de robots reconocidos por cada segundo siendo 2 el máximo número de robots. La Figura XV muestra la cantidad de robots reconocidos durante el minuto de prueba por cada segundo.

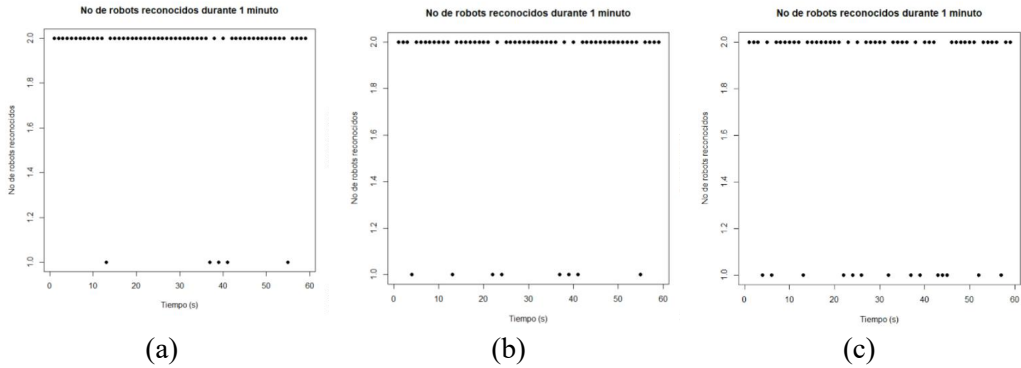


Figura XV. Pruebas al sistema. A) Escenario 1. B) Escenario 2. C) Escenario 3.

En los tres escenarios probados el sistema logró reconocer a los robots humanoides, aunque el número de falsos positivos y falsos negativos fue mayor en el escenario 3, seguido por el escenario 2. Lo que implica que el sistema presenta más errores al introducir objetos distintos a los robots humanoides en el área de interés.

6. Conclusiones. – De acuerdo con los resultados obtenidos, la posibilidad de reconocer robots humanoides en lugares semiestructurados teniendo como base la toma de video estéreo sí es posible. Al momento de obtener el mapa de profundidad, se cuenta con una imagen en colores donde cada color representa una distancia, por lo que puede obtenerse la distancia en cada píxel de la imagen. La discriminación de fondo se logró de una manera simple, se delimitaron las distancias obtenidas y todo píxel que tuviera una distancia mayor a la establecida, se iluminaría de color gris. Esta delimitación se llevó a cabo en los mismos píxeles en cada capa de la imagen RGB, esto para tener una imagen viable para el reconocimiento.

Con respecto a la etapa de reconocimiento de los robots, se empleó una red neuronal convolucional con arquitectura YOLO, se realizaron pruebas con distintas versiones de esa arquitectura para seleccionar la opción con el mejor compromiso entre FPS de procesamiento, uso de recursos y exactitud entregada. Seleccionando para esta aplicación la versión YOLO 4.0.

Las regiones de la imagen identificadas como robot son procesadas utilizando segmentación de imagen por color en conjunto con un filtro gaussiano, para reconocer marcas de color rojo o azul. Al momento de implementar la clasificación de los robots, hubo problemas ya que, a pesar de tener una imagen con un elemento del color rojo o azul, la cámara ingresaba datos con ruido, lo que hacía que el algoritmo detectara diferentes objetos (etiquetas de color) en donde solo había uno. Este filtro realiza un promedio de los valores de píxeles cercanos entre sí, lo cual genera menor ruido en la imagen. La aplicación de este filtro presentó una mejor relación rendimiento-eficiencia, ya que la cantidad de FPS no bajaba drásticamente al aplicar este procesamiento. El sistema completo procesa 3 FPS en promedio.

Como trabajo futuro se propone comparar los resultados del entrenamiento de la CNN con imágenes sin preprocesar (eliminación de fondo), además de probar el sistema con la base de datos usada en [9], evaluar otras arquitecturas de CNNs e implementar el sistema en tarjetas dedicadas a la Inteligencia Artificial, como las NVIDIA Jetson, con el objetivo de seleccionar los componentes para el diseño y construcción de un robot humanoide.

7. Agradecimientos. – Los autores agradecen a la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional por el apoyo recibido durante el desarrollo de este proyecto.

8. Referencias

- [1] «RoboCup Humanoid League» 2020. [En línea]. Available: <https://humanoid.robocup.org> [Accessed:18 – abril 2021].
- [2] «Amazons collaborative robots offer peek into the future» Available: <https://www.businesstimes.com.sg/technology/amazons-collaborative-robots-offer-peek-into-the-future> Accessed:14 - septiembre - 2021].
- [3] «TASKI. The ultimate cleaning machine» [En línea]. Available: <https://taski.com/taski-products/swingobot-000/?lang=es> [Accessed:14 - septiembre - 2021].
- [4] Robocup Federation official website. Available: <https://www.robocup.org> [Accessed:18 - abril - 2021].
- [5] T. Abbas Shangari, S. Sadeghnejad, J. Baltes. «Importance of Humanoid Robot Detection». In: Goswami A., Vadakkepat P. (eds) *Humanoid Robotics A Reference*. Springer, Dordrecht. 2018: https://doi.org/10.1007/978-94-007-7194-9_141-1
- [6] K. Sabe, M. Fukuchi, JS Gutmann, T. Ohashi, K. Kawamoto, T. Yoshigahara. «Obstacle avoidance and path planning for humanoid robots using stereo vision. In *obotics and Automation*,» 2004. Proceedings. ICRA'04.2004 IEEE International Conference on 2004 Apr (Vol. 1, pp. 592-597). IEEE.
- [7] H. Farazi, S. Behnke. «Real-Time Visual Tracking and Identification for a Team of Homogeneous Humanoid Robots,» In *Proceedings of 20th RoboCup International Symposium*, Leipzig, Germany, July 2016.
- [8] TA. Shangari, V. Shams, B. Azari, F. Shamshirdar, J. Baltes, S. Sadeghnejad. «Inter-humanoid robot interaction with emphasis on detection: a comparison study». *The Knowledge Engineering Review*. 2017 Feb; 32.
- [9] J. Mohammad, A. Sina Mokhtardeh, A. Sajjad, S. Saeed, S. Soroush y B. Jacky, «Humanoid Robot Detection using Deep learning: A speed-Acuracy Tradeoff,» Taiwan, 2017.
- [10] A. Saxena, S.H. Chung & A. Ng. «3-D Depth Reconstruction from a Single Still Image». *Int J ComputVis* 76, 53–69 (2008).
- [11] I. R. SDK, «pyrealsense2's documentation,» 2018. [En línea]. Available: https://intelrealsense.github.io/librealsense/python_docs/generated/pyrealsense2.html.
- [12] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 779-788, doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- [13] M. Mitchel Tom, *Machine Learning*, McGraw-Hill, 1997
- [14] A. Bochkovskiy, C.-Y. Wang y M. L. Hong-Yuan, «arXiv.orgLogin,» 23 Apr 2020. [En línea]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2004.10934.pdf>. [Último acceso: Mayo 2020].
- [15] A. Bochkovskiy, «github,» 2020. [En línea]. Available: https://github.com/AlexeyAB/darknet/releases/download/darknet_yolo_v3_optimal/yolov4.conv.137.
- [16] R.C. Gonzalez, R. E. Woods. «*Digital Image Processing*, » Prentice Hall, 3ª edición, 2006.
- [17] Siddharth Misra, Yaokun Wu, «Machine learning assisted segmentation of scanning electron microscopy images of organic-rich shales with feature extraction and feature ranking », *Machine Learning for Subsurface Characterization*, 2020.

Diseño de infraestructura vial con pavimento flexible para mejora de transitabilidad de la avenida Industrial, Lurín, Lima

Design of road infrastructure with flexible pavement to improve the traffic of Avenida Industrial, Lurín, Lima

Sleyther Arturo De La Cruz Vega ¹, Guirlo Alejandro Paredes Cahuana ²

Recibido: Noviembre 2021

Aceptado: Noviembre 2021

Resumen.- El objetivo de la investigación es determinar el diseño de pavimento flexible para la mejora de la transitabilidad vehicular. La metodología es de tipo aplicada, diseño no experimental y de enfoque cuantitativo. El universo poblacional está conformado por toda la avenida Industrial del distrito de Lurín. La muestra correspondiente a 2 kilómetros y el muestreo es no probabilístico. Los resultados del estudio muestran que la estructura del pavimento es 7.5 cm de carpeta asfáltica, 20 cm de base y 15cm de subbase. Las conclusiones indican que el diseño del pavimento flexible servirá para mejorar la transitabilidad vehicular de la avenida Industrial, Lurín, Lima. Según estudio de capacidad de carga realizado en 6 calicatas dio un promedio de CBR 32.50. El estudio vehicular realizado durante 7 días para el diseño de pavimento flexible nos dio un ESAL de 1.22 E+07 realizado para un periodo de 20 años. Esta investigación presenta un diseño acorde con la cantidad de vehículos que se desplazan por dicho lugar, debido a que el conteo vehicular se realizó de manera minuciosa utilizando los periodos establecidos en el reglamento del MTC.

Palabras clave: pavimento, asfalto, transitabilidad, estudio, vehículo.

Summary.- *The objective of the research is to determine the flexible pavement design for the improvement of vehicular traffic. The methodology is of an applied type, non-experimental design and a quantitative approach. The population universe is made up of the entire Industrial Avenue of the Lurín district. The sample corresponding to 2 kilometers and the sampling is non-probabilistic. The results of the study show that the pavement structure is 7.5 cm of asphalt layer, 20 cm of base and 15 cm of subbase. The conclusions indicate that the design of the flexible pavement will serve to improve the vehicular traffic of Avenida Industrial, Lurín, Lima. According to a load capacity study carried out in 6 pits, it gave an average of CBR 32.50. The vehicular study carried out during 7 days for the flexible pavement design gave us an ESAL of 1.22 E + 07 carried out for a period of 20 years. This investigation presents a design in accordance with the number of vehicles that move through said place, because the vehicle count was carried out in a meticulous way using the periods established in the MTC regulations.*

Keywords: *pavement, asphalt, walkability, study, vehicle.*

¹ Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Cesar Vallejo (Perú), sleyther@ucvvirtual.edu.pe, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0254-301X>

² Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Cesar Vallejo (Perú), guirlo.paredes@gmail.com, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-8342-0163>

1. Introducción. - A nivel mundial la infraestructura vial es muy importante por ser el eje principal de la economía y desarrollo de un país, además de conectar las áreas de producción con las de consumo, es allí donde radica la importancia de que estas se encuentren en buen estado y se reduzcan los grandes costos de transporte por mala infraestructura vial. [1].

Las vías en el Perú todavía se encuentran en desarrollo debido a la falta de una adecuada gestión de procesos y planificación, sumando a esto la falta de inversión privada y el déficit en la infraestructura vial, generando restricciones para el desarrollo de la economía peruana [2].

En el distrito de Lurín específicamente en las zonas rurales y urbanas hay un gran déficit vial, a estas restricciones se suma la geografía de los terrenos el cual es muy agresiva, provocando la desarticulación de la ciudades [3].

El desarrollo económico de ciertos sectores industriales hace de gran importancia la conexión vial, ubicándose el nuevo motor industrial del país en Lurín. Pese al gran potencial económico de los últimos años, actualmente nuestra capital solo cuenta con 2,700 Ha destinadas a dicho sector. [4].

Un tramo de la avenida Industrial actualmente no se encuentra pavimentada, siendo esta la vía principal para grandes empresas y al no estar al 100% operativa afecta directamente al desarrollo económico del sector industrial, dificultando el desplazamiento de los pobladores y de los vehículos [5].

Según la explicación de la problemática se plantea el siguiente problema general ¿Cómo el diseño de pavimento flexible mejora la transitabilidad de la Avenida Industrial, distrito de Lurín, Lima?

La justificación económica está enfocada en el desarrollo monetario de la zona en estudio, debido a la gran cantidad de industrias ubicadas en el sector A, contribuyendo al pago de impuestos prediales y generando fuentes de trabajo para la población. Actualmente el sector industrial se está reactivando luego de pasar por un periodo de inestabilidad económica a causas del COVID-19 consolidando a Lurín en el foco de desarrollo de lima. [6].

La justificación ambiental está enfocada en la reducción del polvo generado y daños a la salud de las poblaciones aledañas de la zona de estudio.

La justificación metodológica permitirá mejorar los procedimientos del diseño basado en la metodología AASHTO y el análisis vehicular. La justificación por conveniencia esta enfocado por el beneficio a las empresas industriales colindantes con la avenida Industrial que están en vía de desarrollo, debido a la necesidad de nuevas vías por la cual se puedan trasladar los vehículos y sus productos [7].

El objetivo general de acuerdo con la problemática y las justificaciones del presente trabajo desarrollado es determinar el diseño de pavimento flexible para la mejora de la transitabilidad vehicular de la avenida Industrial, Lurín, Lima.

2. Marco teórico. - Los pavimentos están conformados por varias capas como la carpeta asfáltica, la base y la subbase que descansan sobre la subrasante o terreno natural, toda esta estructura trasmite su carga y distribuye sus esfuerzos al terreno de fundación originados por los vehículos [8].

El pavimento flexible que está estructurado por la capa de rodadura de material aglomerante, agregados, aditivos y capas granulares como la base y subbase. [9].

La metodología de diseño tiene parámetros establecidos como el cálculo de ESAL de diseño, el Módulo de Resiliencia, las condiciones climáticas y de drenaje.

Las fallas del pavimento son el exagerado incremento de la carga vehicular, mal proceso constructivo, falta de mantenimiento, factores climáticos, proyecto deficiente, fallas superficiales, fallas estructurales [10].

Algunos factores importantes para tener en cuenta al momento de diseñar la estructura del pavimento es la subrasante y el nivel en que se encuentra, ya que debe de estar por encima del nivel de la napa freática con un mínimo de 0.60 m [11].

El tránsito se calcula mediante mediciones diarias se recomienda por 7 días ya que los vehículos

que circulan en la vía son de diferentes características, verificar la cantidad de ejes equivalentes de 8.2t a 13t que circulan en el carril [12].

El módulo de resiliente muestra los parámetros utilizados y los esfuerzos que representan las cargas repetidas proporcionadas al suelo [13]. Una vez construido el pavimento con el paso del tiempo se presenta algunos problemas o fallas las cuales ya se han estudiado a profundidad y sirve como base para las soluciones más idóneas a los problemas que se presentan a futuro [14].

Las metodologías de diseño de pavimento flexible son el método empírico, que está basado en el análisis mecanístico de cada capa del paquete estructural diseñado, el método de diseño analítico en el que cada capa del paquete estructural está sujeto a deformaciones y programas de elementos finitos para el diseño de pavimentos. [15].

El método AASHTO 1993 se aplica tanto para diseños de pavimentos flexibles y rígidos, utilizando un modelo de ecuación definido, que permite obtener los números estructurales que se emplean en la determinación de los espesores. [16].

3. Metodología. – La investigación es de tipo aplicada, porque busca adquirir nuevos conocimientos mediante la aplicación de teorías y a la vez mejora situaciones de la vida cotidiana [17].

El diseño de investigación es no experimental transeccional descriptiva porque describe y analiza los diversos componentes sin alterar la variable [18].

Según el análisis realizado es una investigación cuantitativa con criterios a utilizar como la recolección de datos durante la ejecución del diseño de la estructura del pavimento [19].

Su universo poblacional está conformado por toda la avenida industrial del distrito de Lurín, Lima. Para la investigación tiene como muestra cierto sector de la avenida industrial, comprendido entre las avenidas Gasoducto y la avenida Sumapacha, correspondientes a 2 kilómetros. [20].

4. Resultados. - Se propone un diseño para el paquete estructural el cual ayudará al confort y transitabilidad de los vehículos que pasen por la avenida Industrial, Lurín, Lima y está estructurado por 7.5cm de carpeta asfáltica, 20cm capa de base y 15cm de subbase.

Características del pavimento	
Carpeta	3.0
Base (cm)	20.0
Sub Base	15.0

Tabla I. Características del pavimento flexible.

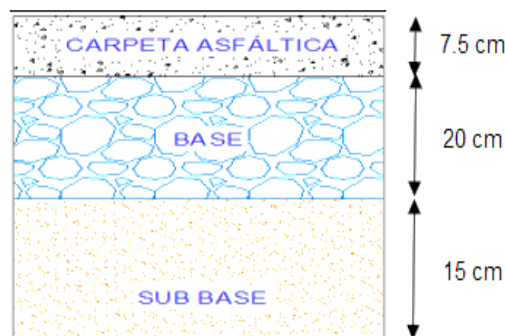


Figura I. Diseño estructural del pavimento.

Según estudio de (CBR) realizado a la avenida Industrial, Lurín, Lima se realizaron 6 calicatas teniendo un promedio de CBR 32.50. La menor capacidad de carga del suelo encontrada en el estudio corresponde a las calicatas C-04, C-06 no obstante el resultado es considerado según su categoría como muy bueno.

Calicata	Progresiva	Profundidad	SUCS	%CBR	CBR PROM	MR
C-01	00+100.00	1.30-1.50	SP-SM	38.00	32.5	23,713.53
C-02	00+500.00		SP-SM	35.00		
C-03	00+850.00		SP	38.00		
C-04	00+200.00		SP-SM	21.00		
C-05	00+550.00		SP-SM	42.00		
C-06	00+900.00		SP	21.00		

Tabla II. Características del suelo para determinación de MR.

El estudio vehicular realizado durante 7 días, nos permitió clasificar cada tipo de vehículo y obtener un ESAL de 1.22 E+07. El diseño está proyectado para 20 años.

Días del año	365
Factor direccional	0.50
Factor de carril	0.80
Tasa anual de crecimiento de tránsito	3.00
Número de años de periodo de diseño	20.00
ESAL	1.22E+07

Tabla III. Determinación del ESAL.

5. Discusiones. - Se propone un diseño del pavimento flexible el cual servirá para mejorar la transitabilidad vehicular concordando con Montealegre y Betancourt (2019) que nos indica que la mejor opción para el cálculo del paquete estructural fue utilizar el método Aashto 93 por ser el método empírico más utilizado a nivel mundial y comparándolo con otros métodos.

Según estudio de capacidad de carga (CBR) realizado se obtuvo un promedio de CBR 32.50, la menor capacidad de carga del suelo encontrada en el estudio corresponde a las calicatas C-05, C-06 no obstante el resultado es considerado según su categoría como muy bueno, concordando con Sánchez (2019) que indica que para el diseño final del pavimento se procede a tomar el promedio del CBR calculado en cada sector, difiere con Salamanca y Zuluaga (2014) nos indica que los estudios realizados a los suelos en el recorrido de 6.5 km de la vía dieron como resultado arenas limosas y limos arcillosos en toda el área de estudio.

6. Conclusiones. - Se propone un diseño del pavimento flexible, el cual servirá para mejorar la transitabilidad vehicular de la avenida Industrial, Lurín, Lima y está estructurado por 7.5 cm de carpeta asfáltica, 20 cm de base y 15cm de subbase.

Según estudio de capacidad de carga (CBR) realizado a la avenida Industrial, Lurín, Lima se realizaron 6 calicatas teniendo un promedio de CBR 32.50. El estudio vehicular realizado durante

7 días, para el diseño de pavimento flexible nos dio un ESAL de $1.22 \text{ E}+07$ realizado para un periodo de 20 años. Para el cálculo del diseño de pavimento flexible se ha utilizado el método Aashto 93 el cual mediante su ecuación de diseño nos permite calcular el número estructural.

7. Recomendaciones. - Los materiales para el asfalto, la base, subbase deberán cumplir las especificaciones técnicas establecidas por el MTC.

Para la preparación de la subrasante se tiene que eliminar toda materia orgánica.

La capa base granular de espesor 20 cm, debe tener un CBR igual o mayor al 100% de la MDS.

Como el periodo de diseño está proyectado para 20 años, al concluir el periodo se recomienda realizar un nuevo estudio de tráfico vehicular.

8. Referencias.

- [1] Revista vial, La infraestructura vial es la columna vertebral de la economía mundial. [en línea]. Buenos Aires, mayo de 2010. [fecha de consulta: 12 de junio de 2021]. Disponible en <https://revistavial.com/la-infraestructura-vial-es-la-columna-vertebral-de-la-economia-mundial/>
- [2] Ministerio de transporte y Comunicaciones, provias nacional. Estado de la red vial nacional. [en línea]. Lima, 2019. [fecha de consulta: 07 de julio de 2021]. Disponible en <https://www.pvn.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/pvn-memoria-anual-2019.pdf>
- [3] M. Álamo [et al.]. Análisis general y diagnóstico urbano de Lurín. Lima, 2015. [fecha de consulta: 25 de julio de 2021]. Disponible en <https://fdocuments.in/document/diagnostico-urbano-de-lurin.html>
- [4] Instituto nacional de estadística e informática, censo nacional, resultados definitivos. [en línea]. Lima, Octubre de 2017. [fecha de consulta: 30 de junio de 2021]. Disponible en https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1550/
- [5] Municipalidad distrital de Lurín, gerencia de planeamiento estratégico informe de evaluación de resultados. [en línea]. Lima, abril de 2020. [fecha de consulta: 22 de junio de 2021]. disponible en <https://munilurin.gob.pe/documentos/evaluaci%3%93n%20del%20pei%202020.pdf>
- [6] Ministerio de trabajo y promoción del empleo, desarrollo económico cono Sur. [en línea]. Lima, 2021. [fecha de consulta: 10 de julio de 2021]. Disponible en <https://www.gob.pe/mtpe#publicaciones>
- [7] Análisis del mercado industrial, parques industriales Lima centro, Lima norte, Lima este, Lima sur. Lima, 2020. [fecha de consulta: 20 de julio de 2021]. Disponible en https://www.cresperu.com/es/assets/uploads/mercado_pdf_Analisis_del_Mercado_Industrial_2T_2020.pdf
- [8] C. Bermudez and Y. Ramos. Diseño estructural del pavimento flexible para el mejoramiento de la transitabilidad en la prolongación Av. Uno y la prolongación Sinchi Roca, La Libertad. Tesis (Ingeniero Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2019. Disponible en https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/5380/1/t_civ_carlos.bermudez_yuvickzar.amos_dise%3%91o.estructural_datos.pdf
- [9] M. Ccasani y Y. Ferro. Evaluación y análisis de pavimentos en la ciudad de Abancay, para proponer una mejor alternativa estructural en el diseño de pavimentos. Tesis (Ingeniero Civil). Apurímac: Universidad Tecnológica de los Andes, 2017. Disponible en <http://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/handle/utea/107/Tesis-Evaluaci%3%b3n%20y%20an%3%a1lisis%20de%20pavimentos%20en%20la%20ciudad%20de%20Abancay%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [10] Guía aashto 1993, Diseño de estructuras de pavimentos 1993. Instituto para el desarrollo de los pavimentos en el Perú. ed. Sociedad Americana de Oficiales Estatales de Carreteras y Transportes. Lima, 1997.
- [11] E. Juárez y A. Rico. Mecánica de suelos tomo II. Teoría y aplicación de la mecánica de suelos. ed. Limusa S.A. Mexico.D.F, 2004. ISBN: 9789681800697
- [12] C. Pereda y M. Montoya. Estudio y optimización de la red vial avenida América Sur tramo prolongación Cesar Vallejo - avenida Ricardo Palma, Trujillo. Tesis (Ingeniero Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2018. Disponible en https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/4178/1/rep_ing.civil_christopher.pereda_mario.montoya_estudio.optimizacion.red.vial.avenida.america.sur.tramo.prolongaci%3%92n.cesar.vallejo.avenida.ricardo.palma.trujillo.pdf
- [13] Manual de carreteras. Sección suelos y pavimentos. [en línea]. Lima, abril de 2014. [fecha de consulta: 20 de junio de 2021]. Disponible en https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/manuales%20de%20carreteras%202019/mc-05-

- [14] L. Escobar and J. Huincho. Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento de Santa Rosa - Sachapite. Tesis (Ingeniero Civil). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2017. Disponible en file:///C:/Users/guirl/Downloads/TP%20-%20UNH%20CIVIL.%200085%20(3).pdf
- [15] H. Rondon and F. Reyes. Pavimento Materiales, construcción y diseño. ed. Ecoe ediciones S.A. Bogota, 2015. ISBN: 9789587711769
- [16] J. Menéndez. Ingeniería y diseño de pavimentos. ed. Instituto de la construcción y gerencia. Lima, 2017. ISBN: 9786124280153
- [17] Z. Vargas. Investigación aplicada, una forma de conocer las realidades con evidencia científica. San Pedro Montes de Oca - Costa Rica. Revista científica, 2009. ISSN: 0379-7082
- [18] G Mousalli. Métodos y diseños de investigación cuantitativa. Mérida, [en línea]. Venezuela, 2015. [fecha de consulta: 30 de junio de 2021]. Disponible en file:///C:/Users/guirl/Downloads/Mtodosydiseosdelainvestigacincuantitativa%20(1).pdf
- [19] R. Hernández, C. Fernández and M. Baptista. Metodología de la investigación. 6ta. ed. McGraw-Hill / interamericana editores S.A. de c.v. México D.F, 2014. ISBN: 9781456223960
- [20] C. Bernal. Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias. 3ra. ed. Pearson educación S.A. Colombia, 2010. ISBN: 978-958-699-128-5

Analyzing the use of blockchain for managing loading zones for urban distribution

Análisis del uso de blockchain para la gestión de zonas de cargas para la distribución urbana

Martín Tanco ¹, Daniel Jurburg ², Pilar Menendez ³, Juan Andrés Topolansky ⁴, Felipe Algorta ⁵

Recibido: Septiembre 2021

Aceptado: Diciembre 2021

Summary.- The lack of efficiency in the use of the on-street infrastructure dedicated to loading and unloading freight in the city, with their shortage and inefficient placement, generates congestion and delays during urban freight deliveries. An exploratory study is presented on the feasibility of incorporating technology into the management of dedicated loading/unloading areas for urban logistics in downtown Montevideo (Uruguay). After data of the neighborhood was collected, and the main stakeholder interest gathered, the paper analyzes a feasible technological solution to the problem, considering the restrictions posed by the stakeholders for sharing information. Due to the increasing influence of blockchain and its implementation for specific logistic problems, such as product traceability, the introduction of blockchain as part of the solution is considered and discussed in the system architecture.

Keywords: Blockchain; urban freight transport; loading/unloading areas; urban logistics.

Resumen.- La falta de eficiencia en el uso de la infraestructura dedicada a la carga y descarga de carga en la ciudad, junto con su escasez y colocación ineficiente, genera congestión y retrasos en las entregas de carga urbana. Este estudio, presenta un estudio exploratorio sobre la viabilidad de incorporar tecnología en la gestión de áreas dedicadas de carga / descarga para logística urbana en el centro de Montevideo (Uruguay). Una vez recopilados los datos del barrio, y recogido el interés principal de los involucrados (stakeholders), este artículo analiza una solución tecnológica factible, considerando las restricciones impuestas por los actores para compartir información. Debido a la creciente influencia de blockchain y su implementación para problemas logísticos específicos, como la trazabilidad del producto, la introducción de blockchain es considerada como parte de la solución y se discute en la arquitectura del sistema.

Palabras clave: Blockchain; transporte de carga urbano, zona de carga/descarga, Logística urbana.

¹ PhD Industrial Engineering, CINOI, Universidad de Montevideo, mtanco@um.edu.uy ,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2252-1742>

² PhD Industrial Engineering, CINOI, Universidad de Montevideo, djurburg1@um.edu.uy ,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-9226-1520>

³ Ingeniería Industrial, CINOI, Universidad de Montevideo, pmenendez@correo.um.edu.uy ,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8690-3141>

⁴ Ingeniería Civil, CINOI, Universidad de Montevideo, jtopolansky@correo.um.edu.uy ,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9578-0059>

⁵ Ingeniería Industrial, CINOI, Universidad de Montevideo, fmalgorta@correo.um.edu.uy ,
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8697-9023>

1. Introduction. - The growth of the world population has brought an increasing percentage of people living in urban centers, in developed as well as undeveloped countries. These highly densely populated areas generate an increase in commercial activity to meet the residents' needs, which enhances the complexity of freight transport needed to distribute and commercialize high volumes of products (Fransoo & Blanco, 2017). Therefore, urban freight becomes a key factor in city dynamics.

In particular, South America has reached 80% of urbanization, a percentage expected to keep growing shortly, causing new challenges for authorities and city logistic stakeholders. Poor planning of urban logistics directly affects regional development, reducing the competitiveness of supply chains. It also generates a negative impact on the quality of life of the citizens through increased risk of accidents, congestion, and noise pollution (Kelli et al., 2018). A consequence of this poor long-term planning is that the transport of consumer products must face the lack of freight-oriented infrastructure.

One example is the shortage of exclusive loading and unloading parking zones (LUPZ) for freight activity. These are zones by the sidewalk, usually identified with painted lines and signs, reserved for freight vehicles to carry out their loading and unloading maneuvers. The saturation of their capacity during peak hours forces trucks to park in double rows, on garage entries, and forbidden zones. Although vehicles are sometimes fined because of these practices, these action does not prevent them from continuing to commit the infractions, because parking far away from retailers (in allowed parking zones) implies loss of time while transporting the load by foot, and risks associated with not being able to keep the vehicle within sight.

One of the main problems faced by local authorities in determining the correct location and number of LUPZ, together with achieving efficient management of these areas. To address this problem, the use of Information and Communication Technologies (ICT) tools is suggested. Kijewska et al. (2018) define telematics systems as "spatially arranged physical information systems with dedicated functionality that, using communication capabilities, enable the recipient to provide designed services". Another problem faced by the government is the lack of empirical information describing the dynamics of urban freight distribution.

In order to present a primary solution for existing problems, the feasibility of incorporating a telematics solution for managing LUPZ is studied. Specifically, the utility and feasibility of using blockchain as a part of the solution are discussed. Moreover, a survey was designed and carried out based on the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT).

The novelty of this article is analysing the possible introduction of blockchain as part of a telematics solution for urban freight logistics. Blockchain has been used for traceability of chains of production and logistical networks involving various companies and means of transport (DHL and Accenture, 2018), but not for urban freight distribution or parking management.

In section 2, a literature review was developed, including the topics of freight parking, existing telematics solutions for managing LUPZ efficiently, and blockchain. Then, in section 3, the adopted methodology is presented. It is followed by the main results obtained from the research in section 4. The use of blockchain to manage LUPZ is discussed and analyzed, and a possible technological solution is presented, with blockchain as a part of the solution but not as its key component. Finally, in section 5, results are discussed, and conclusions are presented regarding future paths of research are drawn.

2. Literature Review. - ‘The process for totally optimizing the logistics and transport activities by private companies, with the support of advanced information systems, in urban areas, while considering the traffic environment, the traffic congestion and energy consumption within the framework of a market economy is defined by Taniguchi, Thompson, Yamada and Van Duin (2001) as city logistics. This definition outlines the importance of using advanced information systems as a key support tool to manage city logistics.

From the various problems associated with the complexity of managing city logistics, various studies have identified parking as a key issue within urban freight distribution (ASCE, 1989; Han et. Al., 2005; Manzano dos Santos and Sánchez-Díaz, 2016). Malik, Sánchez-Díaz, Tiwari & Woxenius (2017) carried out a summary of existing studies related to the problem of urban freight parking, classifying them into three categories: those which analyze and quantify the problem, those which propose parking supply and demand simulation models, and those which offer information about public policies to deal with the problem.

2.1. Technological Solutions. - Numerous papers suggest the correct regulatory policy to manage loading zones, but few studies refer to concrete technological innovations conducted by local authorities (Comi, Schiraldi & Buttarazzi, 2018). For example, Muñuzuri, Cortés, Guadix & Onieva (2012) establish that a suitable way for improving the management of LUPZ would be a web application through which freight operators can ensure the availability of a freeloading zone at a given hour. The system would guarantee an adequate rotation of vehicles in the loading zones, avoiding long stays by freight vehicles. The authors mention the use of plate recognition systems to detect infractions such as exceeding the allowed time of use for the zone.

A case of successful implementation of this sort of solution was a pilot test performed in Seville (Spain), where a loading zone booking web application was developed. These systems are feasible in urban areas if there exists regulation that prevents vehicles from parking illegally close to their final destination (Muñuzuri, Larrañeta, Ibáñez & Montero, 2006). A year later, another similar pilot study was carried out in Lugano (Switzerland) with positive results (Stickel & Furmans, 2005). Similarly, McLeod & Cherret (2011) modeled a loading zone pre-booking system for Winchester (England). They observed that the system helped to distribute the hours of peak demand more evenly, reducing the maximum number of heavy vehicles operating in the area simultaneously. On the other hand, they concluded that a potential disadvantage of a pre-booking system is the uncertainty of whether truck drivers can reach the reserved zones on time. For instance, in case of an externality that affects the whole network (like a traffic accident), the system would collapse. Therefore, a pre-booking system could lack the required flexibility to deal with dynamic situations. Studies by Berenguer, Da Silva, and Balassiano (2004) and Comi et al. (2017), also propose different alternative architectures for a loading zone management system.

Widening the range of study, Perry, Oberhart & Wagner (2015) establish that truck parking management policies (not distinguishing between urban and route) have mainly focused on increasing the number of loading zones, improving the access to information regarding the availability of free zones, and working together with the private sector. Technologies used to detect free zones in the USA and Europe are diverse, including cameras, magnetic, induction, thermal, and infrared sensors, among others. To communicate with the users, variable message signs (VMS) are mainly used, although there also exists communication through web apps, cellphone, radio, and pre-booking systems⁶.

⁶ The information presented by Perry, Oberhart and Wagner (2015) refers to highway parking. However, it is considered relevant to the problem of urban parking because they share common characteristics.

The latest research found in the literature regarding telematic tools for LUPZ management was by Comi, Schiraldi & Buttarazzi (2018), who merged route planning and LUPZ management by designing a telematic tool prototype that suggests a delivery path and schedule, considering real-time information, and books the required delivery areas for the distribution operation.

2.2. Blockchain. - Blockchain is a type of decentralized ledger with a consensus protocol that allows different participants to share information without needing to trust each other. It was initially theorized in 1991 and implemented for the first time in 2008. Since then, its popularity has grown and it has been implemented for diverse areas worldwide, taking advantage of its potential to solve a wide variety of problems. In the context of financial transactions, blockchain eliminates the need to rely on intermediary institutions such as banks and guarantees the fulfilment of previously established rules through Smart Contracts (Allende, 2017).

Blockchain ledges present specific advantages compared to traditional databases. The information becomes inalterable once it is written in a block. Modifying an existing block would require such a great amount of computational power that it becomes virtually impossible. This is probably the most important characteristic of blockchain, which allows users who do not necessarily trust each other to hold a distributed database and share information without the need for a trusted third party. Smart Contracts also allow the automatized fulfilment of previously agreed terms and conditions for every transaction. According to ISO standards, blockchain ledger can be permissionless public, permissioned private, or permissioned public depending on the degree of decentralization and the existence of nodes which different hierarchies (Allende, 2021).

A report by DHL and Accenture (2018) mentions cases of application in the medical sector, in the creation of digital identities for people without documentation, in the energy industry, and the fabrication and management of car parts. It also refers to its possible application to manage registers and documentation in logistic chains, improving their transparency, efficiency, and traceability. Furthermore, the report mentions smart contracts as valuable tools for automatizing commercial processes, together with IoT (internet of things) technology.

Löf (2017) states that blockchain is beneficial when the intention to keep a database or transfer property exists between different entities who do not trust each other, without a central authority who governs the process. He also refers to it being favourable “if the data benefits from a chronological timeline and is allowed to be public to all participants of the blockchain”. On the other hand, he establishes that “it is important to understand the limited domain where the technology adds value”, and that “blockchain technology is not beneficial for many of the usage areas proposed in the blockchain sphere”.

Regarding the limited usefulness of blockchain technology, Wüst & Gervais (2017) created a decision tree to determine whether blockchain is the appropriate technological solution for a given problem. According to the authors, the use of blockchain is only justified if all the following conditions are met:

- A) There is a need to store data representing the state of a system. Otherwise, no database is required, and a blockchain is a form of a database.
- B) There are multiple writers of the database. If only one exists, “a blockchain does not provide additional guarantees and a regular database is better suited because it provides better performance [...]” (Wurst & Gervais, 2017).
- C) There is not an always online trusted third party (TTP). That is a person or entity with access to the database who is trusted by all participants. “If the TTP is always online, write operations can be delegated to it and it can function as a verifier for state transactions”.
- D) Not all writers are known and trusted. If there exists mutual trust between the participants of the database, “a database with shared access is likely the best solution”.

Although blockchain has become increasingly popular across different areas of activity, its usefulness depends on the problem being tackled and should not be assumed without a proper evaluation.

3. Methodology. - The main objective of this study is to analyze the feasibility of incorporating a technological solution that includes blockchain for managing LUPZ in downtown Montevideo (capital city of Uruguay). To achieve this, three research questions were formulated:

- H1: Can blockchain be incorporated as part of the solution?
- H2: Does blockchain add value to the solution?
- H3: To which extent does the reluctance to share information affect the implementation of a solution for managing loading and unloading parking zones?

To give answers to these questions, as a first phase, a bibliographic review was carried out. Based on Ballantyne et al. (2013), the main stakeholders and actors involved in freight transport were identified and later confirmed through surveys and interviews. The research showed the following results about the situation of the different actors involved.

Shippers (senders of goods), shop owners, freight transport companies, and authorities were determined as the main relevant actors for this paper. The interaction between these different groups determines urban freight activity. To optimise freight distribution in cities, the contribution of these actors to the final solution proposed is fundamental.

As a second phase, seeking the development of an integrated solution, the different actors involved were included in the research through the following three activities:

- A workshop with managers and owners of freight transport companies, trade unions, and municipal authorities' representatives was conducted with the help of an international expert researcher in urban freight logistics. The goal of the workshop was to encourage cooperation between the different sectors and contribute ideas towards possible technological solutions for problems caused by urban delivery.
- Surveys aimed at haulers were carried out. The questions were designed based on the unified theory of acceptance and use of technology (UTAUT) and using the questions proposed in Venkatesh et. Al. (2003) as a guide. The goal was to measure the potential users' intention to embrace a technological solution for managing freight loading and unloading in the area, as well as obtaining their points of view of the issue. The UTAUT determines four main constructs which predict user acceptance of new technology; these are performance expectancy, effort expectancy, social influence, and facilitating conditions (Venkatesh, Morris, Hall, Davis, & Davis, 2003). A total of 25 answers were obtained from managers, logistics directors and drivers, and urban truck owners.
- Surveys to shop owners and employees from the neighborhood were carried out also using the UTAUT model, to determine their acceptance of the use of a technological solution for freight transport problems. In this case, 57 surveys were carried out. This number of surveys was limited to the hours that the team spent on the street visiting shops and to the fact that not everyone accepted to collaborate and answer the questions.
- An interview with representatives from the city's municipal government, to obtain their view and evaluation of the problem was conducted.

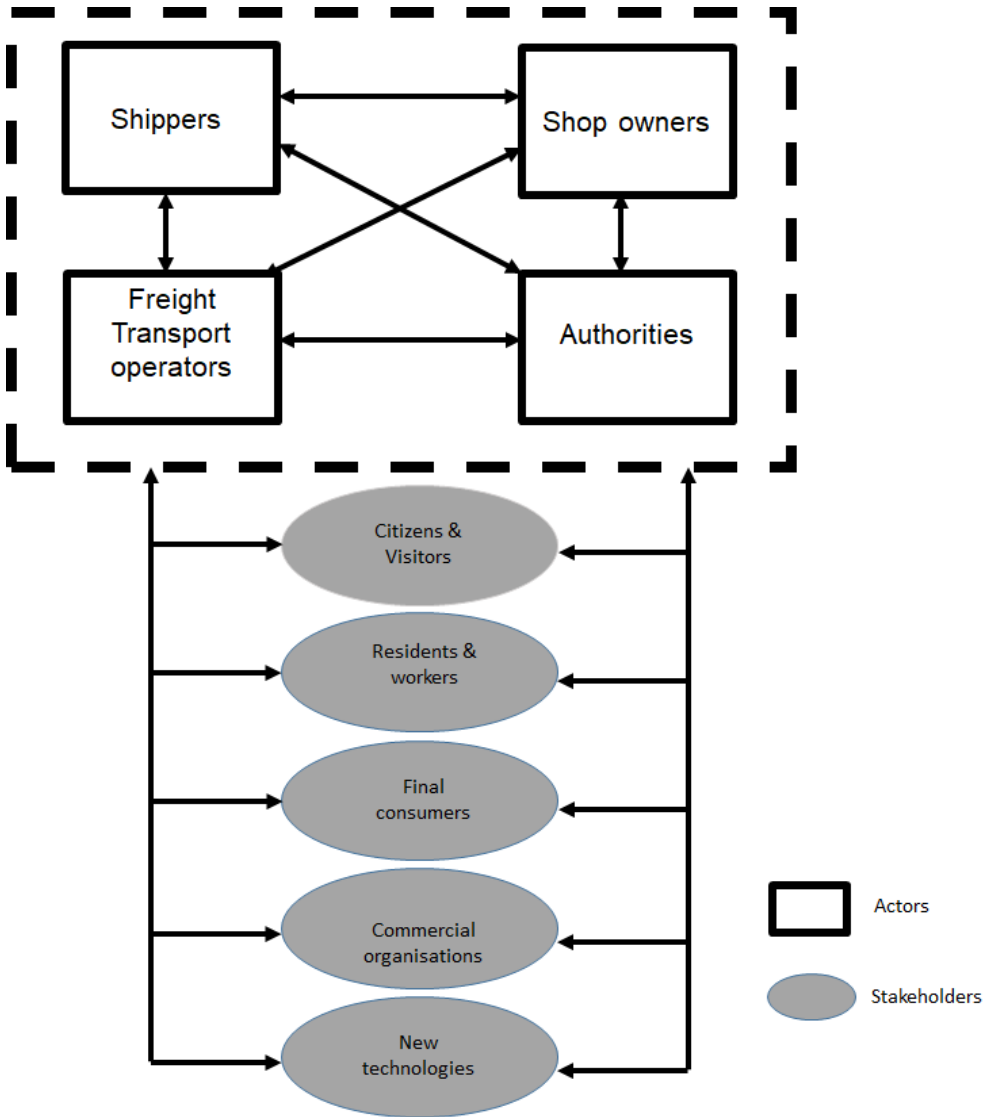


Figure 1. Urban freight stakeholders and actors. Adapted from Ballantyne et al. (2013).

The third phase of this research included a field study for determining the quantity and location of existing LUPZ in the neighbourhood. The register of the necessary data obtained from the field study was carried out using Fulcrum® app. Information about the location (coordinates), size, orientation, and main characteristics of the LUPZ were gathered. The information was displayed using Power BI®.



Figure 2. Location of public loading and unloading areas in downtown Montevideo (powered by Fulcrum® and Power BI®).

Finally, the fourth phase in this research included a study on the feasibility of including blockchain for the proposed telematics solution in order to evaluate if a blockchain with shared access was the best solution for the identified problem. For this purpose, interviews with three Uruguayan blockchain experts were carried out.

3.1. Downtown Montevideo. - Downtown Montevideo (Ciudad Vieja) is a neighborhood distinguished for its historical relevance. It presents relevant characteristics for the investigation. First, in this part of the city, the streets are narrow, most of them with just one lane of circulation. Also, it has specific pedestrian and automobile restrictions to favor tourism. For example, the entry of specific large cargo vehicles is prohibited. Moreover, it contains a high number of businesses and companies, which demand large volumes of freight delivery over a small geographical area (around 1 km²), and some of these entities have private parking zones to develop their activities.

Moreover, the distribution of the public LUPZ was not properly planned, and they were situated randomly. According to local authorities, there was no previous research done about the correct methodology to determine the proper number and location of the LUPZ. Relevant parameters such as the location and concentration of retailers were not taken into consideration.

In downtown Montevideo, there are 390 shops and restaurants that receive commodities once or more times per day, on average. These businesses are normally of small size and they have limited places to store products. These results were obtained from field research carried out during this investigation.

4. Results. –

4.1. Involvement of Actors. - According to the first phase, the literature review was performed to generate the research framework. In the second phase, as mentioned, the different stakeholders and actors were involved during the research through different activities. Through interviews with five private logistic managers, their views concerning the problems related to urban distribution occurring in downtown Montevideo were obtained. The main identified problems were:

- Traffic jams caused by the congestion of freight and private vehicles.
- LUPZ not being enough.
- The time designated for the use of a LUPZ not being enough.
- Lack of control by authorities.
- Private vehicles often occupying LUPZ.

During these interviews, private managers reported that a telematics solution that provides the opportunity to pre-reserve loading zones would not offer much utility, because it would require high levels of coordination between shops and transport operators. As most of them are small shops and often do not possess adequate technological devices, this is a restriction for efficient coordination. On the other hand, a mobile app or a webpage that shows the live availability of LUPZ could help optimise freight distribution times and reduce traffic, as it would allow the transport operators to modify their route according to the loading zones that are available in a dynamic way, thus making better-informed decisions. The telematics system would need to be compatible with the routing programs used today by some freight companies.

As to the workshop conducted, this experience allowed an opportunity to generate an open discussion space between the public and private sectors and to present the different perspectives of the problem. Some remarkable points of view about the introduction of technology for the management of LUPZ emerged in this instance. For example, the private sector expressed being willing to share information to an authority or a mediator that manages the information if confidentiality is ensured, and it is only used for the optimization of urban distribution logistics. Moreover, the proposed solution would need to be flexible and adaptable to future demand volume shifts.

An interesting opinion obtained in the workshop was that, before the enforcement of a telematics solution, it is necessary to study the location and the assigned time of use of the existing LUPZ in the city where it is going to be implemented, as well as the main sources of demand. Quantifying the problem is essential to identify the origin of traffic jams and externalities caused by inefficient freight activity.

Another point to take into consideration is a survey oriented to haulers about the acceptance of new technologies. The questions of the survey were based on the UTAUT model. Although the model has not yet been validated specifically for the management of LUPZ, it is expected to predict reasonably well the acceptance of this kind of technology. The survey showed that the 4 constructs included in the UTAUT model were evaluated positively. Out of 5 points as the maximum, 3.9 was the minimum value obtained. Moreover, almost all questions included in the questionnaire scored above the mean value (3).

Taking into consideration the perspective and knowledge of the different actors and stakeholders, the solution should involve an app that registers the usage of the LUPZ. This information allows users to know whether the LUPZ is available or not apart from giving the authorities valuable information about the usage of these areas. Information such as frequency and rush hours of usage

can help to manage the location and quantity of these areas in a more efficient way. As described in the third phase of the methodology, the LUPZ were identified and described.

UTAUT	Question	Result	UTAUT variable result
Performance Expectancy	The APP would help me find a loading and unloading area faster	4.3	4.1
	The APP would reduce risks while unloading	3.7	
	The APP would reduce the irregular parking situations (double row parking, parking in unassigned areas, etc)	4.3	
Social Influence	The company where I work encourages de use of new technology	4.2	3.9
	I would be willing to use new technology if the company where I work requires it	3.9	
	My co-worker's opinion affects my decision towards using the APP	3.7	
Effort expectancy	I periodically use mobile applications	4.6	4.1
	I periodically use the computer	4.0	
	I usually learn to use a new program or application easily	4.7	
	Using the application during working hours would not be a distraction	2.9	
	Learning how to use de application would require a short period of training time.	4.2	
Facilitating Conditions	I have good access to the internet in the place I work	4.3	4.1
	The company where I work has specialized staff to help me with the application	3.8	
	The company where I work supplies me with the technological devices, I need to complete my tasks	4.2	
	The application would be compatible with the actual programs the company uses	3.9	

Table 1. Survey results.

4.2. Proposed Solution. - To start with, the telematic tool must provide a way of detecting the live occupation of the LUPZ. This would provide users information about the availability of LUPZ, allowing them to make better-informed route choices. A first method would be freight transporters validating their use by SMS when they stop in a LUPZ. Its principal advantage is the easy and quick implementation, as it is a technology that is already being used in the country for managing private vehicle parking zones. Another option is using sensors or cameras that automatically detect if the LUPZ is available or not. In both cases, this information could be later used to measure to which extent the areas cover the demand and whether they are placed inefficient locations.

Moreover, it would be interesting that, through a mobile application or web page, users could access information about location, schedule, size, and vehicles authorized for the LUPZ apart from their availability.

Furthermore, another way of managing LUPZ more effectively is authorities improving their control over them. In many cases, unauthorized vehicles use the areas. It would be useful if the system controlled the vehicles that park on LUPZ. Besides, it might also be of interest to control whether the trucks and vehicles that use LUPZ have the corresponding authorization to enter downtown, have paid their taxes and circulation fees, and other related regulatory verifications.

In order to save all this information, a registry is needed. This database should be actualized automatically in case the technology used makes it possible, or manually actualized if the stakeholders involved cooperate to send and validate the information required. The following figure visually covers the mentioned points.

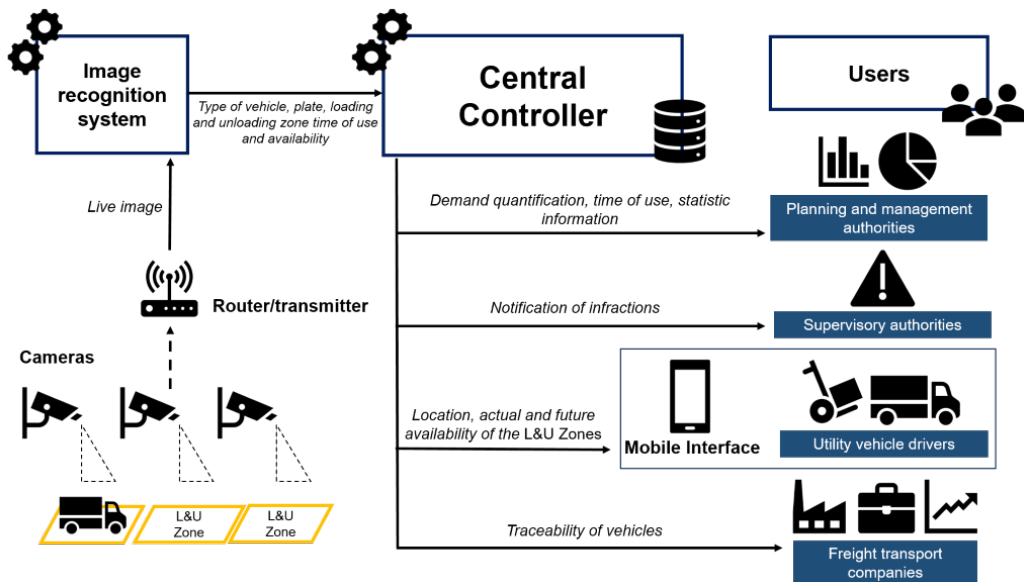


Figure 3. Proposed solution diagram.

For the management of the areas, there are two different options. The first one involves users booking LUPZ in advance (pre-booking). The transport companies would have to plan their distribution routes according to the schedules of the areas. The second option is to book only when the truck arrives at the LUPZ.

During interviews and discussion instances, freight companies and authorities ruled out pre-booking. Principally this was because of the continuous delays and reschedules that occur during distribution. This makes it very difficult to comply with strict and unalterable routes. If this type of system was implemented, it would need a high degree of coordination between the merchants and the drivers of the trucks. In the case of the second option, the reschedules would not be a problem. This system would enable the users to modify their routes in case one nearby LUPZ becomes available, thus providing better flexibility.

The platform for the users could be a mobile app or a web page that enables them to access different information. To start with, it would show a map of the downtown with all the LUPZ and its availability. For example, a green area is a freeloading zone while a red area is occupied. If pre-booking is used, it would have to include a timetable with the hour hand of every LUPZ, showing when it is available or occupied. In this timetable, each user can reserve a period to use the LUPZ. Different types of users for the different stakeholders and actors may be necessary. For example, a type of user for senders of goods and freight transport operators and a different type of user for authorities. While the first ones should have access to information such as hours and quantity of areas used by their company's trucks the authorities may need information about where and when someone committed a traffic offense.

4.3. Blockchain. - In the fourth phase of the methodology, the possibility of including blockchain in the aforementioned technological solution applied to the management of LUPZ was evaluated through interviews with three Uruguayan experts in the blockchain field.

The three of them argued that it would be reasonable to use a permissioned private blockchain. This type of blockchain consists of a central group of entities that deploy, run, and maintain all nodes. In that way, individual peers are given permission to participate in the blockchain's read or write operations. These kinds of networks are generally developed and maintained by a blockchain service provider. Moreover, permissioned private networks are not decentralized nor transparent, and the scalability is very limited, they are usually designed for a single use case or application. (Allende, 2021).

Therefore, data such as the place, date, and identifier of the video recordings made by the camera system could be saved in a blockchain. The video files per se should still be stored inside a physical server, as blocks cannot hold such big chunks of information.

Any conflict which arises due to the lack of trust between users and authorities could be solved by looking for the information in the blockchain. For example, if a private vehicle owner is fined for parking on a LUPZ and requests proof, arguing that the sanction was wrongly imposed, the blockchain holds the inalterable information which can trace the sanction back to the corresponding video file, with its date and location. This constitutes indisputable proof; thus, the complaint can be settled.

If a traditional database was used for this purpose, the veracity of the information could not be completely guaranteed (consider the case of a malignant writer who manipulates the data stored in the database). According to one of the experts interviewed, this type of complaint is very usual, especially regarding fines for excess speed controlled by cameras and radars.

According to the proposed solution, the following system architecture was developed. As it is shown, cameras would record the LUPZ activity. Then, the image is processed and, together with a plate recognition system, information of when, where, and who used the areas is stored. To access this data, there are two important aspects to consider. Firstly, the recordings of the cameras would be saved in a database such as MySQL. In order to make these recordings confidential and inalterable blockchain would be part of the solution. As previously mentioned, the place, date, identity code, and other important information of the recordings made by the different cameras would be saved in a blockchain. All the access to this data is controlled by the business logic which manages the exchange of information. The estimated cost of the project is USD 10000 per LUPZ, including installation of hardware and software, added to 500 USD per month for maintenance.

4.4. System Architecture. –

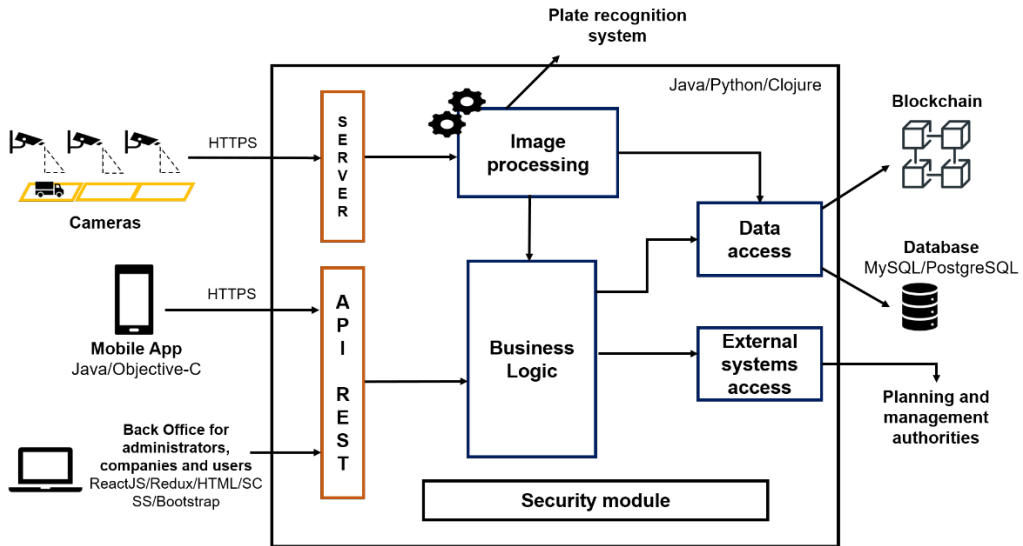


Figure 4. System architecture.

5. Discussion and Conclusion. - In the following section, the results of the investigation are discussed considering to which extent the research questions were answered. Moreover, the limitations of the study are presented together with future needed research.

Results during research showed that shop owners are not necessarily concerned about freight transport problems, which contradicts what is stated by Ballantyne et al. (2013). This attitude is mainly explained by the fact that they are not directly affected by the timing of inefficiencies if the goods are delivered. However, it must be noted that they are probably affected indirectly, as traffic jams and congestions make the neighbourhood less attractive for potential consumers.

Moreover, the problems identified during research are in accordance with what the local authority had previously established, as well as the negative consequences of urban freight distribution mentioned in the literature. Additionally, as established by Malik, Sánchez-Díaz, Tiwari & Woxenius (2017), parking was identified as a key issue within urban freight distribution.

Regarding the hypothesis of to which extent does the reluctance to share information affect the implementation of a solution for managing the LUPZ, results showed that managers and owners of transportation companies are willing to share part of their operational information with a trusted third party (TTP) if it was necessary to develop an information system which improves the dynamics of urban distribution. This TTP could be the local authorities or a private agent who manages the system. The security of the data could be guaranteed via a contract that prohibits the TTP from selling or distributing the shared information. This system may not be enough for countries or cities where businesses trust the government to a lesser extent.

Besides, the applied UTAUT model confirmed that a technological solution for managing the loading and unloading zones would be well accepted by freight transport operators, which are relevant stakeholders of the problem and final users of the system.

The proposed solution would enable haulers to optimize their tasks. By knowing the availability of the LUPZ in the area they can modify their route towards the free zones which not only saves time but also reduces congestions and the consumption of fuel. Moreover, the information on the demand of the LUPZ would help authorities to control their quantity and location.

Regarding blockchain, the research concludes that it could only be useful in ensuring one specific function of the telematic system: the veracity of the information. In accordance with literature and opinions shared by the interviewed blockchain experts, the main and most important characteristics of blockchain regarding its possible implementation for logistical chains are the inalterability of information and chronological traceability. In conclusion, and related to the research questions formulated, blockchain can be incorporated as part of the solution adding value up to a certain extent, being useful especially for keeping a timestamp and ensuring the veracity of important information, e.g. time, place, and date in which a video was recorded, to avoid trust problems when the system provides proof of disobedience of loading zones' rules of use.

According to the four conditions established by Wüst & Gervais (2017) for determining whether blockchain is useful for a given problem, the problem discussed in this paper does not need blockchain, since the database would have only one writer (the municipal authority) which is generally trusted for being a governmental entity. It must be noted that the authors' methodology for answering the question "do you need blockchain?" is rather simplistic since it tries to answer a complex question through a few simple steps, and the presented research has shown that there could be some utility in incorporating blockchain to the telematics solution for managing LUPZ. The municipal authority could even be considered a non-trusted party in some cases.

Future research is needed to determine the freight transport demand of LUPZ. Together with this, a methodology for determining the optimum quantity and location of LUPZ for downtown Montevideo should be designed. This would enable local authorities to have a clear perspective of whether a change in their actual location can generate a positive impact in reducing traffic jams. Moreover, it helps the different stakeholders and actors to have a clearer scale of the problem.

In order to introduce the technological solution, the exact quantity, location, and conditions of the cameras relative to the loading zones should be studied. Apart from the telematics system, human supervision would be necessary to control unauthorized utilization of the LUPZ and deal with problems of the system, both hardware, and software.

One of the most important future challenges in developing the mobile application. It should acquire the functions mentioned in the proposed solution apart from future improvements.

6. References

- [1] Allende, M. (2021). Blockchain - LACCHAIN FRAMEWORK FOR PERMISSIONED PUBLIC BLOCKCHAIN NETWORKS. IDB. Obtained from: <https://publications.iadb.org/publications/english/document/LACChain-Framework-for-Permissioned-Public-Blockchain-Networks-From-Blockchain-Technology-to-Blockchain-Networks.pdf>
- [2] Ballantyne, E. E., Maria, L., & Wheiteing Anthony. (2013). A comparative study of urban freight transport planning: addressing stakeholder needs. *Journal of Transport Geography*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692313001671>
- [3] Berenguer, M., Da Silva, L., & Balassiano, R. (2004). Intelligent transportation systems and parking management: implementation potential in a Brazilian city. *Cities*, 21(2), 137-148. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2004.01.001>
- [4] Comi, A., Buttarazzi, B., Schiraldi, M. (2018). Smart urban freight transport: tools for planning and optimising delivery operations. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 88, 48-61.
- DHL, & Accenture. (2018). Blockchain in Logistics - Perspectives on the upcoming impact of blockchain technology and use cases for the logistics industry. Retrieved from <https://www.logistics.dhl/content/dam/dhl/global/core/documents/pdf/glo-core-blockchaintrend-report.pdf>
- [5] Fransoo, Jan C., Blanco, E. and Mejia-Argueta, C. (Eds.) (2017). Reaching 50 Million Nanostores: Retail Distribution in Emerging Megacities, CreateSpace Independent Publishing Platform, 440 pp.
- [6] Han, L., Chin, S., Franzese, O., & Hwang, H. (2005). Estimating the impact of pickup and delivery-related illegal parking activities on traffic. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1906, 49-55
- [7] Innarella, R., Varisco, M., & Rosati, L. (2017). DynaLOAD: a simulation framework for planning, managing, and controlling urban delivery bays. *Transportation Research Procedia*, 22, 335-344. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.049>
- [8] Instituto Nacional de Estadística, Uruguay. (2011). Censos 2011. Retrieved 28 June 2018, from <http://www.ine.gub.uy/web/guest/censos-2011>
- [9] Kelli, L., Abreu, B., Dablanc, L., Ribeiro, K., Setumb S. (2018) Distribuição Urbana de Mercadorias e Planos de Mobilidade de Carga Oportunidades para municípios brasileiros. BID. Doi: <http://dx.doi.org/10.18235/0001169>
- [10] Kijewska, K., Iwan, S., Nurnberg, M., Malecki, K. (2018) Telematic tools as the support for unloading bays utilization. *Archives of Transport System Telematics*.
- Löf, M. (2017). Decentralized Transactions in a Centralized Environment. A Blockchain Study Within the Transport Industry.
- [11] Malik, L., Sánchez-Díaz, I., Tiwari, G., & Woxenius, J. (2017). Urban freight-parking practices: The cases of Gothenburg (Sweden) and Delhi (India). *Research In Transportation Business & Management*, 24(1), 37-48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.05.002>
- [12] Manzano dos Santos, E., & Sánchez-Díaz, I. (2016). Exploring Carriers' perceptions about City logistics initiatives. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*, 2547, 66-73
- [13] McLeod, F., & Cherrett, T. (2011). Loading Bay Booking and Control for Urban Freight. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/13675567.2011.641525>
- [14] Muñozuri, J., Cortés, P., Guadix, J., & Onieva, L. (2012). City logistics in Spain: Why it might never work. *Cities*, 29(2), 133-141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.03.004>
- [15] Muñozuri, J., Larrañeta, J., Ibáñez, J. N., & Montero, G. (2006). Pilot demonstration of a web-based loading zone reservation system. *Recent advances in city logistics* (pp. 401-415). Oxford: Elsevier

- [16] Perry, E., Oberhart, E., & Wagner, S. (2015). Truck Parking Management Systems: A Synthesis of Projects, Research, and Resources for MAASTO Decision Makers. Recuperado de <http://docplayer.net/14911143-Truck-parking-management-systems-a-synthesis-of-projectsresearch-and-resources-for-maasto-decision-makers.html>
- [17] Stickel, M., & Furmans, K. (2005). A web-based support tool to coordinate logistic activities in densely populated areas using auctions. Recuperado de <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactionson-the-built-environment/77/14638>
- [18] Taniguchi, E., Thompson, R. G., Yamada, T. y Van Duin, J. H. (2001) City logistics: Network modeling and intelligent transport systems. Elsevier Science
- [19] Venkatesh, V., Morris, M. G., Hall, M., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>