ISSN:2600-5573

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
SCIENTIA ET TECNICUS IN SERVITIUM POPULI
UTN
AUTÓNOMA DESDE 1986
IBARRA - ECUADOR

IDEAS Journal

INNOVATION & DEVELOPMENT IN ENGINEERING AND APPLIED SCIENCE



VOLUMEN 4
NUMERO 2 | DICIEMBRE - 2022



IDEAS
Journal

Innovation & Development in Engineering and Applied Science

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

FICA

IBARRA - ECUADOR
2022

Editorial committee

Daisy Imbaquingo, MSc.
MANAGING DIRECTOR
e-mail: deimbaquingo@utn.edu.ec

Fernando Ramírez, PhD.
GENERAL EDITOR
E-mail: frramirez@utn.edu.ec

Marco Ciaccia, PhD.
SECTION EDITOR
E-mail: mciaccia@utn.edu.ec

Marcelo Zambrano, PhD.
SECTION EDITOR
E-mail: omzambrano@utn.edu.ec

Roberth Valencia, PhD.
SECTION EDITOR
E-mail: rmvalencia@utn.edu.ec

David Ojeda,, PhD.
SECTION EDITOR
E-mail: daojeda@utn.edu.ec

Brizeida Gámez, PhD.
ACADEMIC EDITOR
E-mail: bngamez@utn.edu.ec

Miguel Vivert, PhD.
ACADEMIC EDITOR
Email: mevivert@utn.edu.ec

Vladimir Bonilla Venegas, PhD
ASSOCIATED EDITOR
E-mail: fbonilla@ute.edu.ec

Thalía San Antonio, PhD.
ASSOCIATED EDITOR
E-mail: t.sanantonio@uta.edu.ec

Mario Ron, PhD
ASSOCIATED EDITOR
E-mail: mbron@espe.edu.ec

Laura Guerra, PhD.
ASSOCIATED EDITOR
E-mail: lrguerra@pucesi.edu.ec

Wilson Guachamín, PhD
ASSOCIATED EDITOR
E-mail: wilson.guachamin@epn.edu.ec

Ana Cabrera, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
E-mail: acabreratobar@unisa.it

Lilibeth Zambrano, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
email: zambranol@itcarlow.ie

Belkys Amador, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
mail: bamador@unet.edu.ve

Vannessa Duarte, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
mail: vannessa.duarte@unc.cl

Laura Sáez, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
mail: decanatoingenieria@ujap.edu.ve

Luis Garza, PhD.
INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE
mail: luis_garza1@ucol.mx

Roger Mafla, Lic.
DIAGRAMMER DESIGNER
E-mail: rfmafla@utn.edu.ec

Silvia Arciniega, Dra.
SECRETARY AND STYLE CORRECTOR
E-mail: srarciniega@utn.edu.ec

Leonardo Ibujés, Ing.
TECHNICAL EDITOR
email: lvibujesc@utn.edu.ec

Gabriela Obando
ASSISTANT
email: rgobandon@utn.edu.ec

Editorial committee

Dr. Miguel Naranjo Toro, PhD.
RECTOR
email: rectorado@utn.edu.ec

Dra. Alexandra Mina Páez, PhD
ACADEMIC VICE-RECTOR
email: viceacademico@utn.edu.ec

Dra. Nhora Benitez Bastidas, PhD
RESEACH VICE-RECTOR
email: viceinvestigacion@utn.edu.ec

Dr. Hernán Cadena Pulles, PhD.
ADMINISTRATIVE VICE-RECTOR
email: viceadministrativo@utn.edu.ec

Catalina Ramírez, MSc.
DEAN FICA
email: mcramirez@utn.edu.ec

Daisy Imbaquingo, MSc.
SUB-DEAN FICA
email: deimbaquingo@utn.edu.ec

Carlos Vásquez, MSc.
RESEARCH COORDINATOR
email: lesuarez@utn.edu.ec

Cosme Ortega, MSc.
COORDINATOR CISIC-CSOFT
email: mc.ortega@utn.edu.ec

Jaime Michilena, MSc..
CCOORDINATOR CIERCOM-CITEL
email: jrmichilena@utn.edu.ec

Jenyffer Yépez, MSc.
CCOORDINATOR CINDU
email: jayepez@utn.edu.ec

David Ojeda, PhD.
COORDINATOR CIME
email: daojeda@utn.edu.ec

Gerardo Collaguazo, PhD.
CCOORDINATOR CIELE
email: gicollaguazo@utn.edu.ec

Ignacio Benavides, MSc.
COORDINATOR CIMA-CIAUT
email: ibbenavides@utn.edu.ec

Marco Naranjo Toro, MSc.
COORDINATOR CITEX
email: mfnaranjo@utn.edu.ec

Victor Caranqui, MSc.
COORDINATOR CITIL
email: vmcaranqui@utn.edu.ec



UNIVERSITY PRINTING 2021
Universidad Técnica del Norte
Ibarra-Ecuador

Editorial

En la presente edición, IDEAS continúa publicando artículos científicos de diversos campos de la ingeniería presentados por autores de instituciones reconocidas en el país y en el mundo. Por ello, agradecemos la confianza, depositada en esta revista, por importantes investigadores de todo el mundo para exponer sus hallazgos.

El volumen 4 número 2 de 2022 de la revista Innovation & Development in Engineering and Applied Science inicia con la propuesta de Reascos de la Universidad Técnica del Norte y Carvalho de la Universidad do Minho (Portugal) basada en una guía metodológica para implementar aplicaciones empresariales en las pequeñas y medianas empresas (PYME).

De la misma manera; Ponce, Ortega y Pusdá de la Universidad Técnica del Norte presentan una aplicación en el campo de la agricultura de precisión. Se trata de un proceso de segmentación de imágenes agrícolas adquiridas con drone mediante algoritmos.

Por otra parte, Delgado, Gomes, Martino y Pérez del Centro de Biomecánica de la Universidad de Carabobo (Venezuela) muestran los resultados obtenidos, en torno a un clavo endomedular femoral para pacientes pediátricos con osteogénesis imperfecta. Esta alternativa se presenta como solución a los problemas de rotación post quirúrgica; permitiendo el desarrollo del hueso de manera alineada.

En el campo de la Ingeniería Industrial, se recibieron contribuciones procedentes de la Universidad de Guayaquil (Ecuador); De La A Daniel, Pulley, Ponce y Zapata, plantean un sistema de gestión de diferentes materiales para el diseño de una planta industrial. En este artículo se analizan consideraciones importantes para diseñar la disposición de una planta de producción de queso maximizando la eficiencia y la productividad.

Así mismo, Rueda, Pluas, Parrales y Morante presentaron el análisis de una planta productora de queso demostrando que se pueden mejorar la eficiencia, la productividad y la rentabilidad en la producción de queso, contribuyendo al desarrollo de la industria alimentaria del país.

A su vez, Plua, Carriòn, Madruñero y Castro plantean la estimación de la superficie requerida y distribución de planta de una industria metalmecánica. Para el caso estudio se determinaron los factores necesarios para establecer la relación entre el número de máquinas y el área total requerida considerando planes de expansión y requerimientos operativos.

Esta edición finaliza con la propuesta de un geoportal con despliegues temáticos para la visualización de información Geoespacial de Ecuador llevado a cabo por Pablo Landeta, Jorge Vásquez, Tatyana Saltos y Xavier Mauricio Rea quienes se enfocaron en el desarrollo de un Geoportal que incluye una visualización de mapas donde es posible visualizar en detalle las variadas capas de aspectos importantes del Ecuador. Esta herramienta permite al usuario observar mapas temáticos según diversas áreas y obtener información geoespacial de manera eficiente.

Los editores de IDEAS, reiteramos nuestro agradecimiento a todos los investigadores que han contribuido con sus trabajos haciendo realidad el volumen 4 numero 2, de 2022. Finalmente, invitamos a todos los investigadores nacionales e internacionales a publicar sus trabajos científicos con las ventajas que ofrecemos como revista de acceso abierto.

M.Sc. Daisy Imbaquingo

Editor Jefe

PhD. Fernando Ramírez

Editor General

Editorial

In the present edition, IDEAS continues to publish scientific articles from various fields of engineering presented by authors from renowned institutions in the country and the world. For this reason, we are grateful for the trust placed in this journal by important researchers from all over the world to present their findings.

Volume 4 issue 2 of 2022 of the journal Innovation & Development in Engineering and Applied Science begins with a proposal by Reascos from Universidad Técnica del Norte and Carvalho of the University of Minho (Portugal) based on a methodological guide for implementing business applications in small and medium-sized enterprises (PYME).

Similarly, Ponce, Ortega and Pusdá from Universidad Técnica del Norte present an application in the field of precision agriculture. It is a process of segmentation of agricultural images acquired with drone by means of algorithms.

In addition, Delgado, Gomes, Martino and Pérez from the Biomechanics Center of the Universidad Carabobo (Venezuela) show the results obtained about a femoral endomedullary nail for pediatric patients with osteogenesis imperfecta. This alternative is presented as a solution to post-surgical rotation problems, allowing bone development in an aligned manner.

In the field of Industrial Engineering, contributions were received from the University of Guayaquil (Ecuador); De La A Edu Pulley Nelly Ponce Sandra Zapata, who proposed a management system for different materials for the design of an industrial plant. This article discusses important considerations for designing the layout of a cheese production plant to maximize efficiency and productivity.

In turn, Plua, Carriòn, Madruñero & Castro propose the estimation of the required area and plant layout of a metal-mechanic industry. For the case study, the necessary factors were determined to establish the relationship between the number of machines and the total area required considering expansion plans and operational requirements.

Likewise, Plua, Carriòn, Madruñero and Castro propose the estimation of the required area and plant distribution of a metal-mechanic industry. For the case study, the necessary factors were determined to establish the relationship between the number of machines and the total area required considering expansion plans and operational requirements.

This edition ends with the proposal of a geoportal with thematic displays for the visualization of geospatial information of Ecuador carried out by Pablo Landeta, Jorge Vásquez, Tatyana Saltos and Xavier Mauricio Rea who focused on the development of a geoportal that includes a map visualization where it is possible to visualize in detail the various layers of important aspects of Ecuador. This tool allows the user to observe thematic maps according to different areas and obtain geospatial information in an efficient way.

The editors of IDEAS, we reiterate our gratitude to all the researchers who have contributed with their work making volume 4 issue 2 of 2022, a reality. Finally, we invite all national and international researchers to publish their scientific works with the advantages that we offer as a journal of open access.

M.Sc. Daisy Imbaquingo

Editor in Chief

PhD. Fernando Ramírez

General Editor

Index

A Framework for Implanting EITA in SMEs: Leader- ship, communication, project management, and change management. 9

Segmentación de imágenes agrícolas adquiridas con drone mediante algoritmos paralelos 27

Clavo endomedular femoral para pacientes pediátricos con osteogénesis imperfecta 43

Gestión de los distintos tipos de materiales como factor determinante para el diseño de una planta industrial 59

Análisis de planta productora de queso desde prácticas de ingeniería de distribución de planta 73

Estimación de la superficie requerida y distribución de planta de una industria metalmecánica 87

Geoportal of the Universidad Técnica del Norte for the visualization of geospatial information of thematic maps de Ecuador 97

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Enginnering in Applied Sciences
IDEAS
VOL. 4 Nº2 - 2022

A Framework for Implanting EITA in SMEs: Leadership, communication, project management, and change management.

http://doi.org/10.53358/ideas.v4i2.860

Irving Reascos[1], João Alvaro Carvalho[2]
[1] Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
[2] Universidad do Minho, Braga, Portugal
[1]imreascos@utn.edu.ec, [2] jac@dsi.uminho.pt

Fecha de envío, marzo 20, 2023 - Fecha de aceptación, abril 11, 2023 - Fecha de publicación, Abril 21, 2023

ABSTRACT

One of the main problems in implanting enterprise applications in Small and Medium Enterprises (SMEs) is the lack of methodological support to guide SMEs and IT consultants in this process. Besides, there is little infor- mation about leading the implantation project, change management, leadership, and communication in an integrated way. This article's objective is to provide methodological guides that allow the implantation teams to carry out this man- agement appropriately. This work is based on a field study and interviews with key informants who know about implanting Enterprise IT Applications (EITA) in SMEs. This research results in a descriptive framework that allows the joint management of these four transversal areas (leadership, communication, project management, and change management) and the two focus areas (processes and people).

Keywords: SIMPLE Framework, project management, change management, leadership, communication, ERP, CRM.

Resumen : Uno de los principales problemas en la implantación de aplicaciones empresariales en las Pequeñas y Medianas Empresas (PYMEs) es la falta de soporte metodológico para guiar a las PYMEs y a los consultores de TI en este proceso. Además, hay poca información sobre cómo dirigir el proyecto de implantación, la gestión del cambio, el liderazgo y la comunicación de forma integrada. El objetivo de este artículo es proporcionar guías metodológicas que permitan a los equipos de implantación llevar a cabo esta gestión de forma adecuada. Este trabajo se basa en un estudio de campo y en entrevistas con informantes conocedores de la inserción de Aplicaciones Informáticas Empresariales (ATI) en PYMEs. El resultado de esta investigación es un marco descriptivo que permite la gestión conjunta de estas cuatro áreas transversales (liderazgo, comunicación, gestión de proyectos y gestión del cambio) y las dos áreas de enfoque (procesos y personas).

Palabras clave: Marco SIMPLE, gestión de proyectos, gestión del cambio, liderazgo, comunicación, ERP, CRM.

Autor de correspondencia:
Irving Reascos, imreascos@utn.edu.ec

Introducción

Currently, it is more advantageous for SMEs to acquire and implant an enterprise application than to develop one. The difficulty today is obtaining the potential bene- fits of IT as soon as possible, through a process that involves the selection, installa- tion, configuration, and parameterization of COTS (Commercial-Off-The-Shelf) products; a load of existing information into the IT application; and continuing with its use.

Because of their reduced dimension and complexity, SMEs could be viewed as an accessible context for implanting IT applications. However, the reality is different. The literature reports the many failures SMEs face when implanting IT applications [1], [2] and the frequent problems encountered in the process: lack of proper planning [1], [3]; poor leadership [4]; difficulties in the selection of an adequate IT application [5]; IT capability limitations [6]; high costs of the implantation process [7]; poor fit between the application and the enterprise [4], [8], [9]; poor data quality [4], [10],

[11]; user resistance [4]; poor change management [8], [12], [13]; informal communi- cation [5], [11]; difficulties on affording the extensive necessary training. [14]; problems with installing the new application in a heterogeneous and often incompatible infrastructure [2, 17]; difficulties after implantation [1], among the main.

As mentioned, there are problems in the implantation of enterprise software appli- cations, most of which are due to the lack of proper management of the implantation process of these applications.

This research will propose a descriptive framework to manage a project's success- ful implementation to implant enterprise IT applications in SMEs. This framework is intended to guide the implantation team in activities related to Project Management, Change Management, Leadership, Communication, Process, and People.

This article is structured in the following way: It begins with the SME's characteri- zation, the description of an Enterprise IT Application, and the justification for using the term

implantation. Next, the article presents the research design and the result of this research. The article ends by discussing the work done and proposes activities to be carried out in the future.

Background

Small and medium enterprises

Micro, small and medium-sized enterprises (SMEs) play a significant role in the world economy. They are a primary source of entrepreneurial skills, innovation, em- ployment, and wealth creation.

By their nature, SMEs lack the resources and skills to carry out projects that in- volve the implantation of enterprise applications. Therefore, it is essential to develop methodological support for successfully managing these projects and be easy to apply for SMEs.

Enterprise IT Applications (EITA)

There is currently a wide variety of software packages that cover the information processing needs of many human and social endeavors. These software packages are named Commercial-Off-The-Shelf (COTS) products or Ready to Use Software Prod- ucts (RUSP).

This article refers to such software packages as EITA- Enterprise IT Applications, namely those aiming to address the well-acknowledged needs of enterprises. Different categories of EITAs can be considered, depending on what enterprise areas they cover and the functionality they provide. Examples include point-of-sale (POS), BI & ana- lytics, collaboration, customer relationship management (CRM), customer service, document management, content management, enterprise resource planning (ERP), finance, human resources, IT management, operations, supply-chain management (SCM), production, sales. There are no standard or well-established names for these products as they can appear in many configurations, allowing various functionality arrangements. Nevertheless, those names are widely used in the IT market. ERP products are an interesting case as they assure the essential functions of an enterprise.

Implantation vs. Implementation

The use of the term implementation is ambiguous. For professionals with a computer background, the term implementation is most often used to refer to software devel- opment or production. It is also used to describe the process of a software artifact's start-up (deploy).

To resolve this ambiguity, in this document, we propose to use the term "Implanta- tion" of a computing device in analogy to the word used in medicine, where it is used as the action of inserting a device or tissue into a human body.

Following this analogy of medicine, when an implant is going to be made, it is necessary to find the suitable "device" which best suits the receptors' needs. Follow- ing or in parallel, the doctor should create the conditions required in the receptor to receive the new device. The implantation should be carried out following the proto- cols established for effect. Once the device is implanted, it should be avoided that the recipient rejects it. In the case of medicine, immunosuppressants are administered to accept the device in the recipient. It is necessary to emphasize that specialized profes- sionals in the respective area must carry

out all this implantation process.

With this background, we will define the term implantation of an Enterprise IT Application as the action of inserting software ready to be used in the enterprise to optimize and automate the company's processes. For the implantation to be success- ful, professionals in the area who know the software product and the software product support processes must be carried out.

Also, we recognize that using the term "implantation" is unconventional in the IS community. At least in the Anglo-Saxon-influenced space, where "implementation" is the most used term to refer to the situation where an EITA is put in use in an enter- prise. Nevertheless, it should be noted that in Spanish and French, the term "implanta- tion" (implantación - Spanish, implantation - French) is often synonymous with im- plementation.

Research Design

This paper focuses on administrative issues that arise during the implantation of an EITA. It is necessary to mention that this article reuses the data collected in previous research that describes the process of implanting an EITA in SMEs -SImplE Frame- work [17]-. That research began thinking about the identification of the implantation process of an Enterprise IT Application in the SME for which the following activities were carried out:

- literature review
- a case study in a car sales company
- a field study (interviews with professionals who implanted EITA in SMEs)

The SImplE framework provides an overview of central aspects SMEs should con- sider before, during, and after the EITA implantation. This framework attempts to describe the actors involved (external and internal); all the phases and stages through which an SME should go through the process of implanting an EITA; and the main factors that influence the successful implantation of an EITA in the SME.

We should mention that the SIMPLE Framework focuses on the implantation pro- cess, which is why cross-cutting activities are discussed very briefly. The objective of this article is to emphasize those management activities of the implantation project of an EITA which are not treated in the SIMPLE framework.

Literature review

The initial literature search, which served to approach the problem and detect existing gaps, was done in the AIS e-Library and Scopus because these two sources of infor- mation cover most of the research conducted in this field. The following search ex- pression was used:

> *(Success OR Problems OR Difficulties OR Challenges OR Issues) AND (Implantation OR Implementation OR Adoption OR Selection) AND (Software package OR Commercial off-the-shelf OR COTS OR Enterprise application OR Information Systems OR IT application OR ERP OR CRM OR CMS OR DMS OR ECM) AND (Small and medium enterprise OR SME).*

The four parts of the search expression reflect the several facets of the research questions. The initial search was done in April 2017. It led to 54 relevant articles that enabled us to find other relevant articles through backward and forward references. The investigation was later updated in April 2018, and a few new articles were identi- fied and added. In total, 60 papers have been analyzed.

Case Study

The purpose of conducting a case study is to understand the implantation process of EITA in situ, the problems that arise, and the decisions made to overcome those prob- lems in SMEs. This case study was conducted in a medium-sized car distribution enterprise in northern Ecuador.

The study involved interviews with personnel that participated in the project (the quality manager - 30', the IT manager of the vehicle trading enterprise - 90', and the manager of the enterprise that supplied the EITA and provided support - 60') and analysis of documentation produced during the project. The IT manager has later interviewed again - 30' to clarify issues during the data analysis. The interviews last- ed an average of 60 minutes. The study followed the methodological recommenda- tions issued by Yin [18].

Field study

Subsequently, based on the results of the Case Study, we conducted a field study. This study consists of interviews with the stakeholders involved in implanting an EITA in the SME. We conducted forty-eight interviews with stakeholders participating in

SMEs' EITA implantation processes. The stakeholder interviewed are divided into the following groups: CEO of software-producing enterprises, consultants, SME support technicians who implanted an EITA, and SMEs that do not have an EITA.

Interviewees were from different countries (Ecuador, Portugal, Spain, Mexico, and Argentina). They were opportunistically selected based on acquaintances of the re- searchers and on a search on LinkedIn of professionals that mentioned the experience of participation in EITA implantation projects. The interviews had an average dura- tion of 45 minutes.

Data Analysis

Interviews were recorded and transcribed using the clean verbatim technique. A clean verbatim transcript is ideal for qualitative research.

Content analysis of transcriptions was supported by the MaxQDA v.18 software tool. Following the recommendations of Kuckartz [19], the study of the interviews involved the establishment of coding that included categories and subcategories (codes, sub-codes) that emerged from the data with an inductive approach, according to the researcher's understanding of the phenomenon.

Data analysis of the interviews' transcripts took a basis the codebook established in the exploratory case study. During the analysis, new categories and subcategories were created to tackle aspects that appeared for the first time in the interviews. As the analysis progressed, it became necessary to reorganize the coding because the re- searcher was incorporating more information and was improving his understanding of the phenomenon.

Finally, when performing the analysis of the coding obtained, it was also necessary to reorganize (debug) the codes and sub-codes, sometimes because there were repeated codes, at other times to group the coding into broader categories or to improve its structure coding. Figure 1 shows the codes obtained in project management and change management.

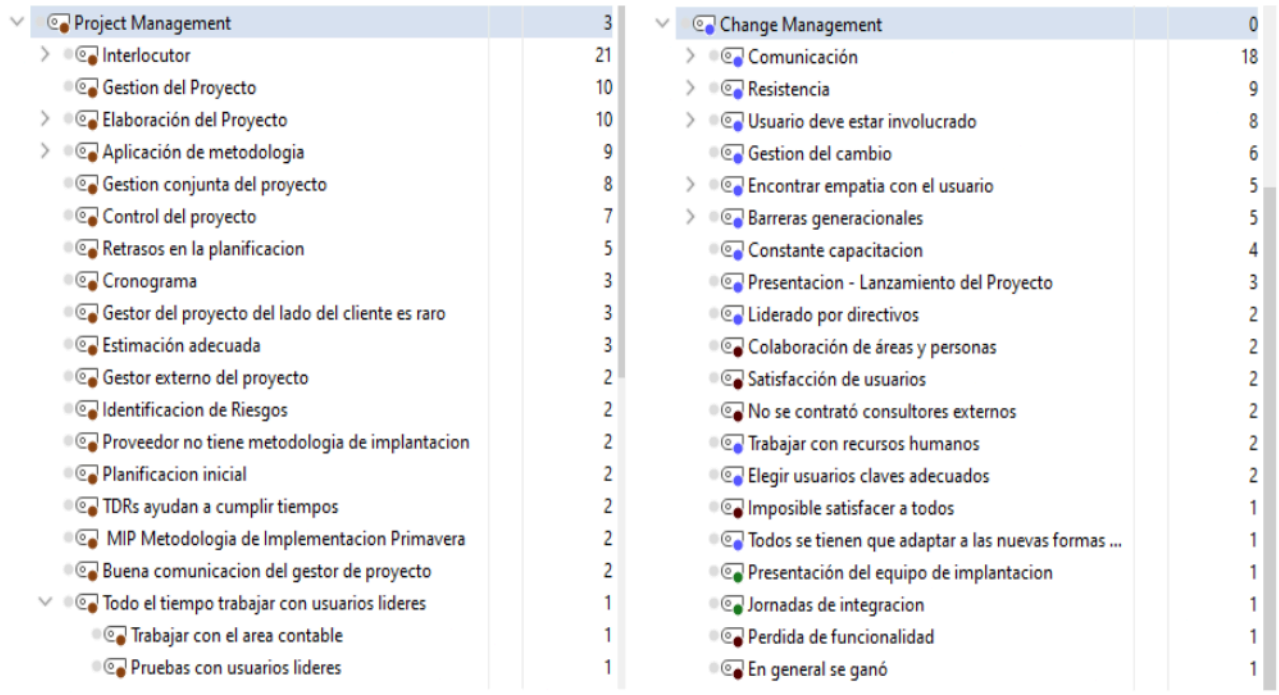


Fig. 1. Codes obtained in the categories Project management and change management.

Results

In this research, we detected two critical focus areas that should be considered when implanting an EITA in the SME: People (the persons that work in the SME) and pro- cesses (the structure of the work executed by the persons and by IT products and other equipment). Most of the activities carried out during the process of EITA implantation will affect these two areas. Therefore, they deserve special attention.

Persons

A sensitive issue in the implantation of an EITA is the persons that will use the EITA and will be affected by its use. Persons have differences (generational, cultural, and social, among others). Therefore, they must be treated differently.

We must also consider that this project generates resistance to change (characteris- tic of human nature). This is due to circumstances such as the fear of experiencing new forms of work, loss of power, insecurity due to lack of knowledge, and doubts about job stability, among others.

For this reason, when a project of this nature starts, it is necessary to plan, in an appropriate way, how to deal with the people and how the change will be managed. The workload during the implantation period can double as, besides their regular du- ties, they will have to dedicate time to activities related to the implantation process.

One of the critical aspects of the implantation process to be successful is to prepare people, that is, to provide training and coaching—this demand defines the training needs of future EITA users and SME managers. The training must cover different areas such as management, processes, technology, and the EITA.

If the enterprise has many employees, the training can be carried out in two stages: first, to train the primary users or heads of areas; later, those already prepared will teach the rest of the staff in their work area. One aspect to highlight is that training should be constant; that is, it should be done before, during, and after the implantation of the EITA.

Processes

For the successful implantation of an EITA in an SME, it is first necessary to estab- lish the SME needs and define the processes that will be supported/automated. The problem with SMEs is that their management is very informal, lacking the formaliza- tion of work structures and processes.

This makes it difficult to identify/define technological needs and hinders EITA's search, evaluation, and selection. The proposal for SMEs is to determine their pro- cesses according to their needs. These processes will be the basis for selecting the software to obtain. Otherwise, the SME processes will be governed by the EITA, which usually embeds standard, widespread practices for operations and management. Adjusting to the EITA processes is better and more profitable if the SME has a typ- ical operation and administration. But if the SME bases its competitive advantage on differentiated procedures and agile management practices, implanting an EITA can result in losing its competitive advantage. In these cases, it is better to develop cus- tom software that fits differentiated processes and agile management practices.

In some SMEs, the formalization of processes appears with the implantation of EITA. The business application is the change engine and organizes the enterprise based on the process models embedded in the software.

Before implementing the EITA, preparing the enterprise for the change is advisa- ble. Besides studying the persons affected by the change, doing that involves docu- menting the processes or even reengineering them, taking into consideration the needs of the company and the potential of current technologies. After defining the process- es, the SME must search, evaluate, and select the EITA that meets the established procedures.

In addition to these two critical areas, four cross-cutting areas must be considered: leadership, communication, change management, and project management. The im- plantation team must carefully consider these cross-cutting areas during EITA im- plantation. Neglecting these areas will hinder the success of the EITA implantation and can lead to failure.

Leadership

Leadership in these projects is fundamental because, at certain times, difficult deci- sions must be made for the continuity of the project. Delegating this leadership with- out the power to decide complicates the process of implanting the EITA. On the other hand, these leaders must be aware of the benefits to obtain, and preferably they must have specific knowledge of the processes to be automated.

If possible, a project of this nature should be led by the general manager if the pro- ject involves the whole enterprise; by the area manager if the project includes a spe- cific area.

Here are some leadership requirements that we identified and classified according to Action Centred Leadership (ACL) framework [20]:

- To accomplish the task
    - Establish the scope and objectives of the project
    - Efficient resource management
    - Capability to make decisions
- Build and maintain the team
    - Firm leadership
    - Promote teamwork
    - Know the operation of the enterprise
    - Share the vision
    - Establish enterprise policies
    - Motivate the work team
    - Comply and enforce the plans
- Development of the individual or person
    - Convinced of the change
    - Manage expectations
    - Transmit confidence and security
    - Transparent
    - Minimizes uncertainty
    - Be an agent of change

Communication

Adequate communication is the difference between the success and failure of the project. It is for this reason that a project launch is a critical moment. The launch of the project should involve the personnel; here, it is explained what it is intended to do with the implantation of the EITA, how it will be done, and what the expected results are. This communication process must be regular during the project and involve all the staff. For this reason, the project leader should use several channels (work meet- ings, email, social networks groups, etc.).

Below we present a summary of the aspects to be considered in the communication issue in an EITA implantation project in the SME.

- Communication plan
    - Vision
    - Reasons
    - Final Goal
    - Project stages
- Policies and channels
    - Define policies (internal and external)
    - Define channels (newsletters, memo, phone, e-mail, conference, internal social media, etc.)
    - Define cases to use briefings, presentations, and meetings.
- Socialization
    - Communicate the purpose
    - Make the presentation and launch the project
    - Internal promotion
    - Presentation of the implantation team
    - Integration workshops (consultants, enterprise staff)
    - Benefits

Project Management

The process of implanting an EITA must be done in at least two phases (two pro- jects): The first one is during the pre-implantation phase, in which the objective is to select the EITA and its provider. This sub-project must be managed exclusively by the SME or with the help of an independent expert.

The second sub-project encompasses the phases of implantation and post- implantation, in which the objective is to implant or put into operation the EITA in the SME and provide technical support. The EITA provider manages this sub-project involving the SME staff. The project's success depends on several aspects: adequate planning, monitoring, and control from the two parties (EITA provider and SME); use of an implantation methodology; communication between SME staff and the EITA provider's implantation team.

Furthermore, we identify that these projects can vary from minor to larger, depend- ing on the size of the enterprise and the application to be implanted.

Besides, a significant part of the professionals who implant an EITA carry out the planning of the implantation project following the regulations of the Project Manage- ment Institute (cf. Fig 2) from a technical and business perspective. That is, the con- sultants concentrate their efforts on the technical and business side, leaving aside people who, in our opinion, are who facilitate or hinder the EITA implantation pro- cess.

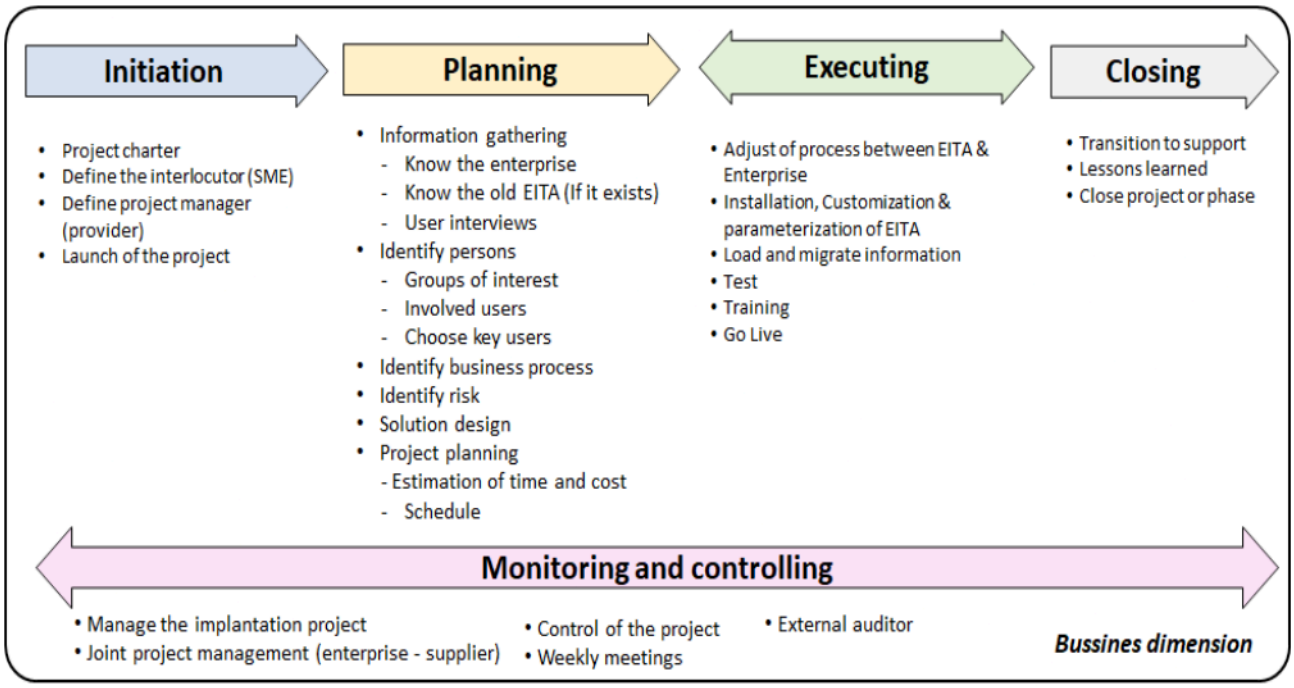


Fig. 2. Project management process in the implantation of EITA, based on PMI [21]

Change management

Change management in an SME EITA implantation project involves dealing with users to minimize risks and maximize benefits. In this type of project, there will al- ways be resistance to change due to human nature (fear of the unknown and uncer- tainty).

There are several models to guide change management. The following are the most cited in the literature: Kotter's eight steps of change [22]; Lewin´s change manage- ment model [23]; McKinsey 7S Model [24]; A Model of Organizational Performance and Change [25]; "AMIGO" Model [26]; and ADKAR Model [27].

In addition to models that aim to lead change, some models explain the transition or response of people in a situation of change. The Kübler – Ross model [28] is such an example. From this model, others have been derived: Bridges' transition model [29]; Scott and Jaffe's Change Model [30].

Fig. 3 shows the general process that addresses the change management in EITAs implantation projects; it was obtained through the interviews in this study. Managing change means considering the human side in the direction of projects related to the implantation of EITAs.

Fig. 3 depicts a process of dealing with change management, highlighting five key areas: leadership, communication, preparing the enterprise, involving people, and pre- paring the person. We briefly describe each topic below.

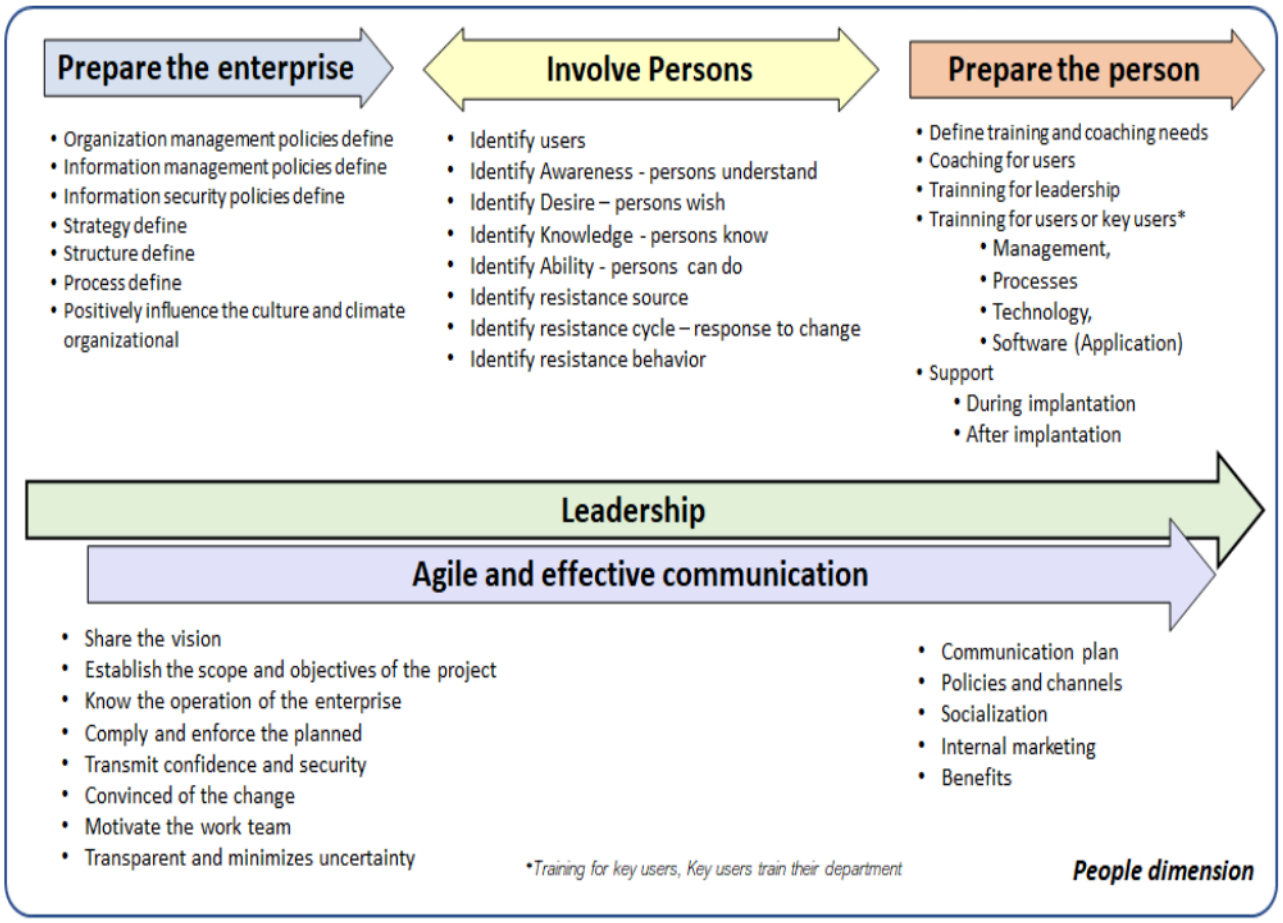


Fig. 3. Change management process for the EITA implantation in SME

Prepare the enterprise. For the successful implantation of an EITA in an enterprise, it is first necessary to recognize what is needed, define the processes that will be au- tomated, and define management policies at various levels (organization, information, security, among others). The critical problem is the lack of formalized processes and policies. Preparing the enterprise for change involves high-level decisions such as defining the organization's strategy (the reason for change) and determining the com- pany's structure, processes, and policies based on this strategy. It is also necessary to influence the culture and organizational climate positively. Aspects to consider in the preparation of the enterprise are the following:

- Define policies for enterprise management
- Define policies for information management
- Define policies for Information security
- Define the strategy,
- Define the structure
- Define the process
- Positively influence the culture and climate of organizational

Involve people. A sensitive issue in the implantation of EITA is people. People have differences (generational, cultural, social, etc.), and, as such, the treatment must also be different. It should also be borne in mind that in this type of project, there will initially be resistance to change since it is characteristic of human nature and is due to circumstances such as fear (experimenting with new ways of working, unknown, losing power) and insecurity (due to lack of knowledge, doubt of stability), among others. In the process of change, it is essential to involve people. For this, we have classified some aspects to consider:

- Users
    - Identify users
    - Identify groups of interest
    - Identify change agents
    - Predict response to change
- Identify the source of resistance:
    - At the individual level
    - At the organizational level
    - To the process
    - To software
- Identify resistance behavior:
    - Users who accept the change
    - Indifferent users
    - Users with passive resistance
    - Users with active resistance
- Identify response to user change:
    - The user is in a denial state
    - The user is in a resistance state
    - The user is in an exploration state
    - The user is in a commitment sate
- Identify if users are aware (people understand) of:
    - The need to change
    - How the company will change
    - The impacts of the change
- Identify users' wishes (people wish):
    - For opportunities
    - For stability

    - For growth
- Identify if the user knows (people know):
    - The work management
    - Their business processes
    - About information technology
- Identify user ability (people can do) in:
    - Managing their work
    - The use of business processes
    - The use of information technology

Prepare the person. One of the most challenging activities for managing change is preparing the person. Developing a person involves working from two perspectives: emotional and rational. The emotional side touches on awareness and desire. The sensible side has to do with training and the development of skills. The project's steering committee should use different strategies, such as coaching, training, interac- tions with colleagues, reference materials, online resources, super-user support, job aids, etc. Here are some guidelines to prepare people:

- Define training and coaching needs
- Coaching for users
- Training for leadership
- Training for users or critical users*
    - Management,
    - Processes
    - Technology,
    - Software (Application)
- Support
    - During implantation
    - After implantation

    * Training for critical users, Key users train their department

Finally, suppose we combine the four cross-cutting areas (leadership, communica- tion, project management, and change management) with the two focus areas (Process- es and people). In that case, we obtain the SIMPLE Framework for managing the Im- plantation of an EITA in SMEs. See Fig. 4.

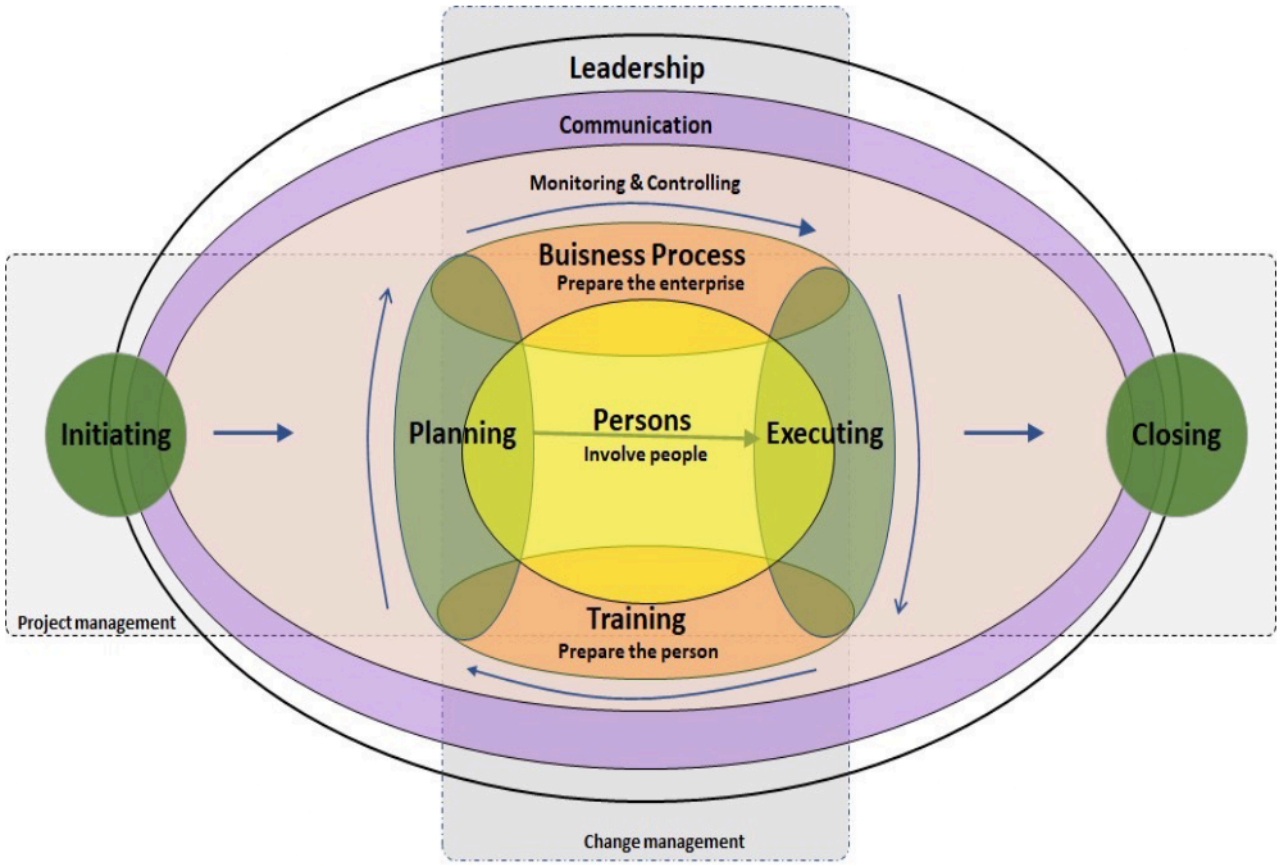


Fig. 4. Framework SImplE for management of the EITA implantation in SME

Discussion

Although created as a descriptive model, the SImplE framework for the successful management of EITA implantation in SMEs is a solid basis to a prescriptive model to be used in EITA implantation projects in SMEs.

The implantation team must carefully consider these cross-cutting areas (leader- ship, communication, project management, and change management) during the en- tire EITA implantation process. These areas are often neglected in the EITA implanta- tion processes.

The focus areas (people and processes) deserve special attention. Most of the activ- ities carried out during the process of EITA implantation will affect these two areas.

We can conclude that these four cross-cutting areas and two focus areas must be treated together and not isolated for the successful implantation of the EITA in the SME.

One limitation is related to the data collection, to access professionals who have experience in implanting EITA in SMEs. The research was conducted with profes- sionals from Ecuador, Portugal, Spain, Argentina, Mexico, and Cuba; Iberic- American countries, where people's cultures can be more relaxed compared to other cultures. This may somehow influence the model obtained.

In the future, instruments could be proposed to characterize users, such as identify- ing the: users, source of resistance, resistance behavior, response to change, etc.

References

[1] T. H. Nguyen, M. Newby, and M. J. Macaulay, "Information Technology Adoption in Small Business: Confirmation of a Proposed Framework," J. Small Bus. Manag., vol. 53, no. 1, p. 207, Jan. 2015, Accessed: May 12, 2016.

[2] F. Mahmood, A. Z. Khan, and R. H. Bokhari, "ERP issues and challenges: a research synthesis," Kybernetes, vol. 49, no. 3, pp. 629–659, Jan. 2019, doi: 10.1108/K-12-2018-0699.

[3] R. Reicher, N. Komáromi, and Á. Szeghegyi, "The possible success factors of introduction of CRM system at hungarian SMEs," Acta Polytech. Hung., vol. 12, no. 8, pp. 215–229, 2015.

[4] L. Shaul and D. Tauber, "CSFs along ERP life□cycle in SMEs: a field study," Ind. Manag. Data Syst., vol. 112, no. 3, pp. 360–384, Mar. 2012, doi: 10.1108/02635571211210031.

[5] E. Hustad and D. H. Olsen, "Critical Issues Across the ERP Life Cycle in Small-and-Medium- Sized Enterprises: Experiences from a Multiple Case Study," Procedia Technol., vol. 9, pp. 179–188, 2013, doi: 10.1016/j.protcy.2013.12.020.

[6] R. Seethamraju, "Adoption of Software as a Service (SaaS) Enterprise Re- source Planning (ERP) Systems in Small and Medium Sized Enterprises (SMEs)," Inf. Syst. Front., vol. 17, no. 3, pp. 475–492, May 2014, doi: 10.1007/s10796-014-9506-5.

[7] M. I. Nofal and Z. M. Yusof, "Taxonomy framework of erp success usage in smes in middle east region," J. Theor. Appl. Inf. Technol., vol. 86, no. 3, pp. 420–431, 2016.

[8] F. Deltour, "ERP Project in SMEs: A matter of risks, a matter of competencies. A Quantitative analysis," ECIS 2012 Proc., May 2012, [Online].

[9] M. Ghobakhloo, T. S. Hong, M. S. Sabouri, and N. Zulkifli, "Strategies for Successful Information Technology Adoption in Small and Medium-sized En- terprises," Information, vol. 3, no. 1, pp. 36–67, Feb. 2012, doi: 10.3390/info3010036.

[10] M. J. González, E. Martín, G. Buiza, M. Hidalgo, and J. Beltrán, "Implementa- tion of an operations management system in eight Spanish SMEs," in 2015 In- ternational Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM), Oct. 2015, pp. 1296–1302. doi: 10.1109/IESM.2015.7380319.

[11] S. Sahran, F. A. Goni, and M. Mukhtar, "ERP implementation challenges in small and medium enterprise: A framework and case study," Adv. Mater. Res., vol. 139–141, pp. 1636–1639, 2010, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.139-141.1636.

[12] R. Seethamraju, "Enterprise system's characteristics in small and medium-sized enterprises context - A case study," presented at the Proceedings of the Europe- an and Mediterranean Conference on Information Systems, EMCIS 2008, 2008.

[13] I. Reascos and J. A. Carvalho, "Successful Implantation of Enterprise IT Appli- cations in SMEs: A TOE-Based Framework of Influencing Factors," in Digital Technologies and Transformation in Business, Industry and Organizations, Springer International Publishing, 2022, pp. 197–219. doi: 10.1007/978-3-031- 07626-8_10.

[14] Y.-R. Zeng, L. Wang, and X.-H. Xu, "An integrated model to select an ERP system for Chinese SME under uncertainty," Technol. Econ. Dev. Econ., vol. 23, no. 1, pp. 38–58, 2017, doi: 10.3846/20294913.2015.1072748.

[15] A. Douglas, D. Wainwright, and D. Greenwood, "The Dynamics of IT Supplier Relationships with Construction SMEs: a Technological Approach," UK Acad. Inf. Syst. Conf. Proc. 2010, Mar. 2010, [Online]. Available: http://aisel.aisnet.org/ukais2010/20

[16] A. Serrano, H. Chen, and A. Serrano, "Investigating Factors Affecting Integra- tion Technologies Adoption in Organizations," AMCIS 2010 Proc., Aug. 2010, [Online]. Available: http://aisel.aisnet.org/amcis2010/180

[17] I. Reascos Paredes and J. Carvalho, "SImplE: A Framework for the Successful Implantation of Enterprise IT Applications in Small and Medium Enterprises,"Int. Conf. Inf. Syst. Dev. ISD, Dec. 2019, [Online]. Available: https://aisel.aisnet.org/isd2014/proceedings2019/ISDMethodologies/15

[18] R. Yin, Case Study Research. Design and Methods, 5th ed. SAGE Publications, 2014.

[19] U. Kuckartz, Qualitative Text Analysis. a Guide to Methods, Practice and Us- ing Software, First edition. 2014. Accessed: Oct. 11, 2018. [Online]. Available: https://us.sagepub.com/en-us/sam/qualitative-text-analysis/book240393

[20] Adair International, "Action Centred Leadership - Your guide." Adair International, 2017. [Online]. Available: http://www.adair- international.com/actionleadershipguide.html

[21] PMI, "PMBOK - Guide and Standards," 2020. https://www.pmi.org/pmbok- guide-standards (accessed Apr. 14, 2020).

[22] J. Kotter, "Leading Change Why Transformation Efforts Fail," Harv. Bus. Rev., 1995.

[23] K. Lewin, "Group Decision and Social Change," Readings in Social Psycholo- gy, 1947.

[24] Mind Tools, "The McKinsey 7-S Framework: - Making Every Part of Your Organization Work in Harmony," 2016. http://www.mindtools.com/pages/article/newSTR_91.htm (accessed Jan. 29, 2020).

[25] W. W. Burke and G. H. Litwin, "A Causal Model of Organizational Performance and Change," J. Manag., vol. 18, no. 3, pp. 523–545, Sep. 1992, doi: 10.1177/014920639201800306.

[26] J. Peiró, "El modelo 'amigo': marco contextualizador del desarrollo y la gestión de recursos humanos en las organizaciones," ResearchGate, 1999. https://www.researchgate.net/publication/28070127_El_modelo_amigo_marco_contextualizador_del_desarrollo_y_la_gestion_de_recursos_humanos_en_las_ organizaciones (accessed Jan. 27, 2019).

[27] I. Prosci, "The PROSCI ADKAR MODEL. A goal-oriented change manage- ment model to guide individual and organizational change." Prosci, 2018. Ac- cessed: Feb. 20, 2019. [Online]. Available: https://www.prosci.com/adkar/adkar-model

[28] E. Kübler-Ross, On Death and Dying. Routledge, 1973. doi: 10.4324/9780203010495.

[29] W. Bridge, "What is William Bridges' Transition Model?," William Bridges Associates, 2018. https://wmbridges.com/what-is-transition/ (accessed Feb. 12, 2019).

[30] C. D. Scott and D. T. Jaffe, "Survive and thrive in times of change," Training& DevelopmentJournal, Apr. 01, 1988. http://link.galegroup.com/apps/doc/A6682063/AONE?sid=googlescholar (ac- cessed Feb. 12, 2019).

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Enginnering in Applied Sciences
IDEAS
VOL. 4 Nº2 - 2022

Segmentación de imágenes agrícolas adquiridas con drone mediante algoritmos paralelos

http://doi.org/10.53358/ideas.v4i2.861

Patricia Ponce[1], MacArthur Ortega-Bustamante[1], Marco Pusdá-Chulde[1]
[1]Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
[1]{epponceg, mc.ortega, mrpusda}@utn.edu.ec

Fecha de envío, marzo 21, 2023 - Fecha de aceptación, abril 12, 2023 - Fecha de publicación, Abril 21, 2023

RESUMEN

Las imágenes obtenidas con drones desde perspectiva vertical presentan información importante de los cultivos agrícolas, lo que permite sistematizar diversas actividades relacionadas con la agricultura de precisión (AP). Los algoritmos secuenciales desarrollados en lenguajes de programación tradicionales consumen tiempos y recursos de hardware, altos en el procesamiento de imágenes digitales de grandes tamaños. Para reducir los tiempos de cómputo, se desarrolló un algoritmo paralelo, que permite segmentar imágenes utilizando la librería OpenMP. OpenMP es una librería compatible con lenguajes de programación de bajo nivel, que permiten la implementación de algoritmos paralelos en lenguajes C o C++ en entornos Linux para arquitecturas multicore. Para implementar el algoritmo secuencial mediante paralelismo, fue necesario dividir en varias tareas más pequeñas y ejecutarlas en varios núcleos disponibles en procesadores multicore, a fin de mejorar la velocidad de procesamiento. Las métricas utilizadas (tiempo de ejecución, aceleración, eficiencia y costo computacional) permitieron evaluar el rendimiento de los algoritmos con imágenes de diferentes dimensiones, obteniendo resultados favorables que verifica la mejora del algoritmo paralelo. La paralelización de algoritmos secuenciales muestra una importante reducción de los tiempos de ejecución (66.37%) con imágenes grandes y (74.73%) con imágenes pequeñas utilizando el número máximo de núcleos (8).

Palabras Clave: OpenMP, segmentación de imágenes, drone, agricultura de precisión, paralelismo.

Abstract: The images obtained with drones from vertical perspective present important information of agricultural crops, allowing the systematization of several activities related to precision agriculture (PA). Sequential algorithms developed in traditional programming languages consume elevated time and hardware resources in the processing of large digital images. To reduce computation time, a parallel algorithm was developed, which allows image segmentation using the OpenMP library. OpenMP is a library compatible with low-level programming languages, which allows the implementation of parallel algorithms in C or C++ languages in Linux environments for multicore architectures. To implement the sequential algorithm using parallelism, it was necessary to split into several smaller tasks and execute them on several cores available on multicore processors, in order to improve the processing speed. The metrics used (execution time, acceleration, efficiency and computational cost), allowed evaluating the performance of the algorithms with images of different dimensions, obtaining favorable results that verify the improvement of the parallel algorithm. The parallelization of sequential algorithms shows a significant reduction of execution times (66.37%) with large images and (74.73%) with small images using the maximum number of cores (8).

Keywords: OpenMP, image segmentation, drone, precision agriculture, parallelism.

Autor de correspondencia:
Marco Pusdá, mrpusda@utn.edu.ec

Patricia Ponce, MacArthur Ortega-Bustamante, Marco Pusdá-Chulde
{epponceg, mc.ortega, mrpusda}@utn.edu.ec

Introducción

La segmentación de imágenes digitales son herramientas de procesamiento que permiten dividir en diferentes secciones las imágenes originales. Los resultados de la segmentación de imágenes se pueden utilizar en la sistematización de tareas agrícolas. El procesamiento de imágenes agrícolas obtenidas mediante recursos tecnológicos no tripulados (drones) proporcionan información importante que puede utilizarse para varios propósitos en la toma de decisiones más adecuadas y eficientes por parte de los agricultores [1], [2]. Debido a que las imágenes obtenidas mediante drones son de alta calidad y dimensiones grandes, requiere de gran capacidad de procesamiento, esto conduce a la necesidad de ampliar tiempos de ejecución y alto consumo de recursos computacionales. La computación de alto rendimiento (HPC- High Performance Computing) puede acelerar drásticamente el procesamiento de imágenes disminuyendo considerablemente los tiempos de ejecución [3].

Las computadoras personales actuales utilizan procesadores con múltiples núcleos en un solo procesador, como principio fundamental de computación de alto rendimiento, este tipo de arquitecturas facilitan la sistematización de tareas que requieren alto esfuerzo computacional [4]. La utilización de HPC permite diseñar algoritmos de visión por computador, usando paralelismo sobre plataformas multiprocesador (multicore), lo que permite mejorar el rendimiento en el procesamiento de imágenes digitales en diferentes tareas agrícolas [5]–[7]. Las imágenes incluyen una gran cantidad de información y, por lo tanto, la mayoría de las técnicas de procesamiento y análisis de imágenes no son rápidas; la aceleración de estas técnicas es de gran importancia y vital para diferentes aplicaciones informáticas.

OpenMP es una solución eficiente para programación paralela en sistemas de memoria compartida basado en librerías y directivas de lenguajes de bajo nivel (C, C++, Fortran), proporcionando flexibilidad para transformar algoritmos seriales en algoritmos paralelos en infraestructuras multicore [8], [9]. El paralelismo de OpenMP se realiza mediante hilos que permiten gestionar de manera independiente el trabajo total del algoritmo en cada núcleo

del CPU ejecutando un subproceso diferente. Los modelos de programación utilizados por lenguajes de memoria compartida como OpenMP proporcionan mecanismos eficientes para aprovechar las capacidades de los núcleos, esto permite potenciar el rendimiento de las aplicaciones para la solución de problemas computacionales [8], [10], [11].

La AP se considera como un sistema agrícola alternativo sostenible que utiliza diferentes métodos o herramientas tecnológicas para mejorar y optimizar el rendimiento de los cultivos, disminuir costos de producción y reducir los impactos ambientales. La alimentación mundial requiere que, la producción agrícola minimice los impactos ecológicos negativos de sus actividades y sea competitiva en mercados globalizados cada vez más exigentes en precios y calidades [12]–[14]. Aprovechando los avances tecnológicos, drones, arquitecturas heterogéneas (Multicore, GPU, FGPA) y técnicas de inteligencia artificial (visión computarizada, machine learning, deep learning), ha permitido sistematizar una variedad de actividades agrícolas, tales como detección de enfermedades, recuento de plantas e identificación de malezas, plagas de insectos aplicados en diferentes cultivos [10], [15]–[19].

En los últimos tiempos la AP se acoge como una moderna herramienta agrícola, la cual inicia con la mecanización y sistematización de la producción, enfocándose en la nutrición del suelo, la fertilización del cultivo, la productividad, las ventajas económicas y la minimización del impacto ambiental, producto de las labores de campo, como también, la gestión y manejo de semillas, la distribución de plantación, control de siembra y administración de los recursos utilizados en los cultivos [20]–[23]. Los sistemas de información geográfica permiten participar en distintas etapas del proceso productivo de la agricultura de precisión por medio de imágenes satelitales, mapas de prescripción de siembra variables, procesamiento de monitores de rendimiento, entre otras actividades. El uso de las imágenes satelitales juntamente con los sistemas de información geográfica (SIG), los sistemas de posicionamiento global (GPS), la teledetección y la programación, ofrecen servicios de consultoría, desarrollo de sistemas, tecnología geoespacial aplicada, sistemas de análisis de datos, visitas y soluciones a campo, capacitación y soporte [24]–[26].

La segmentación de imágenes digitales agrícolas ha sido investigada y aplicada en varios trabajos de investigación, mediante métodos tradicionales y también métodos innovadores con técnicas de inteligencia artificial [27]. En el trabajo [28] se realizó un método utilizando el algoritmo K-Means para segmentar imágenes, permitiendo la aceleración mediante paralelización efectiva en procesadores Xeon Phi y GPU. En [29] se realizó un modelo para clasificar sistemas de riego mediante segmentación de imágenes y aprendizaje profundo aplicable a diferentes tipos de cultivos agrícolas. En [29] se utilizó la segmentación de imágenes satelitales para delimitar campos de cultivo mediante mapeos de áreas extensas de cultivos, logrando determinar los recursos agrícolas necesarios (agua, nutrientes y otras características) para mejorar la producción agrícola.

En el presente artículo, se desarrolla un algoritmo secuencial y otro paralelo para procesar imágenes digitales agrícolas de tres dimensiones en pixeles (1920 x 1080, 1280 x 720, 640x 360). Los algoritmos se implementaron en OpenMP y se evaluaron en varios núcleos disponibles en procesadores multicore. Las métricas de rendimiento utilizadas muestran un mejor rendimiento en tiempos de ejecución y aceleración a medida que se utiliza mayor cantidad núcleos en el algoritmo paralelo con respecto al secuencial.

Materiales y métodos

La segmentación de imágenes es el proceso de fraccionar una imagen digital en sus objetos constituyentes para identificar los principales elementos que componen la escena, es el primer paso hacia una detección efectiva de los objetos presentes en la imagen. Cuanto más precisa sea la fase de segmentación, más probable es que el proceso de reconocimiento de imágenes tenga éxito. Se consideró la segmentación simple basada en el color, dividiendo los elementos de interés y discriminantes en regiones blancas y negras respectivamente, para convertir los datos en un entorno lógico de ceros y unos, y, permitir al sistema reconocer y extraer los elementos de interés.

Entorno de desarrollo

Eclipse IDE for Scientific Computing es un entorno de desarrollo que incluye herramientas para C, C ++, Fortran, MPI, OpenMP, OpenACC, un depurador paralelo y aplicaciones de creación, ejecución y supervisión de forma remota, incluye las siguientes herramientas [30]:

- Herramientas de desarrollo C / C ++
- Integración de Git para Eclipse
- Lista de tareas de Mylyn
- Plataforma de herramientas paralelas
- Editores y herramienta XML de Eclipse

El compilador utilizado para compilar los algoritmos es GCC (GNU Compiler Collection), incluye interfaces para C, C ++, Objective-C, Fortran, Ada, Go y otros lenguajes de programación basados en C. Para ejecutar los algoritmos desde la línea de comando en entornos Linux se utilizó archivos Makefile, cuyo contenido está compuesto de órdenes que debe ejecutar la utilidad make para compilar el archivo principal con las dependencias (librerías, archivos de cabecera .h) entre los distintos módulos del proyecto.

Dataset de imágenes

Las imágenes utilizadas en el procesamiento y análisis, tanto con el algoritmo secuencial como con el algoritmo paralelo, son de 24-bits por píxel, y por tanto, con 8 bits por cada canal espectral R, G y B, en formato JPG. Las fotografías se realizaron en un terreno de maíz en la cuarta semana después del sembrío utilizando un dron DJI Mavic 2 Pro (DJI, 2021), capturadas de forma cenital (90 grados) a 10 metros de altura. Las fotografías utilizadas para evaluación de los algoritmos fueron con dimensiones de 1920 x 1080 (imágenes grandes), 1280 x 720 (imágenes medianas) y 640 x 427 (imágenes pequeñas). El dataset de imágenes consta de 30 imágenes propias y se encuentran disponible en https://n9.cl/64ydj.

Equipo de procesamiento

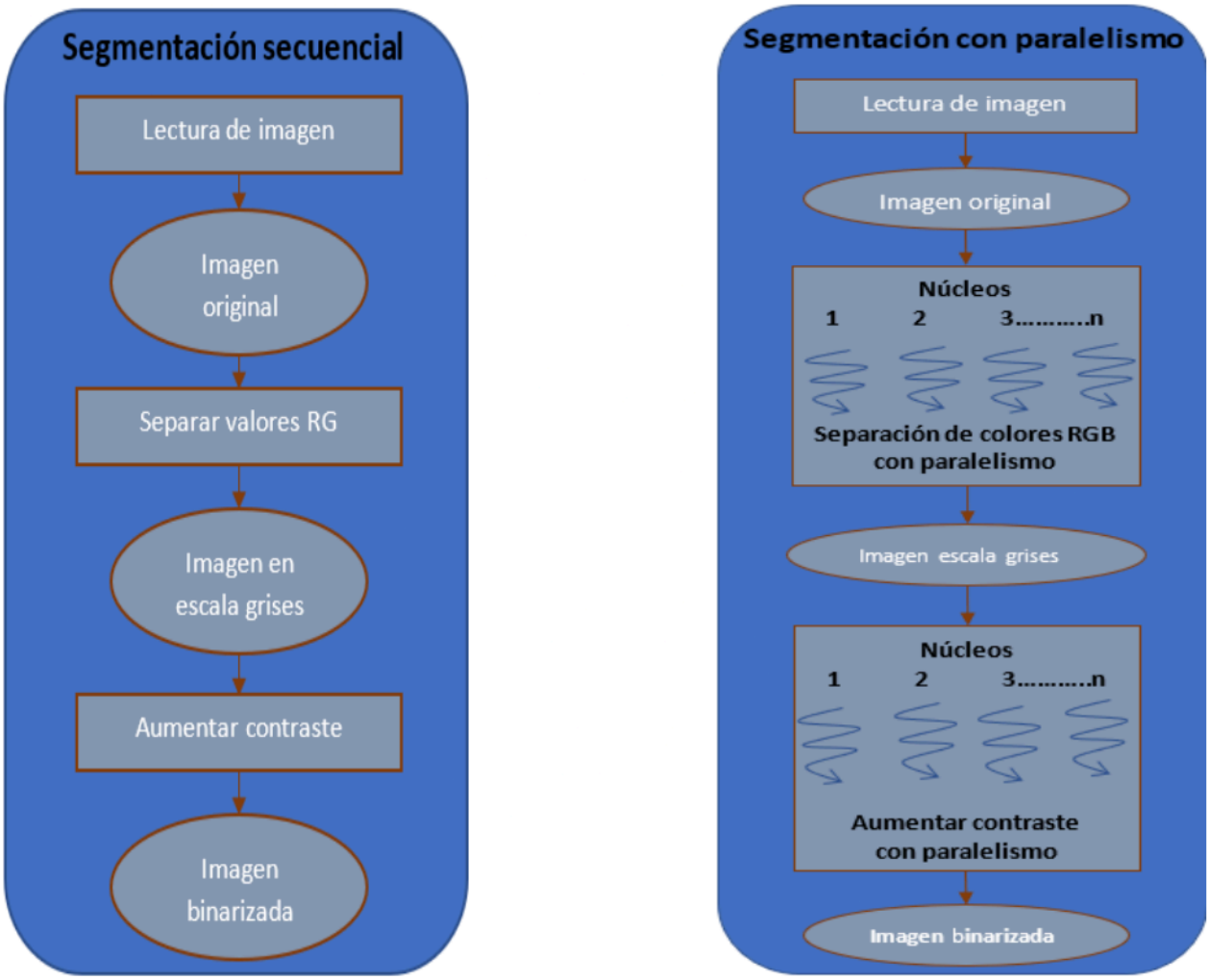
Las pruebas del algoritmo serial y paralelo, se realizaron en una Laptop HP EliteBook 14 Noteboox con Linux Ubuntu 18.04 de 64 bits, procesador Intel Core I7, 16 MB de memoria RAM. Las características técnicas del computador y del CPU utilizado para el procesamiento serial y paralelo se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1: Especificaciones técnicas de Laptop con Ubuntu Linux y Procesador multicore-CPU

Detalle	Información
Sistema operativo	Ubuntu 18.04 bionic
Núcleo de Linux	5.4.0-87-generic
Memoria RAM	8 Gb
Arquitectura	X86_64B
Procesador	Intel® Core™ i7-10510U CPU @ 1.80 Ghz
Núcleos	4
Procesadores lógicos	8
Fabricante	Hewlett-Packard

Algoritmo de segmentación

El algoritmo propuesto se implementó con funciones personalizadas para diferenciar la vegetación presente en las imágenes digitales. La Figura 1 presenta el proceso de segmentación del algoritmo secuencial. Para la implementación del algoritmo paralelo se consideró las mismas fases del secuencial y se aplicó paralelismo en las secciones de repetición mediante sentencias de OpenMP.



(a) Algoritmo secuencial (b) Algoritmo con paralelismo

Figura 1: Fases algoritmo secuencial (a) y paralelo (b) para segmentar imágenes digitales

En la lectura de la imagen no es necesario aplicar paralelismo debido a que lee y verifica la ruta. En el Algoritmo 1 se detalla los pasos básicos para cargar la imagen digital desde una ruta específica. La función leer imagen recibe como parámetro un puntero con la ruta de la imagen a ser procesada. Si la imagen existe, se retorna la imagen original y se almacena en un puntero tipo matriz.

Algoritmo 1. Método para leer la imagen offline desde una ruta existente y verificar existencia en la ruta especificada.

```
leer_imagen (* nombreimagen)
Inicio
  Declarar variables para características de la imagen
  Leer imagen y guardar en variable tipo FILE
  Si existe imagen
     Guarda los datos de la imagen
     Asignar espacio de memoria para la imagen
  sino
     Mostrar mensaje "No existe imagen"
  Fin si
  Retornar imagen
Fin
```

En las fases de separación y aumentar contraste se utilizó paralelismo para recorrer los pixeles almacenados en memoria y posteriormente convertir a escala de grises (Algoritmo 2) y aumentar el contraste de los pixeles similares o repetidos (Algoritmo 3). Al final de cada fase se obtiene una nueva imagen con características diferentes dependiendo de las operaciones matemáticas aplicadas.

Algoritmo 2. Método para leer la imagen original y modificar los pixeles RGB a escala de grises mediante una operación matemática.

```
separar_valores(char * imagenoriginal)
Inicio
  Declarar variables para asignar ancho, alto y número de pixeles de
  la imagen
  //sección paralela
  #ifdef PARALLEL
  #pragma omp Parallel for private (r,g,b) num_cores(PARALLEL)
  #endif
  Mientras pixeles<ancho*alto de la imagen
  Inicio
     Leer datos de la imagen desde memoria
     Asignar a cada pixel el respectivo valor RGB
     Convertir los pixeles RGB a gris (200*r + 150*g + 100*b)/1000
     Crear la imagen escala de gris
  Fin mientras
  Retornar imagen gris
fin
```

Algoritmo 3. Método para leer la imagen en escala de grises, agrupar los pixeles similares y modificar el contraste de cada píxel mediante una operación matemática.

```
binarizar_imagen (* imagengris)
Inicio
  Declarar variables para asignar ancho, alto de la imagen
  gris
  Reservar memoria para imagen gris
  //sección paralela
  #ifdef PARALLEL
  #pragma omp Parallel for private(pixel) num_cores(PARALLEL)
  #endif
  Mientras pixeles<ancho*alto imagen gris hacer
  Inicio
     Leer datos de la imagen desde memoria
     Recuperar cada pixel de la imagen gris
     Agrupar pixeles similares o repetidos
  Fin mientras
  //aumentar contraste a la imagen con paralelismo
  #ifdef PARALLEL
  #pragma omp Parallel for private(pixel) num_cores(PARALLEL)
  #endif
  Mientras pixeles<ancho*alto imagen gris hacer
  Inicio
     Leer pixels imagen gris
     Aumentar contraste a cada píxel (250*valorpixel) /
     (ancho * alto)
  Fin mientras
Retornar imagen binaria
Fin
```

Evaluación de algoritmos paralelos

Existen varios criterios que se pueden utilizar con el fin de evaluar la calidad de los algoritmos paralelos. Los criterios usados en el presente trabajo son los recomendados por [31].

El tiempo de ejecución es un buen indicador de la funcionalidad de un algoritmo paralelo. La medición del tiempo de ejecución está representada por el conteo de las unidades de segundos comprendidas entre el momento de inicio y termino de ejecución del algoritmo para la segmentación de imágenes agrícolas.

En computación paralela la rapidez se refiere a que tan rápido es un algoritmo en comparación con otro que resuelve el mismo problema a través de la medición de tiempos. Para determinar la rapidez se utilizó la rapidez absoluta (Sp); la misma que es la razón de los tiempos entre el algoritmo serial (Ts) y el tiempo del algoritmo paralelizado (Tp). La

medición de rapidez está determinada por la ecuación 1.

$$Sp = \frac{Ts}{Tp} \quad (1)$$

Donde Ts es el tiempo de ejecución del algoritmo secuencial y Tp es el tiempo de ejecución del algoritmo paralelo con p procesadores.

En computación se considera eficiencia (Ep) a la proporción del tiempo que se pasa desarrollando trabajo útil. La medición de la eficiencia está determinada por la ecuación 2.

$$Ep = \frac{Sp}{p} \quad (2)$$

Donde Sp es la rapidez previamente calculada del algoritmo y p es el número de procesadores utilizados en la ejecución del algoritmo.

El costo (Cp) de un algoritmo paralelo es el límite sobre un total de operaciones ejecutadas colectivamente por los procesadores. La medición del costo está determinado por la ecuación 3.

$$Cp = \frac{Ts}{Ep} \quad (3)$$

Donde Ts es el tiempo de ejecución del algoritmo serial y Ep es la eficiencia obtenida dependiendo de la cantidad de núcleos.

Resultados y Discusión

La evaluación de los algoritmos implementados se realizó las imágenes del dataset de la sección 2.2. Las imágenes fueron seleccionadas al azar 10 por cada medida (grande, mediana y pequeña) dependiendo del tamaño en pixeles.

Compilación Algoritmos

Para la ejecución del programa se realizó desde la terminal de Linux mediante el comando make. Este comando ejecuta el contenido del archivo Make file para compilar el código fuente y generar los archivos de salida .out. En la Figura 2 se presenta la compilación de los algoritmos serial y paralelo para procesar las imágenes seleccionadas. La ejecución de los algoritmos se realiza siguiendo las fases indicadas en la Figura 1.



(a)Imagen original *(b) Imagen en escala de grises* *(c) Imagen binaria*

Figura 2: Ejecución de las fases algoritmo secuencial y paralelo para segmentar imágenes digitales

Tiempos de ejecución

El tiempo de ejecución es el tiempo que tarda un algoritmo en completar su tarea. En los algoritmos paralelos, se debe tener en cuenta el tiempo de comunicación entre los procesadores. En la Tabla 2 se presentan los tiempos de ejecución promedio de las imágenes de las tres dimensiones evaluadas.

Tabla 2. Tiempos promedio evaluados para las imágenes de las tres dimensiones seleccionadas.

Tamaño imagen	Tiempos de ejecución (segundos)				
	Secuencial	2 núcleos	4 núcleos	6 núcleos	8 núcleos
1920 x 1280	1.59	0.93	0.61	0.57	0.53
1280 x 853	1.13	0.72	0.47	0.32	0.28
640 x 427	0.73	0.42	0.27	0.22	0.19

En la Figura 3 se muestra el comportamiento del algoritmo secuencial en relación con el algoritmo paralelo considerando el número de núcleos de procesador. Los tiempos de ejecución disminuyen dependiendo de número de núcleos utilizados.

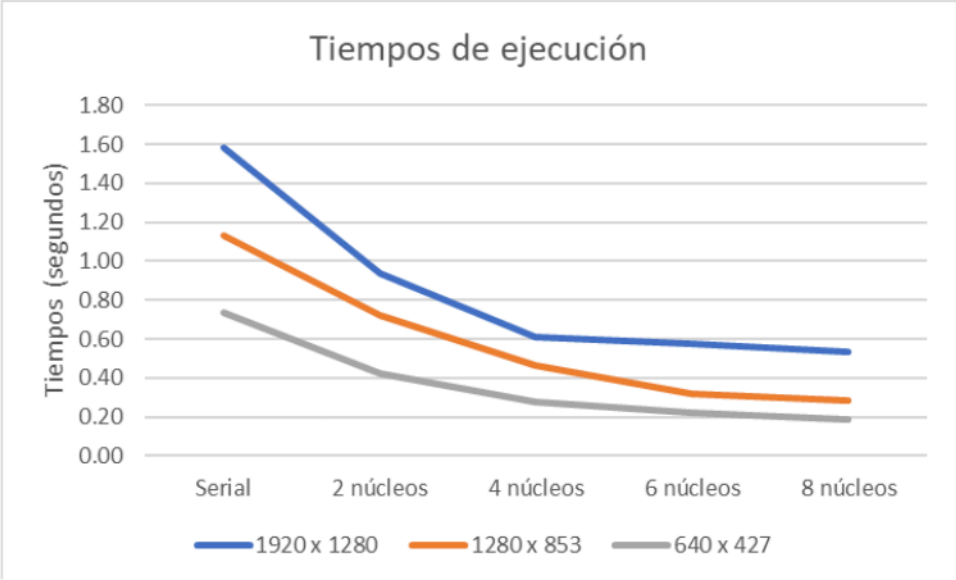


Figura 3. Tiempos de ejecución del algoritmo secuencial y paralelo.

Según los datos presentados en la Tabla 2 y Figura 3, el tiempo de ejecución no es proporcional al incremento de núcleos. La evaluación con 2 núcleos se obtiene una reducción del 41.07%, con imágenes grandes y 42.49% con imágenes pequeñas; pero con mayor cantidad de núcleos el porcentaje es inferior debido a la sobrecarga de los datos en la memoria. Al compartir memoria los algoritmos coordinan y sincronizan los núcleos para garantizar que no se produzcan conflictos, por ende, requiere mayor tiempo en la realización de las tareas asignadas.

Aceleración (Speed-up)

La aceleración se define como la relación entre el tiempo de ejecución de un algoritmo secuencial y el tiempo de ejecución de un algoritmo paralelo. Los valores de la aceleración obtenidos de los algoritmos después de aplicar la ecuación 1 para las imágenes procesadas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Aceleración promedio evaluada para las imágenes de las tres dimensiones seleccionadas.

Tamaño imagen	Aceleración (segundos)				
	Serial	2 núcleos	4 núcleos	6 núcleos	8 núcleos
1920 x 1280	1.0000	1.70	2.59	2.76	2.97
1280 x 853	1.0000	1.57	2.43	3.52	4.02
640 x 427	1.0000	1.74	2.67	3.31	3.96

En la Figura 4 se presenta el comportamiento de la aceleración del algoritmo secuencial en relación con el algoritmo paralelo considerando el número de núcleos de procesador. La aceleración incrementa a medida que se utiliza mayor cantidad de núcleos.

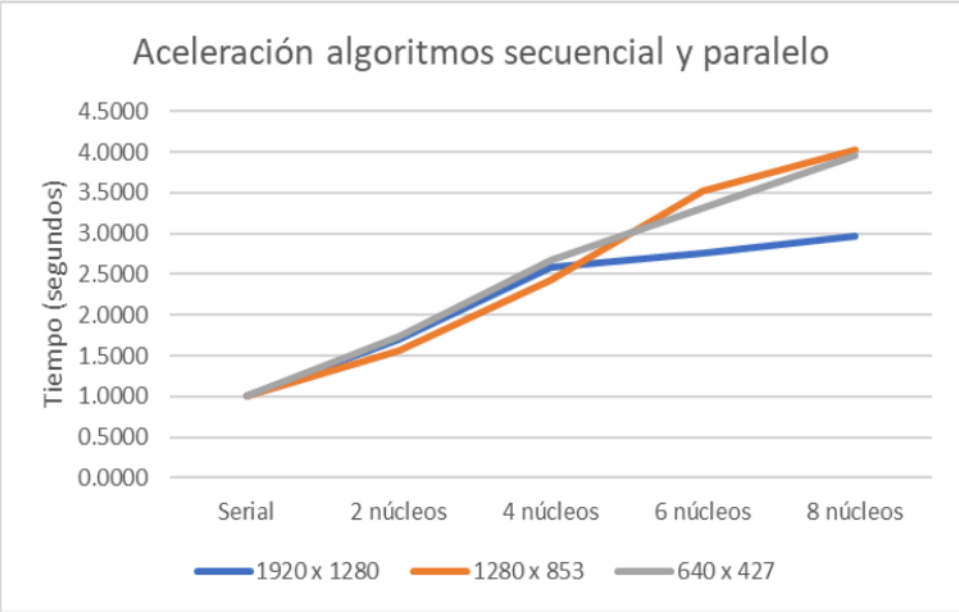


Figura 4. Aceleración del algoritmo paralelo en relación con el algoritmo secuencial

Según los datos presentados en la Tabla 3 y Figura 4, la aceleración máxima obtenida con imágenes medianas es de 4.02 segundos utilizando 8 núcleos del procesador. La aceleración calculada con 8 núcleos se obtiene un incremento de 3 veces más comparada con el algoritmo secuencial. Una aceleración ideal sería igual al número de procesadores utilizado, en este caso el algoritmo implementado no cumple con esta condición.

Eficiencia

La eficiencia se identifica como la porción de tiempo que los elementos de proceso se dedican a trabajo útil, el valor oscila entre 0 y 1. Los valores de eficiencia obtenidos del algoritmo paralelo aplicado la ecuación 2 se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Eficiencia promedio evaluada para las imágenes de las tres dimensiones seleccionadas.

Tamaño imagen	Eficiencia (segundos)				
	Serial	2 núcleos	4 núcleos	6 núcleos	8 núcleos
1920 x 1280	0.0000	0.85	0.65	0.46	0.37
1280 x 853	0.0000	0.78	0.61	0.59	0.50
640 x 427	0.0000	0.87	0.67	0.55	0.49

En la Figura 5 se presenta el comportamiento de la eficiencia del algoritmo paralelo en relación con el algoritmo secuencial considerando el número de núcleos de procesador.

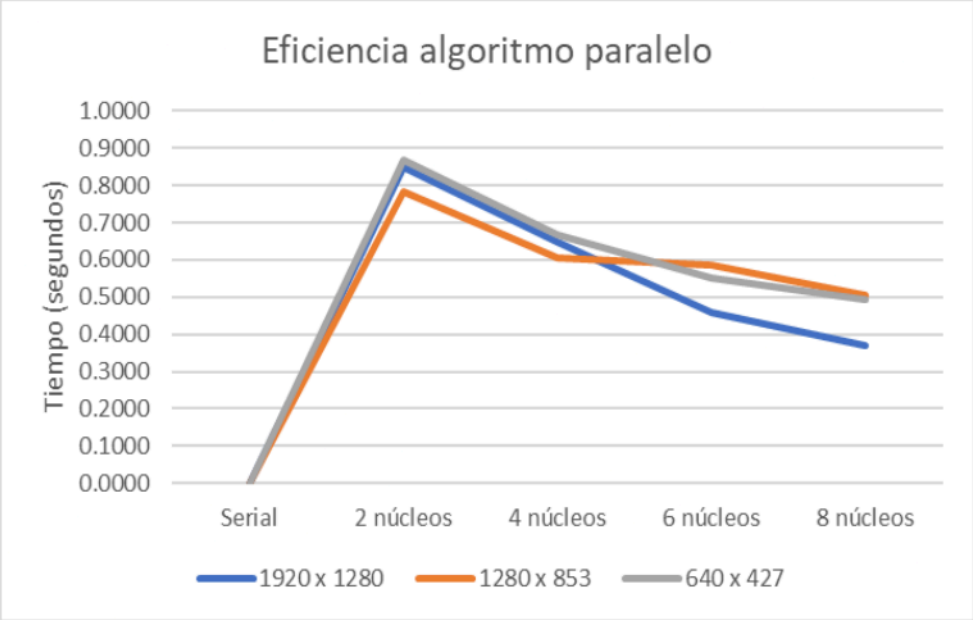


Figura 5. Aceleración del algoritmo paralelo con relación al algoritmo secuencial

Según los datos presentados en la Tabla 4 y Figura 5 se obtiene mejor eficiencia cuando se utiliza 2 núcleos en el procesamiento de imágenes de las 3 dimensiones. Con mayor cantidad de núcleos la eficiencia del algoritmo decrece por la sobrecarga de tareas de procesamiento en cada núcleo. Conceptualmente es posible alcanzar un valor de eficiencia ideal (1) al incrementar número de núcleos; sin embargo, en la práctica la eficiencia máxima en promedio supera el 50% con relación al algoritmo secuencial.

Costo computacional

El costo computacional es la métrica que representa el total de operaciones realizadas durante el procesamiento del algoritmo. Los valores de costo computacional obtenidos del algoritmo paralelo aplicado la ecuación 3 se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Costo computacional promedio evaluado para las imágenes de las tres dimensiones seleccionadas.

Tamaño imagen	Costo computacional (operaciones)				
	Serial	2 núcleos	4 núcleos	6 núcleos	8 núcleos
1920 x 1280	1.0000	1.87	2.45	3.44	4.26
1280 x 853	1.0000	1.44	1.86	1.93	2.25
640 x 427	1.0000	0.84	1.10	1.33	1.48

En la Figura 6 se presenta el comportamiento del costo computacional del algoritmo paralelo en relación con el algoritmo secuencial considerando el número de núcleos de procesador.

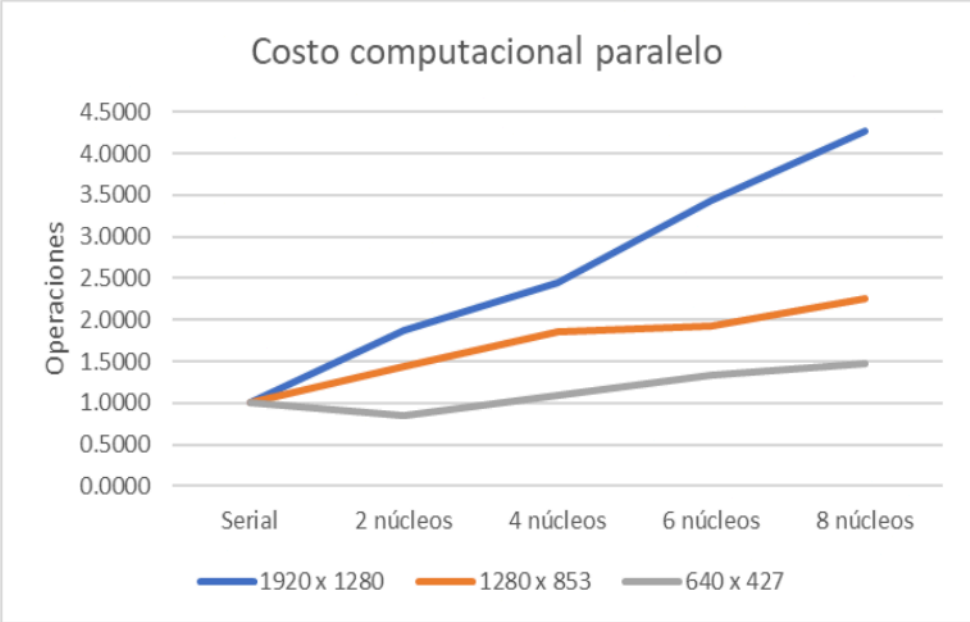


Figura 6. Costo computacional del algoritmo paralelo en relación con el algoritmo secuencial

Según los datos presentados en la Tabla 5 y Figura 6 el mayor costo computacional se obtiene cuando se procesan imágenes grandes, si bien las imágenes grandes tienen mayor cantidad de pixeles, la calidad de estos es inferior con relación a las imágenes pequeñas. En la evaluación se muestra que conforme incrementa el número de núcleos también incrementa el número de operaciones del algoritmo paralelo por la cantidad de pixeles de cada imagen procesada.

Conclusiones y trabajos futuros

Las imágenes obtenidas con drones son insumos importantes en la agricultura de precisión. Los drones son vehículos aéreos no tripulados, equipados con cámaras y sensores que pueden capturar imágenes de alta resolución de campos de cultivo y terrenos agrícolas. Estas imágenes se utilizan para realizar análisis de datos y obtener información valiosa sobre el estado de los cultivos y las condiciones del suelo.

En la agricultura de precisión, la segmentación de imágenes digitales se utiliza para identificar y delimitar las áreas de cultivo, así como para detectar y medir las características de las plantas y los cultivos. La segmentación de imágenes se utiliza en la agricultura de precisión para ayudar a los agricultores a tomar decisiones informadas sobre el uso de recursos y la gestión de los cultivos.

La visión por computador es una técnica de la inteligencia artificial que se utiliza para procesar y analizar imágenes digitales y extraer información útil de ellas. En la agricultura de precisión, la visión por computador se utiliza para analizar imágenes de campos de cultivo y proporcionar información valiosa sobre la salud de las plantas, la calidad del suelo y otros factores que afectan la producción de los cultivos.

OpenMP se define como una API adecuada para el desarrollo de algoritmos paralelos en arquitectura Multicore. El paralelismo utiliza los hilos disponibles y la memoria compartida para distribuir de mejor manera las tareas en cada núcleo del procesador. Las sentencias de programación incluidas en OpenMP permiten ser utilizadas para múltiples códigos sobre diferentes tecnologías disponibles. Los algoritmos que utilizan memoria compartida son útiles en situaciones en las que se necesita procesar grandes conjuntos de datos en paralelo, como en aplicaciones de procesamiento de imágenes digitales. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el rendimiento de los algoritmos paralelo puede depender en gran medida de la arquitectura del sistema y de la forma en que se diseñan y programan.

Las métricas definidas como medidas de rendimiento permitieron evaluar el algoritmo paralelo y medir el rendimiento en términos de velocidad y eficiencia. Los resultados obtenidos verifican la mejora del algoritmo paralelo con relación al algoritmo serial porque disminuyen los tiempos de ejecución en un 72 % aproximadamente (Tabla 2 y Figura 3) cuando se ejecuta el algoritmo con 8 núcleos utilizando imágenes con las tres dimensiones seleccionadas. Con respecto a la aceleración, el algoritmo paralelo implementado se obtuvo un promedio de 3.65 veces más rápido (Tabla 3 y Figura 4) comparado con el algoritmo secuencial, lo que permite justificar la implementación en arquitecturas multicore. La eficiencia calculada del algoritmo paralelo alcanza un valor máximo en promedio (Tabla 4 y Figura 5) de 0.83 utilizando 2 núcleos y mínimo 0.46 utilizando 8 núcleos, lo que evidencia la mejora con relación al algoritmo secuencial.

Como trabajos futuros se prevé realizar aplicativos para discriminar las malezas mediante procesamiento paralelo, utilizando arquitecturas heterogéneas y técnicas de inteligencia artificial en lenguajes de programación compatible.

Referencias

[1] J. M. Pajares-Martinsanz, Gonzalo; De La Cruz-García, Visión por Computador Imágenes Digitales y Aplicaciones, Paracuello. Madrid, 2008.

[2] A. Martínez-Rodríguez., "Sistema de procesamiento de imágenes RGB aéreas para agricultura de precisión," Univ. Cent. "Marta Abreu" Las Villas Trab. DIPLOMA, p. 54, 2016.

[3] J. Fang, C. Huang, T. Tang, and Z. Wang, "Parallel programming models for heterogeneous many-cores: a comprehensive survey," CCF Trans. High Perform. Comput., vol. 2, no. 4, pp. 382–400, 2020, doi: 10.1007/s42514-020-00039-4.

[4] G. Barlas, "Chapter 1 - Introduction," in Multicore and GPU Programming, G. Barlas, Ed. Boston: Morgan Kaufmann, 2015, pp. 1–26.

[5] M. Pusdá-Chulde, A. De Giusti, E. Herrera-Granda, and I. García-Santillán, "Parallel CPU-Based Processing for Automatic Crop Row Detection in Corn Fields," in Artificial Intelligence, Computer and Software Engineering Advances, 2021, pp. 239–251.

[6] A. A. Briceño Coronado, Algoritmos paralelos de visión computacional Para reconstrucción tridimensional. México: Editorial Académica Española, 2012.

[7] L. E. Sucar and Gómez Giovani, Visión Computacional, 1st ed. Instituto Nacional de Astrofíisica, Óptica y Electrónica, 2015.

[8] Z. J. Czech, Introduction to Parallel Computing. Cambridge University Press, 2017.

[9] A. Grama, A. Gupta, G. Karypis, V. Kumar, and A. Wesley, Introduction to Parallel Computing, Second Edition. Pearson Education Limited, 2003.

[10] S. Zhang, W. Li, Z. Jing, Y. Yi, and Y. Zhao, "Comparison of Three Different Parallel Computation Methods for a Two-Dimensional Dam-Break Model," Math. Probl. Eng., vol. 2017, p. 1970628, 2017, doi: 10.1155/2017/1970628.

[11] G. Slabaugh, R. Boyes, and X. Yang, "Multicore image processing with openMP," IEEE Signal Process. Mag., vol. 27, no. 2, pp. 134–138, 2010, doi: 10.1109/MSP.2009.935452.

[12] E. García and F. Flego, "Agricultura de Precisión," 2015. Accessed: Dec. 18, 2018. [Online]. Available: https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf.

[13] Agricultura de Precisión, "¿Qué es la Agricultura de Precisión y cómo iniciarse en ella? - Agricultura de Precision para el Desarrollo," 2022. http://agriculturadeprecisionparaeldesarrollo.com/que-es-la-agricultura-de-precision-y-como-iniciarse-en-ella/ (accessed Sep. 19, 2022).

[14] F. Leiva, "La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista," Jan. 2003.

[15] J. Echevarría, "Tarjetas gráficas para acelerar el cómputo complejo," C&T - Univ. Palermo, 2008, Accessed: Mar. 06, 2018. [Online]. Available: http://www.palermo.

edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT08.pdf.

[16] M. Pusdá-Chulde, F. Salazar-Fierro, L. Sandoval-Pillajo, E. Herrera-Granda, I. García-Santillán, and A. De Giusti, Image Analysis Based on Heterogeneous Architectures for Precision Agriculture: A Systematic Literature Review, vol. 1078. 2020.

[17] Z. Tsai, "Processing AI at the Edge: GPU, VPU, FPGA, ASIC Explained - ADLINK Blog," ADLINK, 2021. https://blog.adlinktech.com/2021/02/19/embedded-hardware-processing-ai-edge-gpu-vpu-fpga-asic/ (accessed Sep. 21, 2022).

[18] A. P. Marques Ramos et al., "A random forest ranking approach to predict yield in maize with uav-based vegetation spectral indices," Comput. Electron. Agric., vol. 178, no. September, p. 105791, 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105791.

[19] V. Partel, S. Charan Kakarla, and Y. Ampatzidis, "Development and evaluation of a low-cost and smart technology for precision weed management utilizing artificial intelligence," Comput. Electron. Agric., vol. 157, no. November 2018, pp. 339–350, 2019, doi: 10.1016/j.compag.2018.12.048.

[20] I. García-Santillán and G. Pajares, "Detección automática de líneas de cultivo: estado del arte y futuras perspectivas," Av. y Apl. Sist. Intel. y nuevas Tecnol., no. 54, pp. 381–398, 2016.

[21] B. Li et al., "Above-ground biomass estimation and yield prediction in potato by using UAV-based RGB and hyperspectral imaging," ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 162, no. December 2019, pp. 161–172, 2020, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.02.013.

[22] D. Beltrán, "Automatización en la Agricultura: un caso de aplicación artificial , control de calidad en semilleros," 2014, no. September, pp. 1–7, doi: 10.13140/2.1.1299.3922.

[23] D. C. Garcia, G. Á. Martínez, and M. E. Garcia, "Raspberry Pi y Arduino: semilleros en innovación tecnológica para la agricultura de precisión," Informática y Sist. Rev. Tecnol. la Informática y las Comun., vol. 2, no. 1, pp. 74–82, Jan. 2018, doi: 10.33936/ISRTIC.V2I1.1134.

[24] P. Radoglou-Grammatikis, P. Sarigiannidis, T. Lagkas, and I. Moscholios, "A compilation of UAV applications for precision agriculture," Comput. Networks, vol. 172, no. February, p. 107148, 2020, doi: 10.1016/j.comnet.2020.107148.

[25] A. Mukherjee, S. Misra, and N. S. Raghuwanshi, "A survey of unmanned aerial sensing solutions in precision agriculture," J. Netw. Comput. Appl., vol. 148, p. 102461, 2019, doi: 10.1016/j.jnca.2019.102461.

[26] HEMAV, "Teledetección con drones Vs Teledetección satelital," 2022. https://hemav.com/agricultura-de-precision-teledeteccion-satelital-vs-teledeteccion-con-drones/ (accessed Sep. 19, 2022).

[27] Z. Luo, W. Yang, Y. Yuan, R. Gou, and X. Li, "Semantic segmentation of agricultural images: A survey," Inf. Process. Agric., Feb. 2023, doi: 10.1016/J.INPA.2023.02.001.

[28] M. Jaroš et al., "Implementation of K-means segmentation algorithm on Intel Xeon

Phi and GPU: Application in medical imaging," Adv. Eng. Softw., vol. 103, pp. 21–28, 2017, doi: 10.1016/j.advengsoft.2016.05.008.

[29] E. Raei, A. Akbari Asanjan, M. R. Nikoo, M. Sadegh, S. Pourshahabi, and J. F. Adamowski, "A deep learning image segmentation model for agricultural irrigation system classification," Comput. Electron. Agric., vol. 198, p. 106977, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.COMPAG.2022.106977.

[30] Eclipse, "Eclipse IDE for Scientific Computing," 2022. https://www.eclipse.org/downloads/packages/release/2022-12/r/eclipse-ide-scientific-computing (accessed Oct. 02, 2022).

[31] A. A. Briceño-Coronado, "Algoritmos paralelos de visión computacional para reconstrucción tridimensional," 26.09.2012, 2012.

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en **Ciencias Aplicadas**
Innovation & Development in Enginnering in Applied Sciences
IDEAS
VOL. 4 Nº2 - 2022

Clavo endomedular femoral para pacientes pediátricos con osteogénesis imperfecta

http://doi.org/10.53358/ideas.v4i2.871

Rainier Delgado[1], Samuel Gomes[1], Jesús Pérez[2], Lucia Martino[1]
1 Centro de Biomecánica, Universidad de Carabobo,
Av. Universidad, Naguanagua, Estado Carabobo, Venezuela
2 Hospital Universitario Dr. Ángel Larralde
Av. Intercomunal de Bárbula, Naguanagua, Estado Carabobo, Venezuela
raynier.delgado@gmail.com, samuelgomesj@gmail.com, jesusperez1@hotmail.com, lmartino@uc.edu.ve
Fecha de envío, marzo 25, 2023 - Fecha de aceptación, abril 18, 2023 - Fecha de publicación, Abril 21, 2023

RESUMEN

La osteogénesis imperfecta es una patología hereditaria que causa huesos frágiles con malformaciones. Uno de los tratamientos electivos se basa en una osteotomía, la cual se apoya de la colocación de un clavo quirúrgico que guíe el crecimiento del hueso. El modelo Fassier-Duval es un clavo telescópico usado en las osteotomías, en tratamiento a la osteogénesis imperfecta, en el fémur, tibia y húmero. Este proporciona la capacidad de guiar al hueso en su proceso de crecimiento; sin embargo, no impide el grado de libertad de rotación, lo que ocasiona que los pacientes en su desarrollo presenten movimientos giratorios en los miembros inferiores, arrojando la necesidad de nuevas intervenciones quirúrgicas para la corrección de esta malformación. Dado lo anterior, se presenta el diseño y construcción de un clavo endomedular femoral para pacientes pediátricos de edades comprendidas entre 8 a 12 años con osteogénesis imperfecta, la cual se presenta como solución a la rotación post quirúrgica; permitiendo el desarrollo del hueso de manera alineada. Para tal fin se desarrollaron diseños empleando herramientas computacionales para el modelado 3D y análisis de esfuerzos y desplazamientos. Se construyó un prototipo que permite la verificación oportuna de la solución encontrada, considerando fabricación de la solución tomando en cuenta las oportunidades de mejora encontradas en el prototipo.

Palabras Clave: Clavo, Endomedular femoral, Osteogénesis imperfecta.

Abstract. Osteogenesis imperfecta is a hereditary pathology that causes fragile bones with malformations. One of the elective treatments is based on an osteotomy, which relies on the placement of a surgical nail to guide bone growth. The Fassier-Duval model is a telescopic nail used in osteotomies, in the treatment of osteogenesis imperfecta, in the femur, tibia, and humerus. This provides the ability to guide the bone in its growth process; however, it does not prevent the degree of freedom of rotation, which causes patients in their development to present rotational movements in the lower limbs, resulting in the need for new surgical interventions for the correction of this malformation. Given the above, we present the design and construction of a femoral endomedullary nail for pediatric patients aged 8 to 12 years with osteogenesis imperfecta, which is presented as a solution to the post-surgical rotation; allowing the development of the bone in an aligned manner. For this purpose, designs were developed using computational tools for 3D modeling and stress and displacement analysis. A prototype was built to allow the timely verification of the solution found, considering the solution's fabrication, and considering the improvement opportunities found in the prototype.

Keywords: Endomedullary nail, Femoral, Osteogenesis imperfecta.

Autor de correspondencia:
Samuel Gomes; gomes.samuel.uc@outlook.com

Introducción

La osteogénesis imperfecta (OI) es una enfermedad de carácter hereditario asociada a trastornos esqueléticos [1]. Es una displasia esquelética poco frecuente, de la cual se reporta como incidencia 1 de cada 15 000 a 20 000 nacidos vivos. Los pacientes con OI pueden presentar fragilidad ósea, deformidades esqueléticas, baja estatura y huesos extremadamente frágiles, anomalías en la estructura dental y baja estatura [1]–[3]. En la mayoría de los casos se caracteriza por una alteración en la formación de colágeno, lo que le confiere una mayor fragilidad ósea y riesgo de fracturas [4]. Las deformidades óseas, en la extremidad superior, se presentan comúnmente en el fémur; mientras que en la tibia la deformación es del tipo antecurvatum y valgo. En la extremidad superior el húmero se deforma lateralmente y el antebrazo "se encuentra con mínima pronación y presenta luxación de la cabeza del radio por acortamiento del cúbito". En lo que se refiere a la columna, entre el 80 y 90% de los "pacientes con OI severa presentan escoliosis, con severas y progresivas curvas de difícil manejo, debido a las fracturas, osteoporosis e hiperlaxitud" [5]. El manejo para la OI y los síntomas relacionados puede incluir fisioterapia, soportes ortopédicos, procedimientos quirúrgicos, medicamentos y tratamientos para enfermedades relacionadas (Ministerio de Salud Pública Ecuador, 2014).

El procedimiento está dirigido a maximizar la función, reducir los eventos de fracturas, evitar la deformidad y optimizar la adaptación del niño a las actividades diarias. Para ello, se requiere un apoyo integral e interdisciplinario. En general, las formas leves solo requieren tratamiento de fractura, mientras que las formas más graves requieren tratamiento médico y quirúrgico continuo para corregir la deformidad resultante. El tratamiento médico incluye medicamentos, apoyo ortopédico y rehabilitación [5]. Los objetivos fundamentales en cuanto al manejo de los pacientes afectados con esta enfermedad son: el incremento de la cantidad y mejoría de la calidad del hueso formado, la prevención de la aparición de deformidades óseas y el tratamiento de las fracturas. Las deformidades pueden ser prevenidas o tratadas mediante el uso de ortesis e intervenciones quirúrgicas [7]. En el aspecto quirúrgico se recomienda utilizar el enclavado intramedular con osteotomía para corregir el arqueamiento severo

de los huesos largos. Así mismo, se recomienda el enclavado intramedular a niños que repetidamente se fracturan huesos largos [6]

Para manejar quirúrgicamente las deformidades óseas tradicionalmente se han utilizado osteotomías correctoras y el enclavado centromedular. En estos casos la cirugía tiene como propósito corregir y prevenir la formación de deformidades óseas, disminuir la frecuencia de las fracturas, restaurar el eje óseo y mejorar la función del paciente [8]. En este sentido, un procedimiento quirúrgico común para pacientes con OI es la utilización de clavos en huesos largos. Este tipo de clavos están conformados por barras de metal, algunas barras se alargan a medida que las piernas crecen; también pueden salirse del hueso [9]. Los clavos telescópicos están diseñados para alargarlos durante el crecimiento del paciente y por lo tanto aplazar la necesidad de reemplazarlo. Entre los clavos telescópicos más importantes se distingue el Bailey-Dubow basado en una barra telescópica. Este dispositivo ha sufrido variaciones a lo largo del tiempo. Se continúan diseñando con los mismos principios: "alinear toda una extremidad para incluir la posición rotacional, estabilizar todo el hueso, minimizar la necesidad de inmovilización postoperatoria, acomodar el crecimiento y minimizar la tasa de revisión" [10]. Por otra parte, el clavo Fassier-Duval es un implante de uso extendido, lo cual implica una sustitución del clavo menos repetida. Las causas de reemplazo del clavo se deben además a la aparición de nuevas fracturas del miembro óseo, falla del implante, complicaciones severas o cuando el paciente alcance la madurez ósea [11]

Este clavo consta de dos partes (macho y hembra) que deslizan uno sobre otro en armonía al crecimiento del hueso al que son aplicados. Al ser de sección circular, no se puede evitar la tendencia a rotar uno sobre el otro a medida que el hueso se alargue según el proceso de crecimiento del paciente, evidenciándose una rotación generalmente externa de los miembros inferiores producto de la rotación del foco de la osteotomía y de la consiguiente deformidad rotacional del hueso. Lo anterior conlleva a la necesidad de realizar nuevas intervenciones quirúrgicas, que para personas con esta condición congénita pueden llegar a ser invasivas, dolorosas y traumáticas. Dado lo anterior, se propone la innovación de un clavo endomedular que proporcione un crecimiento óseo alineado, brinda al paciente la prevención y el control de fracturas y deformidades; minimizando la necesidad de nuevas intervenciones quirúrgicas tomando en consideración los casos en donde se han usado la solución Fassier-Duval.

Metodología

El proceso para la obtención de la solución se llevó a cabo en cuatro fases: Investigación, Diseño, Validación Numérica y Construcción.

Se emplearon características elementales de sistemas existentes, con un enfoque a la interacción que deberá tener el nuevo diseño; considerando la necesidad de guiar y mantener un crecimiento alineado del fémur garantizando la restricción del grado de libertad de rotación existente en el sistema actual, brindando a su vez al paciente, la prevención y el control de sus síntomas (fracturas y deformaciones).

Fase 1: Investigación

Empleando diferentes medios de información, en el proceso de investigación se determinan los aspectos asociados con la osteogénesis imperfecta. Asimismo, conocer sobre la anatomía del hueso a tratar "fémur", sus partes, caracterización o grado de

deformidad de este, debido a la enfermedad y sus dimensiones antropométricas con respecto al rango de edades estipuladas en la investigación, y que servirán como base para definir las dimensiones del clavo a diseñar. Es de suma importancia conocer y observar la realización de una osteotomía correctiva (Sofield y Millar) para pacientes con OI, pues permite comprender el procedimiento empleado para la reconstrucción del hueso, y la posterior colocación de clavos endomedulares, específicamente del Fassier-Duval, por ser el más actual y aplicado, estableciendo todas las variables involucradas en la ejecución de la misma, los posibles errores de instalación y sus consecuencias, así como las deficiencias de diseño o aspectos de mejora del sistema actual y las complicaciones que estos conllevan durante el tratamiento y recuperación de los pacientes.

Fase 2: Diseño

En el proceso de diseño del clavo endomedular se han considerado las siguientes especificaciones:

Mayor capacidad de fijación al hueso: el sistema debe poseer los mecanismos de anclaje óptimos para garantizar un buen agarre en el fémur, evitando posibles migraciones. Además, debe permitir el bloqueo tanto proximal como distal, así como poseer roscas pronunciadas tirafondo para su anclaje en tejido esponjoso.

Debe ser lo más seguro y estable posible: para que el diseño brinde la resistencia que los huesos de los niños con OI no poseen, a los esfuerzos que pudieran aparecer durante la instalación y uso postoperatorio al momento de darse la bipedestación.

Debe contar con el tamaño apropiado: para garantizar compatibilidad entre la geometría del diseño con las características morfológicas y longitudinales del fémur del paciente, durante la instalación y uso postoperatorio. En este sentido, el máximo diámetro del clavo a diseñar no debe sobrepasar de 8 mm, con una longitud mínima de 200 mm y un alargamiento mínimo de 100 mm.

Mayor facilidad de elongación: el diseño debe garantizar que el crecimiento natural o forzado (por medio de fijadores externos) del hueso se lleve a cabo con éxito y de manera alineada. Ajustable a las características morfológicas y longitudinales de pacientes entre 8 y 12 años.

Mayor facilidad de construcción: el proceso de construcción no debe ser muy complejo, con el fin de minimizar costos de mano de obra y equipos de fabricación, teniendo la posibilidad de poder fabricarse en masa a través de centros de mecanizados. De igual forma los elementos a seleccionar por catálogo, como los tornillos de bloqueos distal y proximal, deberán ser de tamaño comercial de fácil obtención en las casas médicas del país.

Mayor facilidad de instalación: el diseño debe poseer un fácil ensamblaje entre sus componentes, adaptarse al procedimiento quirúrgico de la osteotomía de SofieldMillar, y garantizar que los pasos para su instalación en el fémur se definan claramente.

Con base en los criterios mencionados, se presenta la solución propuesta para el clavo endomedular femoral utilizando un software de Diseño Asistido por Computadora (ver Fig. 1). Por otra parte, en la Tabla 1 se listan los elementos que conforman la solución propuesta.

Se plantea un sistema que se fija óptimamente en el hueso y elimina el grado de libertad de rotación existente entre macho y camisa, y de todo el sistema respecto al hueso, gracias al sistema de riel y los tornillos de bloqueo proximal y distal. La particularidad de este diseño es que el sistema puede configurarse a una determinada longitud inicial por medio de la colocación de un tope entre macho y camisa, dependiendo de la longitud del fémur del paciente sin que esto implique algún desperdicio de material. Adicional a esto, su diseño permite al macho y a la camisa, permanecer unidos tanto para la instalación como para la remoción futura de la prótesis. La camisa (1) constituye el sistema de referencia fijo, el macho (4) se introduce dentro de la camisa gracias al sistema riel definido por el riel (2) ubicado en la camisa y el pin (3) ajustado en la parte proximal del macho. Se define entonces la longitud inicial del sistema por medio del prisionero de definición de talla (7) a ubicar en uno de los cinco agujeros roscados de la camisa dependiendo de la talla preferida.

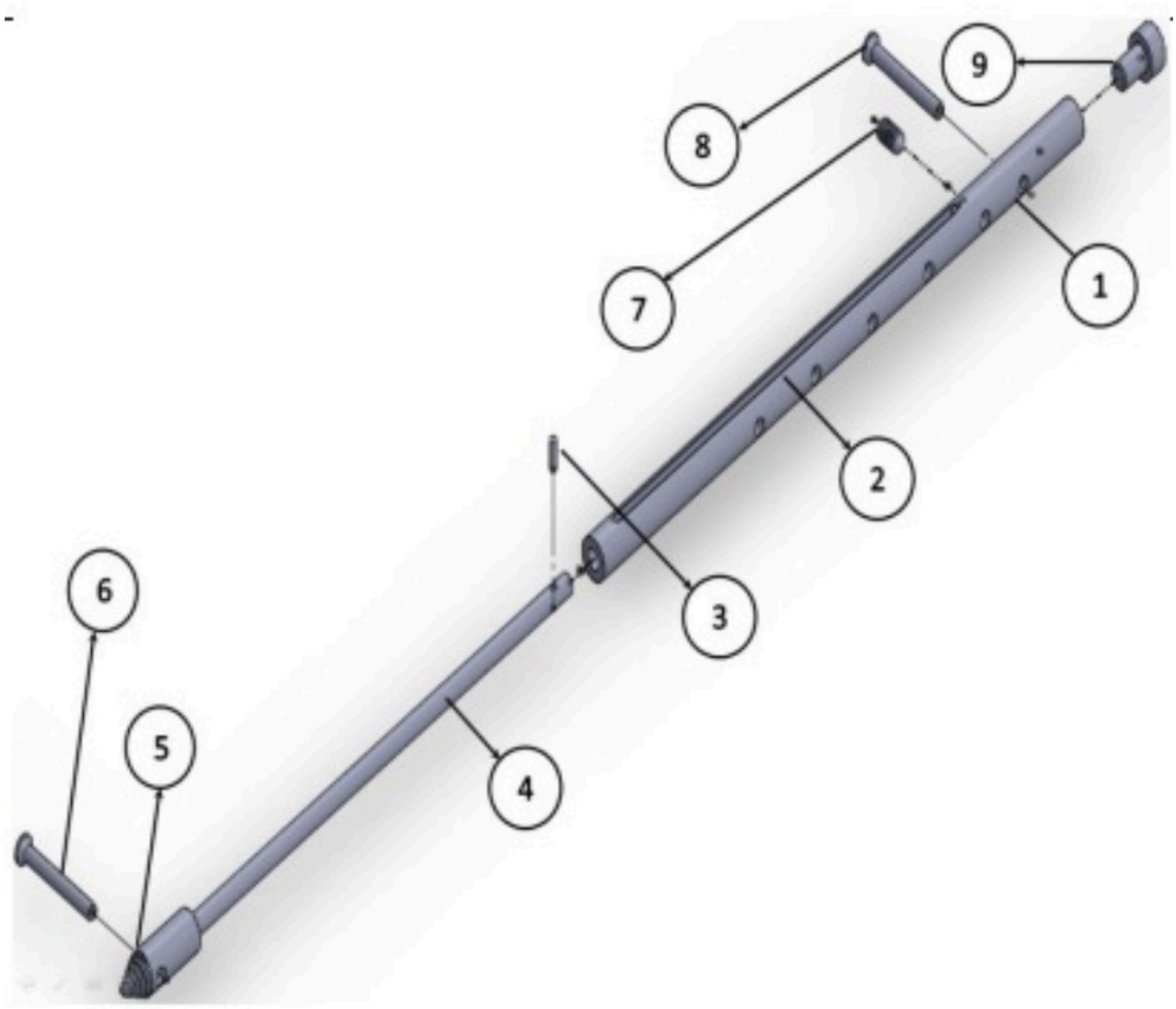


Fig. 1. Vista isométrica en explosión del clavo endomedular femoral propuesto.

Tabla 1. Lista de piezas del clavo endomedular femoral.

N° de Elemento	Descripción	Cantidad
1	Camisa	1
2	Riel	1
3	Pin	1
4	Macho	1
5	Rosca tirafondo	1
6	Tornillo de bloqueo para macho	1
7	Prisionero para definir talla	1
8	Tornillo de bloqueo para camisa	1
9	Tapón	1

El prisionero (7) también sirve como tope para restringir en un solo sentido el movimiento lineal existente entre camisa y macho, favoreciendo de esta manera el crecimiento natural del hueso. Habiendo hecho esto, los elementos, macho y camisa se comportan como un solo cuerpo, el cual se procede a enroscar en el tejido esponjoso distal del fémur por medio de la rosca tirafondo (5). Dicha fijación, se debe acompañar con el uso del tornillo de bloqueo para macho en distal (6), el cual es pasante al macho y se enrosca en el tejido compacto o cortical. Se introduce de igual forma el tornillo de bloqueo para camisa en proximal (8) para finalmente proceder a enroscar el tapón (9) en la cara superior y proximal de la camisa.

Se trata de un que puede configurarse por medio de un tope, a una determinada longitud inicial, dependiendo de la longitud del fémur del paciente. Su diseño permite mantener unidos macho y camisa lo que facilita, tanto la instalación como la futura remoción de la prótesis. En la Fig. 2 se muestra la vista isométrica del clavo endomedular



Fig. 2. Vista isométrica del clavo endomedular femoral.

Fase 3: Validación

Para el análisis de esfuerzos se consideran condiciones de carga estática sobre el segmento proximal del fémur fracturado, producto de la osteotomía que se aplica previamente antes de introducir el clavo endomedular diseñado en el fémur y alinearlo. Mientras que el segmento que simula la parte distal del fémur fracturado se coloca empotrado (ver Fig. 4, Fig. 7, Fig. 10). Como la carga es transmitida del hueso al clavo por medio de los tornillos de cortical, son estos tornillos el punto de referencia para aplicar la carga y restringir el sistema; sin embargo, no es de interés analizar el comportamiento de dichos tornillos en cuanto a esfuerzos se refiere, dado que no han sido diseñados ni modificados por la presente investigación, por lo que se considerarán rígidos (indeformables), siendo el enfoque, el comportamiento del clavo al emplear y recibir la transferencia de carga a través de dichos tornillos. También es necesario tener en cuenta que debido a la condición del colágeno de los niños patológicos con OI, y al reciente trauma que este ha recibido debido a la osteotomía aplicada, el fémur es muy frágil, por lo que no se toma en cuenta para el análisis. Se considera un factor de seguridad de N=2, valor tomado de forma arbitraria por los autores, sin ser muy elevado debido a las restricciones geométricas y dimensionales recomendadas por el especialista, que no permiten emplear mayor cantidad de material para que soporte mayores niveles de carga. En la Fig. 3 se presenta la disposición del clavo en el fémur.

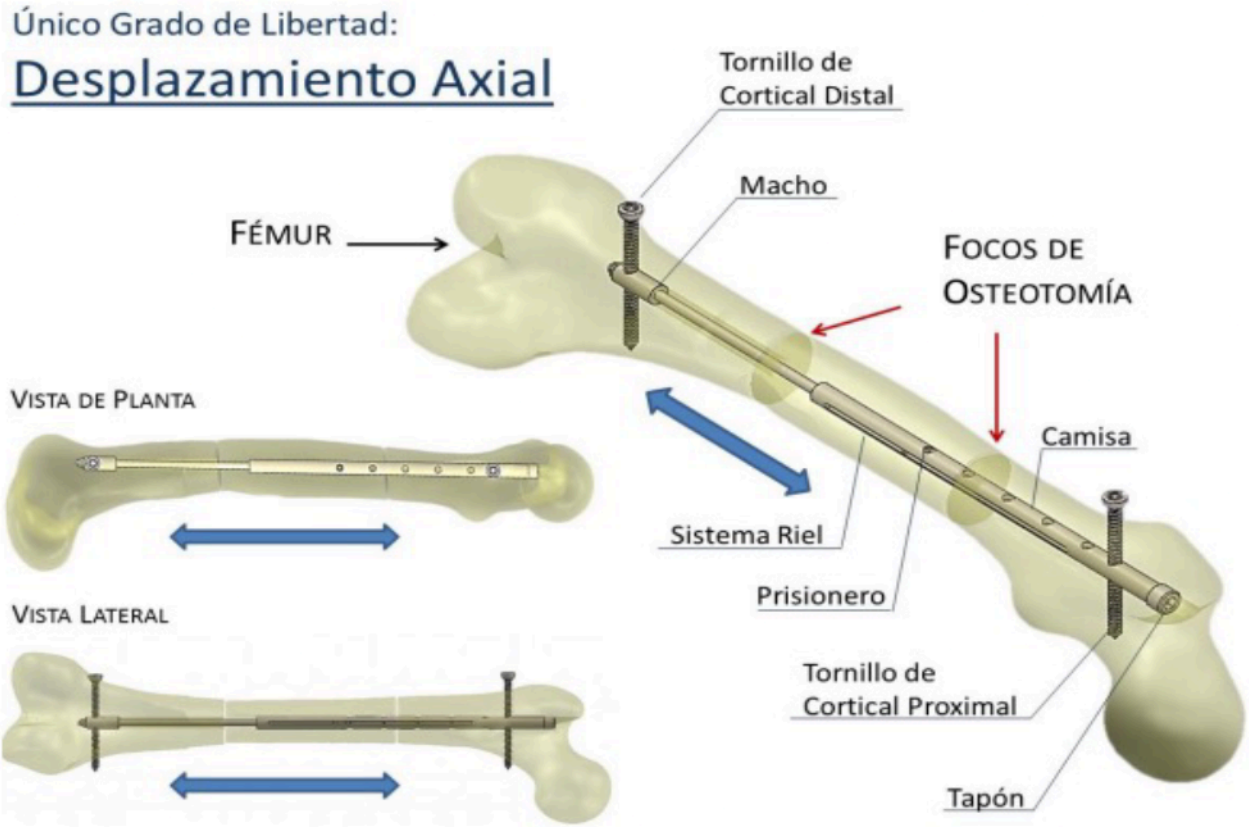


Fig. 3. Disposición del sistema clavo endomedular en el fémur.

Fase 4: Construcción

Una vez desarrollado el modelado 3D del clavo endomedular adecuado a las exigencias y requerimientos de diseño y resistencia, y los planos para su fabricación, se procede a construir un prototipo empleando el material seleccionado el dispositivo con ayuda de personal capacitado en metalmecánica y procesos de fabricación.

Resultados y análisis

Se propone el análisis de esfuerzos para el clavo endomedular, considerando como material el Acero AISI 316L, de acuerdo con un sistema de cargas que suponen compresión, flexión y torsión en el dispositivo. Para realizar el estudio de la fuerza a compresión, se aplica una fuerza distribuida sobre los dos segmentos de cara cilíndrica, a los extremos del tornillo cortical proximal, representando una transmisión de carga proveniente del fémur, en dirección paralela al eje axial del clavo tal y como se muestra en la Fig. 4; dicha carga representa la condición donde el paciente apoya el peso total de su cuerpo sobre una de las piernas tratadas y su valor está directamente relacionado con el máximo esfuerzo a obtener en la simulación. Una vez realizada, se obtiene que la zona más esforzada pertenece al pin del sistema riel, en el que se presenta un esfuerzo máximo de 150,9 MPa, con este valor, producto del límite elástico del material y el factor de seguridad manejado (N=2), se determina que la máxima carga a la que puede estar sometido el clavo endomedular es de 450N (45kg). Este valor obtenido corresponde aproximadamente al peso para niños de género masculino en un percentil alto de 11 años, y entre los percentiles normal y alto para 12 años. En la Fig. 5 se observa el estado de esfuerzos del ensamble junto con la región más esforzada y en la Fig. 6 muestra los desplazamientos resultantes, donde la zona en la que ocurre el mayor desplazamiento es la cara superior del tapón, en proximal del fémur, y tiene un valor de 0,344 mm.

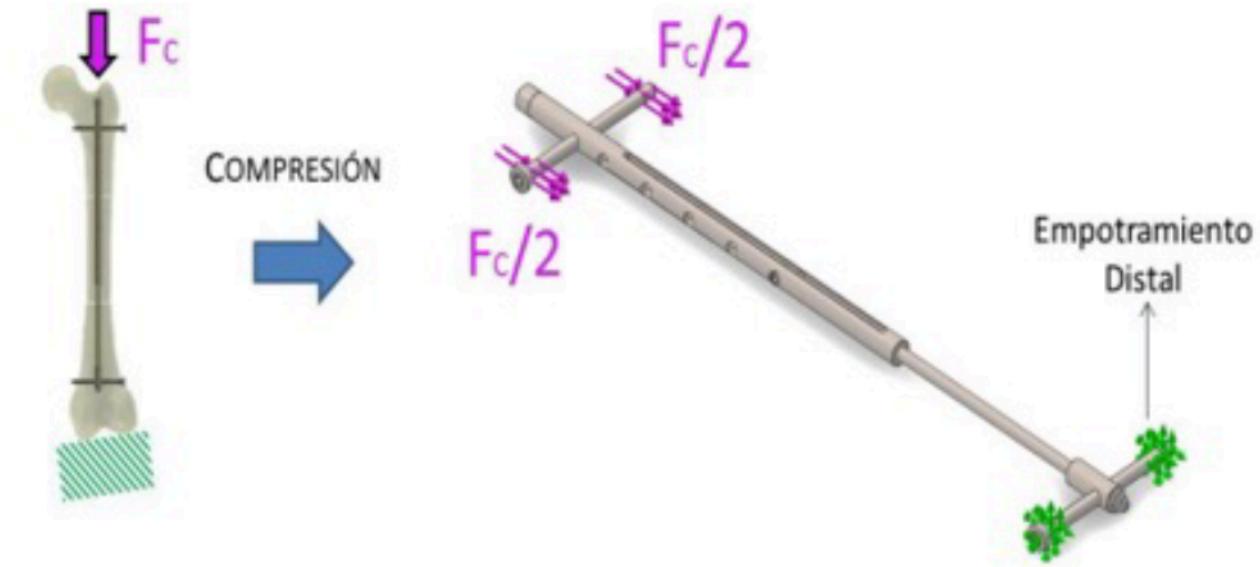


Fig. 4. Condiciones de carga de compresión y restricciones establecidos para el análisis de esfuerzos y desplazamientos.

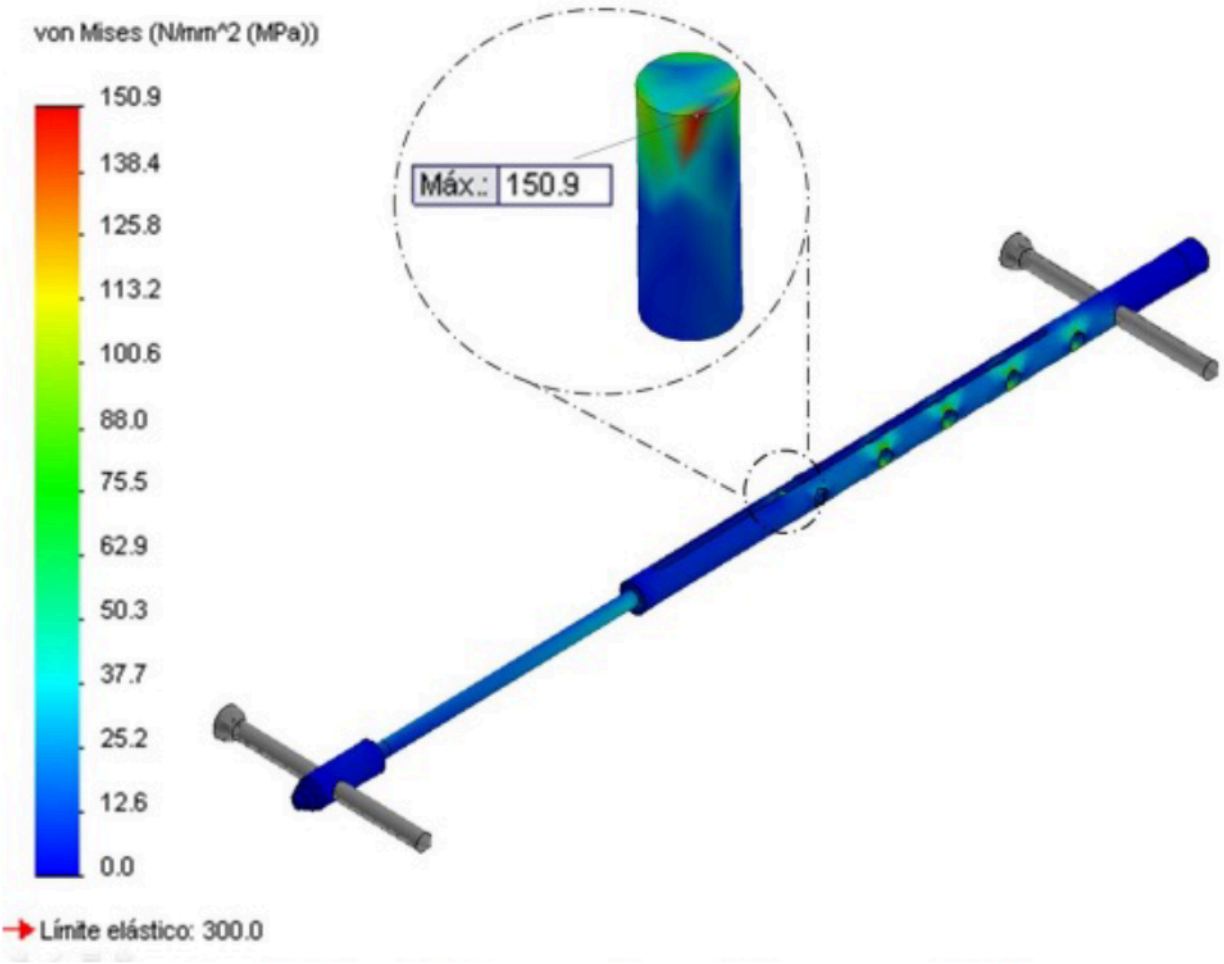


Fig. 5. Estado de esfuerzos (MPa) en el clavo endomedular sometido a carga de compresión.

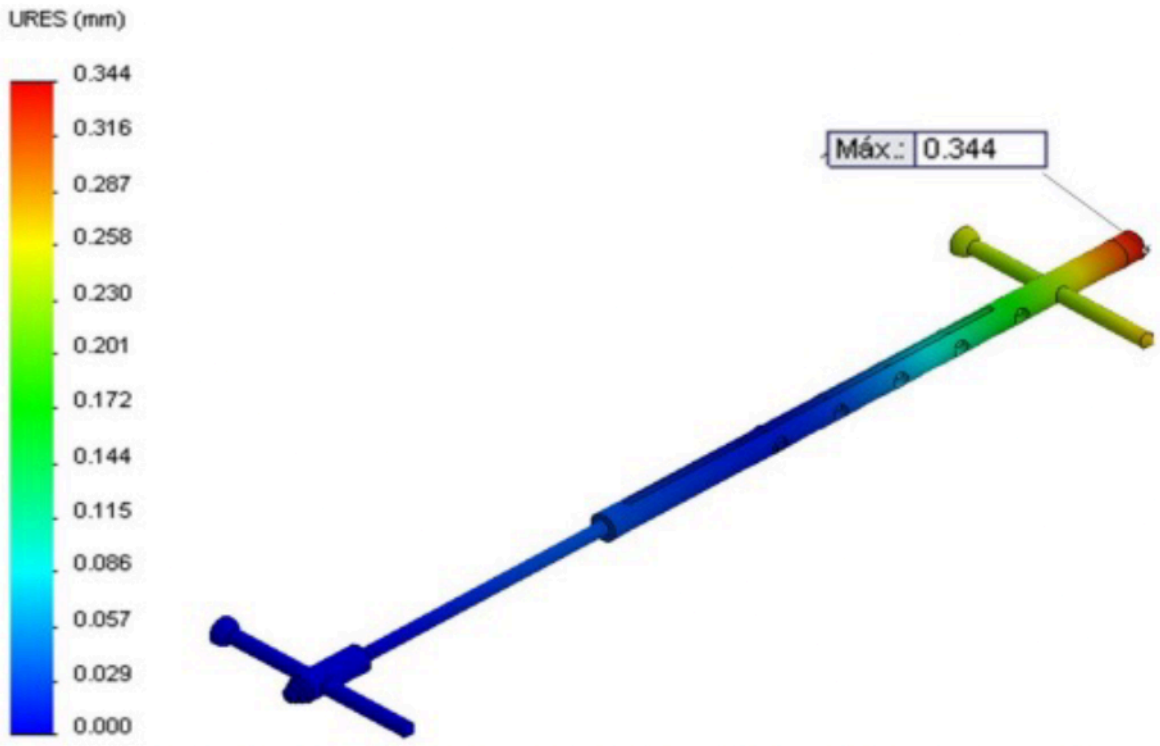


Fig. 6. Desplazamientos resultantes en el ensamblaje del clavo endomedular sometido a compresión.

Para realizar el estudio de la carga a flexión, se aplica una fuerza distribuida sobre los dos segmentos de cara cilíndrica, a los extremos del tornillo cortical proximal, representando una transmisión de carga proveniente del fémur, en dirección perpendicular al eje axial del clavo tal y como se muestra en la Fig. 7. Con el análisis de esfuerzos se tiene un valor máximo de 150,3 MPa, siendo la región más crítica la intercepción entre la perforación central de la camisa y la perforación para la ubicación del prisionero (ver Fig. 6). Este resultado va acorde al hecho de que dichas perforaciones actúan en su intercepción, como un concentrador de esfuerzos, constituyendo a su vez un punto de apoyo a partir del cual la pieza macho puede flectar. A diferencia del estado de carga de compresión, donde la fuerza y los esfuerzos a compresión se transmiten axialmente de forma más eficiente de la camisa al prisionero, de éste al macho, y del macho al pin, siendo este último el más afectado. En un estado de carga a flexión, el momento (con efectos a tracción y compresión simultáneos), es transmitido a cada elemento influyendo de forma más directa, tal y como se evidencia con la pieza macho, el cual interactúo (en el ámbito de esfuerzos y transmisión de carga) en toda su extensión con la camisa, a través de las caras cilíndricas que los relaciona. Con el valor de esfuerzo obtenido, producto del límite elástico del material y el factor de seguridad manejado (N=2), se determina que la máxima carga a la que puede estar sometido el clavo endomedular a flexión es de 42N, un valor que sin duda es menor al que puede someterse el clavo a compresión, y esto debido a que la naturaleza de la flexión tiende a ser más agresiva y está en función no solo de la carga sino al brazo que se maneje (b=243,5mm) tal y como se observa en la figura 4.16, resultando en un momento flector igual a 10227 N.mm. Por lo que se obtiene que, a mayor elongación del clavo, menor es su resistencia a la flexión. En la figura 8 se observa el estado de esfuerzos del ensamble junto con la región más esforzada, y la figura 9 muestra los desplazamientos resultantes, donde la zona en la que ocurre el mayor desplazamiento es la cara superior del tapón, en proximal del fémur, y tiene un valor de 0,830 mm.

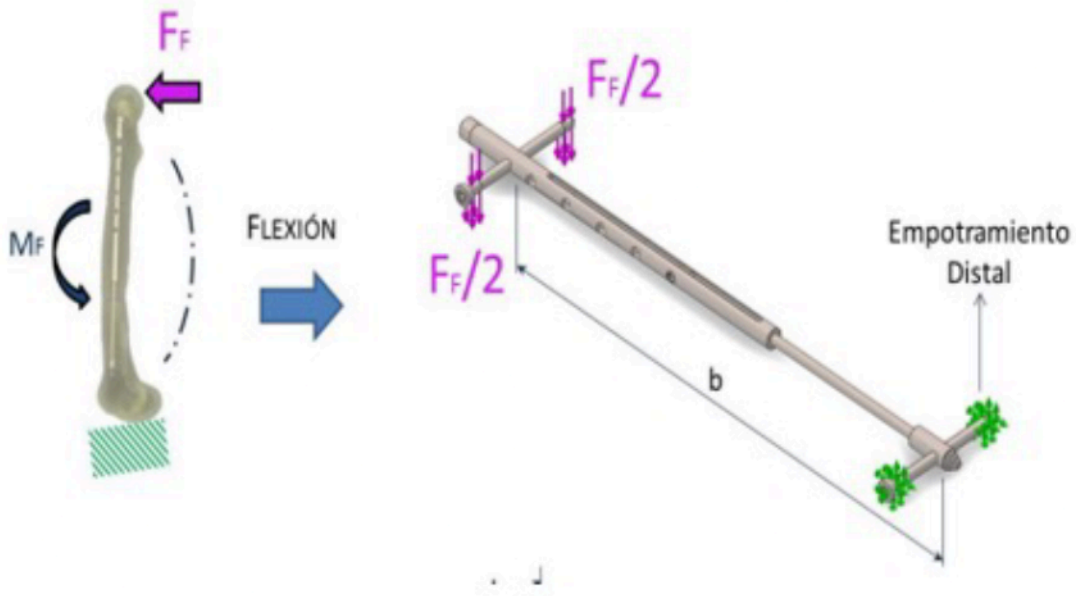


Fig. 7. Condiciones de carga de flexión y restricciones establecidos para el análisis de esfuerzos y desplazamientos.

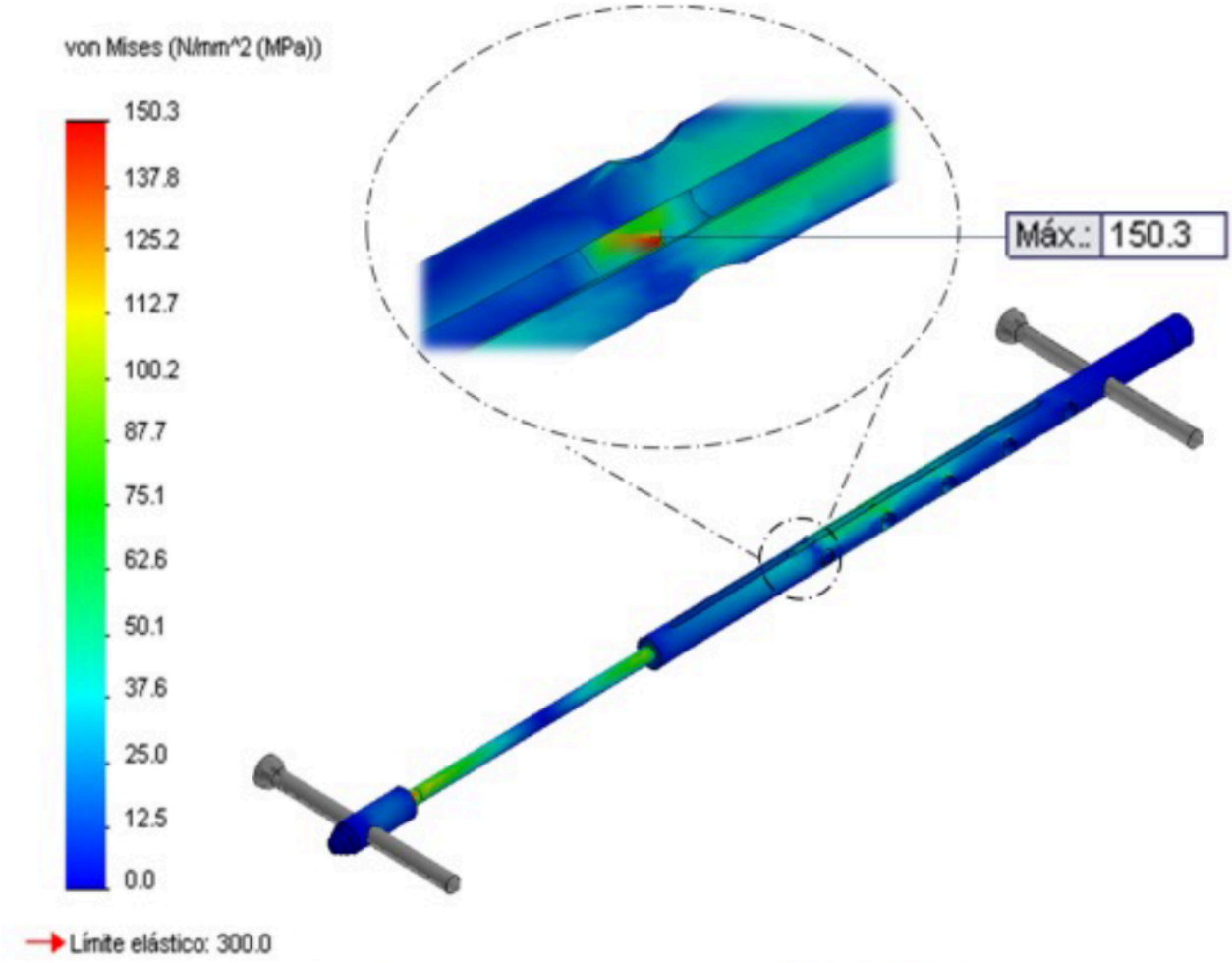


Fig. 8. Estado de esfuerzos (MPa) en el clavo endomedular sometido a carga de flexión.

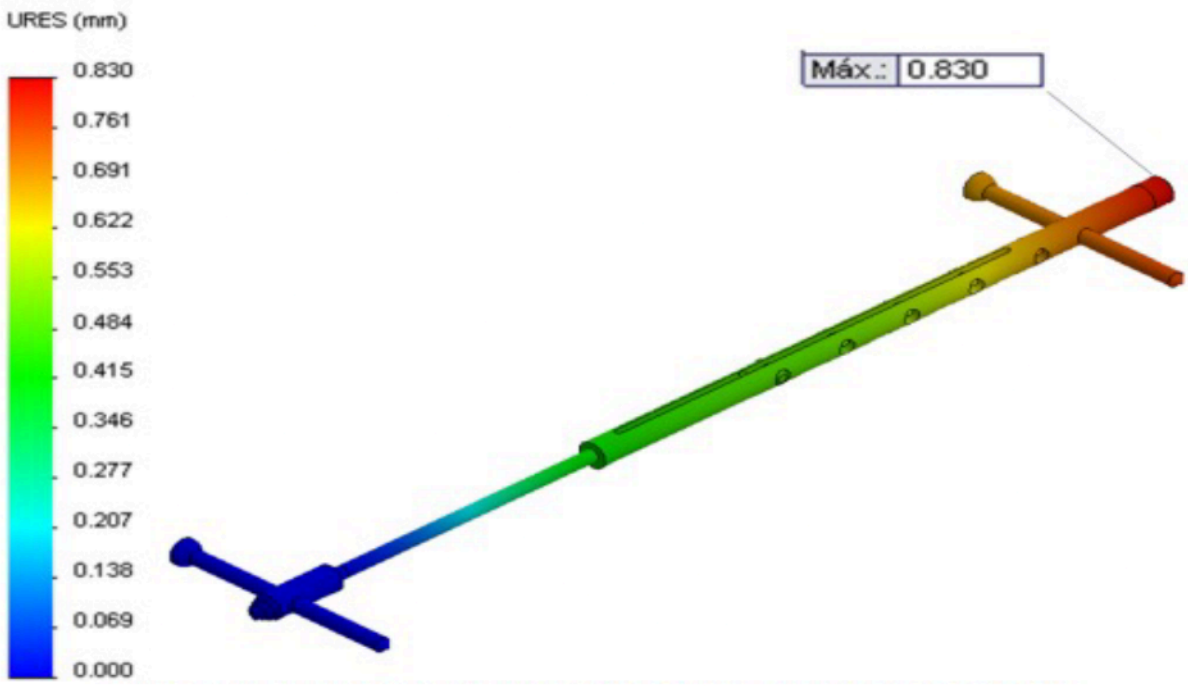


Fig. 9. Desplazamientos resultantes (mm) en el ensamblaje del clavo endomedular sometido a flexión.

Para realizar el estudio de la carga a torsión, se aplica un par de fuerzas distribuidas y en sentidos opuestos entre sí, sobre los dos segmentos de cara cilíndrica a los extremos del tornillo cortical proximal, representando una transmisión de carga proveniente del fémur, en dirección perpendicular al eje axial del clavo tal y como se muestra en la Fig. 10. Debido a lo anterior, se puede producir un momento torsor en el clavo, y su valor al igual que el de la carga, están directamente relacionados con el máximo esfuerzo a obtener en la simulación. Con el análisis de esfuerzos se tiene un valor máximo de 148,1 MPa, siendo la región más crítica el pin del sistema riel del clavo (ver Fig. 11). En vista de que el clavo está sometido a un momento torsor cuya entrada será por medio de los extremos del tornillo cortical proximal. Dicho momento tenderá a influir de forma más rápida en las zonas adyacentes donde existan restricciones por contacto que tiendan a resistir la torsión tal como es el caso de la unión rígida entre el pin y la ranura o riel de la camisa, además de ser el pin el elemento más pequeño del sistema. Este a su vez constituye la entrada al momento torsor en el macho, pero al ser un elemento corto y poseer poco material, es más propenso a fallar antes de transmitir toda la torsión a lo largo del macho, razón por la cual los esfuerzos en este son mínimos y localizados en las adyacencias del pin. Con el valor de esfuerzo obtenido, producto del límite elástico del material y el factor de seguridad manejado (N=2), se determina que la máxima carga a torsión a la que puede estar sometido el clavo endomedular es de 17 N, un valor mucho menor al que puede someterse el clavo a compresión y a flexión. Lo anterior se debe a que la torsión no solo depende de la carga sino también al brazo "d" antes mencionado el cual posee un valor de 60mm, resultando en un momento torsor igual a 1020N.mm. En la Fig. 11 se observa el estado de esfuerzos del ensamble junto con la región más esforzada, mientras que en la Fig. 12 muestra los desplazamientos resultantes, donde la zona que causa el mayor desplazamiento a influir en todo el ensamblaje está justo en los extremos del tornillo cortical en proximal, y tiene un valor de 0,329 mm.

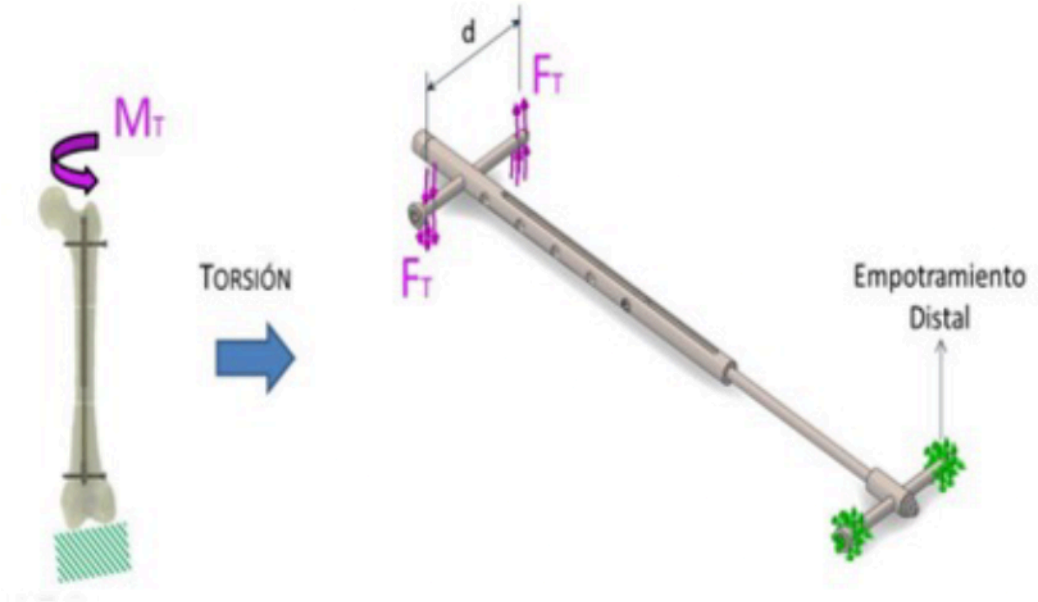


Fig. 10. Condiciones de carga de torsión y restricciones establecidos para el análisis de esfuerzos y desplazamientos.

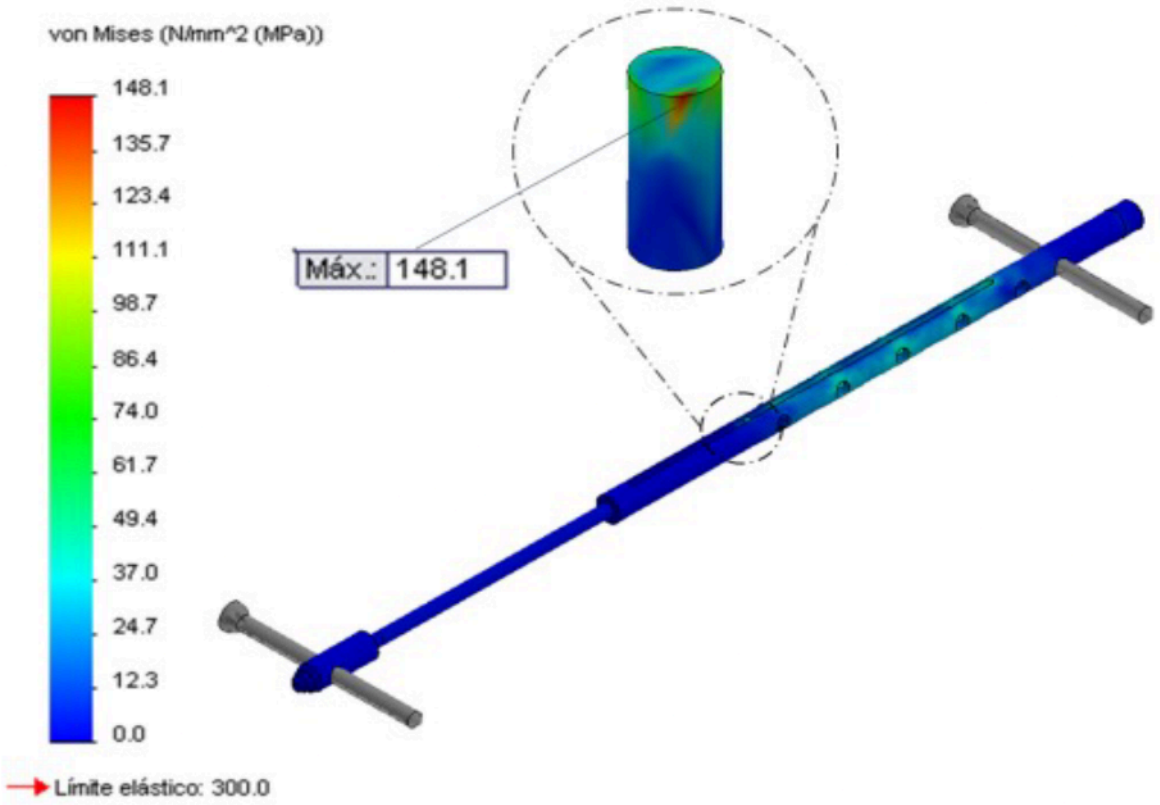


Fig. 11. Estado de esfuerzos (MPa) en el clavo endomedular sometido a carga de flexión.

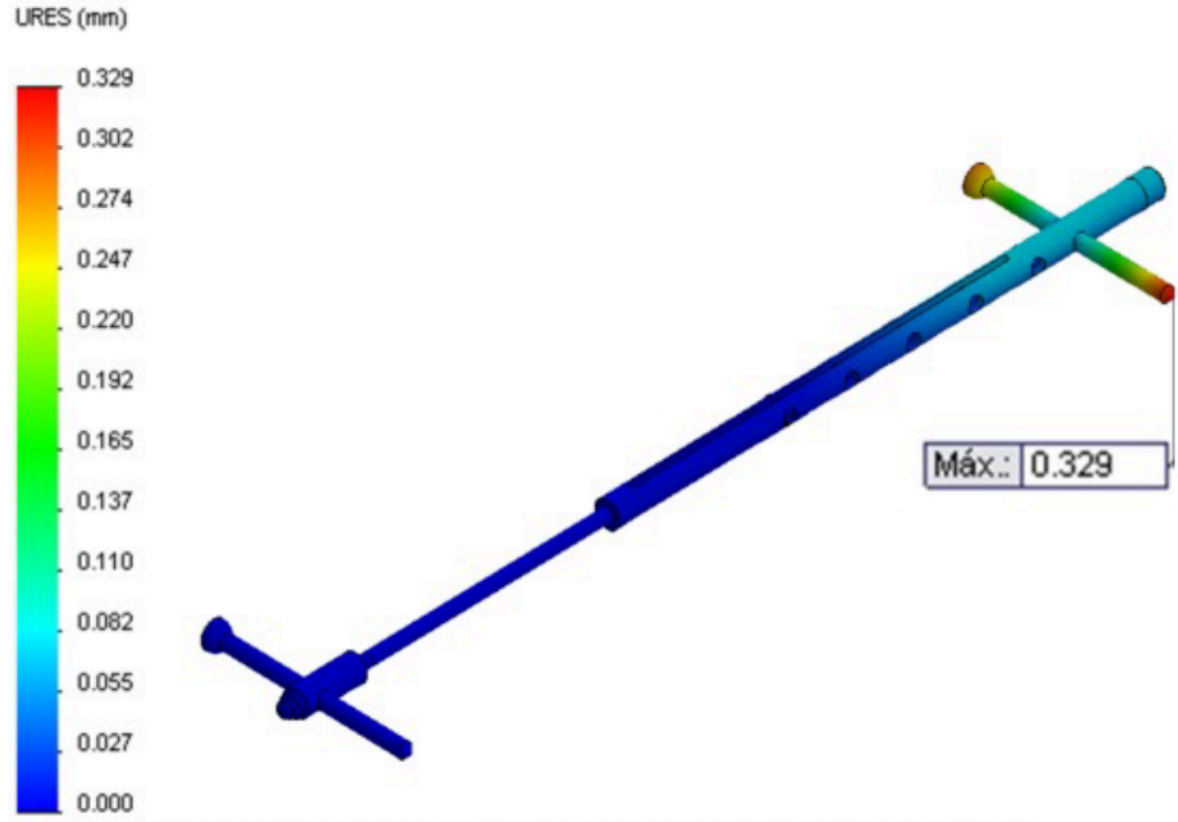


Fig. 12. Desplazamientos resultantes (mm) en el ensamblaje del clavo endomedular sometido a flexión.

Una vez verificadas las condiciones favorables de esfuerzos y desplazamientos para los diferentes patrones de carga se procedió a la construcción de prototipo, obtniendo el modelo que se muestra en la Fig. 13.



Fig. 12. Desplazamientos resultantes (mm) en el ensamblaje del clavo endomedular sometido a flexión.

Conclusiones y trabajos futuros

Considerando la naturaleza frágil de los huesos de las personas con osteogénesis imperfecta y aunado a esto, la poca documentación existente referente a las cargas que pueda soportar un fémur de pediátrico con dicha condición, es que se toma como punto de partida el criterio de diseño de un factor de seguridad apropiado (N=2), de las especificaciones geométricas-dimensionales establecidas por el médico y del límite de fluencia del material considerado en el diseño (AISI 316L), para la obtención de las cargas máximas que soporta el clavo diseñado. A partir de allí se obtuvieron valores de fuerza a compresión igual a 450 N, análoga al peso de un niño obeso de 11 años y con un promedio de 12 años. De igual forma se obtuvieron valores de momentos torsor y a flexión máximos de 1020 N.mm y 10227 N.mm respectivamente.

Al evaluar el diseño bajo la acción simultanea de los tres estados de carga considerados, se obtuvo como piezas criticas la camisa debido a la gran cantidad de perforaciones que posee además de su poco espesor de pared; y al macho a causa de la pequeña perforación que posee para la colocación del pin, la cual sin duda constituye un concentrador de esfuerzos. De igual forma se obtuvo que el diseño esta propenso a fallar por fluencia en base al criterio de von Misses, que por pandeo, siendo la carga crítica a pandeo de 348kg, muy por encima del peso seguro estimado de 45kg

Finalmente, se recomienda realizar estudios sobre la precisión el comportamiento, nivel de actividad, condiciones de reposo y de marcha de los niños con OI, lo que permita refinar las condiciones de carga, de tal forma que investigaciones futuras puedan considerar el efecto de cargas dinámicas en el diseño propuesto. Así mismo, se sugiere hacer el estudio con otros materiales.

Referencias

[1] J. T. Tauer, M. E. Robinson, and F. Rauch, "Osteogenesis Imperfecta: New Perspectives From Clinical and Translational Research," JBMR Plus, vol. 3, no. 8. Blackwell Publishing Ltd, 2019. doi: 10.1002/jbm4.10174.

[2] M. Jovanovic, G. Guterman-Ram, and J. C. Marini, "Osteogenesis Imperfecta: Mechanisms and Signaling Pathways Connecting Classical and Rare OI Types," Endocr Rev, vol. 43, no. 1, pp. 61–90, 2022.

[3] L. A. Morabito et al., "Osteogenesis Imperfecta/Ehlers–Danlos Overlap Syndrome and Neuroblastoma—Case Report and Review of Literature," Genes (Basel), vol. 13, no. 4, Apr. 2022, doi: 10.3390/genes13040581.

[4] R. Bou Torrent, "Osteogénesis imperfecta," Protocolos diagnósticos y terapéuticos en Pediatría, vol. 2, pp. 349–359, 2020.

[5] A. Ibáñez and F. Hodgson, "Osteogénesis Imperfecta," Revista Médica Clínica Las Condes, vol. 32, no. 3, pp. 311–318, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2020.09.004.

[6] Ministerio de Salud Pública Ecuador, "Diagnóstico y tratamiento del paciente con osteogénesis imperfecta," https://sedep.com.ec/wp-content/uploads/2021/05/Diagno%CC%81stico-y-tratamiento-del-paciente-con-osteoge%CC%81nesis-imperfecta.pdf, 2014. https://sedep.com.ec/wp-content/uploads/2021/05/Diagno%CC%81stico-y-tratamiento-del-paciente-con-osteoge%CC%81nesis-imperfecta.pdf (accessed May 19, 2022).

[7] R. J. Escribano-Reya, J. Duart-Clemente, O. Martínez de la Llanac, and J. L. Beguiristáin-Gúrpide, "Osteogénesis imperfecta: tratamiento y resultado de una serie de casos," Rev Esp Cir Ortop Traumatol, vol. 58, no. 2, pp. 114–119, 2014.

[8] Á. E. Hernández Coria, "Manejo de pacientes con osteogénesis imperfecta con clavos telescópicos roscados en el Instituto Nacional de Pediatría," Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, 2013.

[9] J. C. Marini et al., "Osteogenesis imperfecta," Nat Rev Dis Primers, vol. 3, no. 17052, 2017, doi: 10.1038/nrdp.2017.52.

[10] R. W. (Ed.) Kruse, Osteogenesis Imperfecta: A Case-Based Guide to Surgical Decision-Making and Care. 2020.

[11] Pega Medical, "Fassier-Duval el sistema telescópico intramedular," Fassier Duval para cirujanos, 2019.

Rainier Delgado, Samuel Gomes, Jesús Pérez, Lucia Martino; raynier.delgado@gmail.com, samuelgomesj@gmail.com, jesusperez1@hotmail.com, lmartino@uc.edu.ve

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en **Ciencias Aplicadas**
Innovation & Development in Enginnering in Applied Sciences
IDEAS
VOL. 4 Nº2 - 2022

Gestión de los distintos tipos de materiales como factor determinante para el diseño de una planta industrial

http://doi.org/10.53358/ideas.v4i2.873

Daniel De La A[1], Edu Pulley[1], Nelly Ponce1[1], Sandra Zapata[1]
[1] Faculty of Industrial Engineering, University of Guayaquil, Av. Las Aguas, s/n. 090501 Guayaquil, Ecuador.
[1]{ daniel.delaaq, edu.pulleyh, nelly.ponceg, sandra.zapatav }@ug.edu.ec

Fecha de envío, marzo 30, 2023 - Fecha de aceptación, abril 18, 2023 - Fecha de publicación, Abril 21, 2023

RESUMEN

El factor material es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta al diseñar y planificar una distribución de planta industrial adecuada. Con una correcta distribución se puede mejorar la eficiencia, la productividad, la seguridad en la planta de producción, la calidad de los productos, la flexibilidad y la capacidad de adaptación de la empresa. Para lograr una distribución de planta apropiada, es necesario considerar el factor material, la naturaleza de este, su peso y volumen, los procesos de producción, los requisitos de almacenamiento y manipulación, así como los requisitos de seguridad y calidad.

Palabras Clave: Diseño, Distribución, Planta, Materiales, Factor

Abstract: The material factor is one of the most important aspects to take into account when designing and planning an adequate industrial plant layout. With a correct layout, the efficiency, productivity, safety in the production plant, product quality, flexibility and adaptability of the company can be improved. In order to achieve a proper plant layout, it is necessary to consider the material factor, the nature of the material, its weight and volume, production processes, storage and handling requirements, as well as safety and quality requirements.

Keywords: Design, Layout, Plant, Materials, Factor

Autor de correspondencia:
Sandra Marcela Zapata; sandra.zapatav@ug.edu.ec

Daniel De La A, Edu Pulley, Nelly Ponce1, Sandra Zapata;
{ daniel.delaaq, edu.pulleyh, nelly.ponceg, sandra.zapatav }@ug.edu.ec

Introducción

Para crear una planta industrial o remodelarla, se deben considerar los factores que intervienen y condicionan estas actividades, por lo cual, se necesita realizar una distribución de las áreas que integran la misma. Para cumplir con este propósito, se debe realizar un estudio investigativo que permita diseñar correctamente la distribución de las áreas.

La distribución de planta se refiere a la disposición física de los equipos, maquinarias, áreas de trabajo y otros elementos dentro de una empresa, esta distribución es una tarea crítica y crucial en la planificación y gestión de cualquier empresa que se dedique a la producción, por lo cual esta debe llevarse a cabo de una manera cuidadosa y estratégica, para así poder asegurar el éxito que va a tener una empresa, esto en términos de eficiencia, productividad y también de rentabilidad.

Por todo lo antes mencionado se determina entonces que, una buena distribución de planta es fundamental para crear un entorno de producción seguro y eficiente dentro de la empresa, lo que permitirá a la empresa operar con un alto nivel de eficacia y eficiencia en un mercado altamente competitivo. Dentro del diseño y distribución de los espacios físicos de la planta se encuentran los distintos principios básicos y de factores, los cuales intervienen y afectan directamente en la distribución que se desea realizar, tales como: El factor material, maquinaria, hombre, movimiento, espera, servicio, tiempo y por último el factor de cambio. Cada uno de estos factores tienen sus respectivas características y propiedades que los hacen diferentes unos a otros.

El factor material es un elemento clave que debe tenerse en cuenta antes de tomar cualquier tipo de decisión, como punto influyente en los métodos de producción, así mismo en su forma de manipulación o almacenamiento, cabe recalcar que, acorde al tipo de material, el espacio físico utilizado dependerá de las condiciones en las cuales deben encontrarse los materiales, tales como: ventilación, refrigeración, acondicionamiento, almacenaje, clasificación, organización, entre otros aspectos.

Con respecto a las condiciones en las cuales se encuentren los materiales, se afectará

la ubicación donde deban residir para ser utilizados como materia prima, materiales y repuestos, producto terminado e incluso producto de rechazo.

Todo lo anterior afecta a una óptima producción, y es importante considerar los materiales involucrados para garantizar el éxito a largo plazo, de un proceso productivo. Si los materiales son el factor más importante para el éxito del diseño de distribución de planta, es necesario conocer cómo funcionan para que los diseñadores y productores puedan aprovechar al máximo su uso.

En este artículo se tratará con mayor profundidad la importancia del factor material y qué tan relevante es este a la hora de determinar el tipo de distribución de planta.

Desarrollo

Durante el proceso de diseño de una planta, hay varios factores y principios que se deben tener en cuenta para seleccionar un tipo de distribución adecuado a las necesidades de la empresa. En el caso de los principios se debe ser cuidadosamente selectivo, puesto que, en la mayoría de los casos no es posible introducir todos en un mismo diseño.

Los factores poseen un comportamiento similar, que es seleccionado acorde a su nivel jerárquico, a más alto nivel, más determinante se vuelve el factor para el diseño de planta. Este es el caso del factor material, el cual es importante para determinar el tipo de distribución, basado en las operaciones y procesos de la materia prima.

En esta sección se va a analizar el factor material y su importancia, así como los distintos tipos de distribución en planta.

Objetivos básicos de una distribución en planta

La selección de un determinado tipo de planta no se hace con el único propósito de guiar la distribución de planta, puesto que existe una gran variedad de elementos que se pretende alcanzar con correcto diseño, y que se consideran objetivos básicos para diseñar la distribución. Según Guzmán (2014) los objetivos básicos que una buena distribución y diseño pretenden conseguir son:

- *Unidad:* Lograr la integración de todos los elementos o factores involucrados en la unidad productiva, de manera que trabajen juntos para alcanzar los mismos objetivos.
- *Circulación mínima*: Buscar la optimización de los trayectos que realizan tanto los materiales como los trabajadores entre las diferentes áreas y departamentos, consiguiendo la reducción de movimientos en los espacios creados de una manera eficiente, y aprovechando el espacio disponible.
- *Seguridad:* Conseguir un entorno de trabajo aplicando normas de seguridad, que sea cómodo y satisfactorio para el personal, permitiendo en una reducción de los accidentes laborales y una mejora en el ambiente laboral.
- *Flexibilidad:* Se requiere que la distribución de la planta se adapte a los cambios en el entorno de trabajo, por lo que se recomienda la implementación de distribuciones flexibles con mayor o menor frecuencia.

En definitiva, la distribución correcta en la planta mejora la eficiencia y eficacia en el uso de los recursos disponibles en una instalación productiva. Con esto se busca obtener un diseño óptimo de un espacio físico para los equipos, maquinarias, materiales, personal y espacio disponible, que permita minimizar los tiempos y costos de producción, reducción de movimientos y traslados innecesarios, mejorar la seguridad y ergonomía del lugar de trabajo, aumentar la flexibilidad y capacidad de adaptación ante cambios en la demanda, así como en las condiciones de producción. Todo esto con el fin de obtener una mayor productividad, calidad y rentabilidad en la empresa.

Tipos de distribución en planta

Un elemento que está presente en cada planta productiva es la distribución en planta. Este elemento está implícito desde que la planta está en proceso de creación y durante sus actividades productivas. Se considera que está siempre presente, puesto que, por más primitiva que sea esta distribución, siempre está presente sin importar el tamaño de la industria.

La distribución en planta describe la disposición de manera física de los elementos que se encuentran en una instalación industrial. Esta disposición, ya sea planificada o implementada, contiene el espacio necesario para el manejo de materiales, el almacenamiento, el personal indirecto y otras actividades o servicios, como equipos de trabajo y personal de planta (Vásquez, 2015).

Ciertamente cada tipo de planta es diferente en lo que respecta a sus actividades productivas, esto no es del todo cierto en lo que respecta a su distribución, puesto que se ha establecido con anterioridad que existe una clasificación por características similares de los tipos de distribución de planta. Existen 4 tipos principales: Distribución en planta por posición fija, Distribución en planta por producto, Distribución en planta funcional y Distribución en planta híbrida (García, 2020).

Distribución en planta por posición fija

El producto por convertir permanece estacionario mientras las personas se desplazan por las máquinas y materiales en este lugar. Esto es común cuando, el volumen de producción es simple y la gama de productos es grande.

Distribución en planta por producto

El recurso está dispuesto de modo que el producto siga una ruta determinada (identificada por señalética). Esto es común cuando, la producción es alta y el suministro de productos es bajo.

Distribución en planta funcional o por proceso

Los recursos se programan de acuerdo con las tareas y actividades que realizan, en este caso, el producto se mueve de un área funcional a otra. Esto es común cuando la producción es moderada y los productos en sí son similares en lugar de los recursos necesarios.

Distribución en planta híbrida

Para superar las desventajas de los diferentes tipos de arreglos de plantas, surgieron

las llamadas plantas híbridas, donde los materiales se organizan por células de trabajo, convenientemente distribuidos por proyectos u órdenes de producción solicitadas.

Si bien, todas las industrias poseen un tipo de distribución de planta específico, este variará al ser comparado con otras industrias del mismo tipo. Esto se debe a que, cada planta trabaja con un producto distinto a pesar de ser extremadamente similares, y por más mínima que sea la diferencia, va a causar que la distribución de planta cambie. Por esta razón, no existe una distribución de planta que se adapte a todas las industrias, en su lugar, se va a encontrar una distribución de planta que es fácilmente adaptable a todas las necesidades.

Factores que afectan a la distribución en Planta

Los aspectos que se consideran en el momento de diseñar la distribución física dentro de una planta son varios, esto se debe a la cantidad de mecanismos que cada empresa utiliza para elaborar sus productos, los cuales están basados en una serie de elementos conocidos como los factores que afectan a la distribución en Planta.

Es un error común suponer que, considerar estos elementos al momento de seleccionar un tipo de distribución en planta dificultará el proceso de diseño considerablemente, pero es todo lo contrario, puesto que facilita el trabajo, no solo a corto sino a largo plazo también. Por ello, se considera necesario tener una noción acerca de distribución en planta en lo que respecta a los siguientes temas:

1. Un entendimiento estructurado de los componentes involucrados y las posibles implicaciones que puedan afectarlos.

2. Un conocimiento de los métodos y técnicas que se utilizan para organizar los componentes dentro de la planta, de manera que los elementos anteriores se integren adecuadamente (de la Fuente & Fernández, 2005).

La relevancia y el impacto de los diversos factores pueden ser distintos, dependiendo de la situación y la organización en cuestión. Sin embargo, al decidir una solución definitiva, es fundamental encontrar un balance entre las diferentes características y tomar en cuenta todos los factores para obtener el máximo beneficio y reducir cualquier inconveniente (García, 2020). Lo que se busca a final de cuentas en la distribución de planta, es alcanzar un equilibrio entre estos factores.

No obstante, estos elementos tienen un grado de importancia relativa considerando qué tan fundamental resulta para el diseño. Este orden jerárquico se encuentra integrado por los factores: Material, Maquinaria, Hombre, Movimiento, Espera, Servicio, Edificio y Cambio (Muther, 1970). Los factores están ordenados en grado de relevancia de mayor a menor importancia, siendo el factor más importante el Material y el menos importante el factor cambio.

Sin embargo, es generalmente aceptado que el factor material suele tener una relevancia mayor con respecto a los otros elementos de su misma categoría de semejantes. La razón de esta distinción es que, los demás factores dependen en una medida u otra de este elemento.

Factor material

El factor material es considerado un pilar fundamental para empezar con la selección del tipo de distribución en planta adecuado para un proyecto. La finalidad de la producción es alterar, modificar o combinar los materiales, de manera que cambien su forma o características. En consecuencia, la disposición de los recursos utilizados para la producción dependerá del resultado que se quiera obtener y del material utilizado en su procesamiento (Guzmán, 2014).

Sin embargo, cada producto se elabora de una manera distinta, desde que ingresa como materia prima hasta convertirse en un producto terminado, por este motivo, es igual, indispensable considerar el producto en cada una de sus etapas de transformación para tener una perspectiva amplia y mucho más sólida de las necesidades del proyecto de distribución de planta, y en base a ello, tomar una decisión acertada. Frente a esto, Oliveros (2017) considera que, dentro del factor material se deben incluir los siguientes elementos:

- Materias primas
- Materiales entrantes
- Material en proceso
- Producto terminado
- Material saliente o embalado

Las decisiones que se pueden tomar a partir de conocer el proceso de transformación de un producto son mucho más sólidas. Sin embargo, es relevante considerar las características externas que podrían afectar al factor material. Cada situación que rodea al producto es diferente y por esto, es indispensable analizar estas características para asegurar que las mismas se compenetren bien al momento de realizar el diseño final. Por lo que, se debe estar al tanto de las condiciones propias del proceso de elaboración del producto con la misma atención con la que se enfoca a las condiciones internas. De esta forma, Meléndez et al. (2003) establece que, las condiciones que afectan el factor material son:

- El Proyecto y las especificaciones del producto
- Las características físicas o químicas de este
- La Cantidad o variedad de materiales productos
- Las materias o piezas componentes y las formas de combinarse unas con otras

El proyecto y las especificaciones del producto

En esta condición, es importante considerar 3 factores que proveen una guía para establecer el tipo de distribución en planta, que son:

- Con el objetivo de lograr una producción eficiente, es necesario que el diseño del producto tenga en cuenta su facilidad de fabricación. Esto implica que, el diseño debe ser realizado de manera que resulte sencillo y práctico de producir, lo cual contribuirá a que el proceso de fabricación sea más eficiente y efectivo.

- Es fundamental que las especificaciones estén actualizadas, para evitar que errores u omisiones en los planos u hojas de especificación invaliden por completo la distribución en planta. Por lo tanto, es importante utilizar planos y fórmulas actualizados, puesto que, esto podría desembocar en errores que tomarían semanas corregir.

- La calidad es un término relativo que no puede ser considerado como bueno o malo, a menos que se compare con su propósito, es decir, la calidad de un producto depende de su uso y objetivos específicos. En algunos casos, unas especificaciones demasiado precisas pueden resultar tan costosas como aquellas que no son lo suficientemente ajustadas. Por lo tanto, es importante encontrar un equilibrio en la calidad y las especificaciones para obtener un producto que cumpla con su propósito, sin incurrir en costos innecesarios (Hamilton et al., 2018).

Es indispensable tomar en cuenta estos tres factores, debido a que, no es factible que un producto sea fácil de fabricar si es muy costoso y no cumple los estándares. De igual forma, no será rentable elaborar un producto con una calidad elevada, pero que es demasiado costoso de ensamblar con respecto a la competencia. Por ello, se debe tratar de buscar un equilibrio entre las tres alternativas, para evitar problemas a largo plazo que involucren una distribución en planta que pueda quedar obsoleta rápidamente.

Las características físicas o químicas del producto

La distribución de una planta está estrechamente relacionada con las características de elaboración del producto, por lo cual, se considera importante dentro del diseño de un producto las siguientes características:

a) Tamaño: Es un factor relevante porque puede tener un impacto significativo al momento de planificar y diseñar una distribución adecuada

b) Forma y volumen: El manejo de ciertos materiales o productos con formas irregulares y extrañas puede dificultar su manipulación de manera considerable, así como la voluminosidad del producto.

c) Peso: Tendrá un impacto en varios factores importantes de la distribución, como la maquinaria, la carga de pisos, el equipo de transporte y los métodos de almacenamiento. En la mayoría de los casos, este factor es determinante y puede influir en la toma de decisiones para planificar adecuadamente la distribución.

d) Condición: rígido o flexible, blando o duro, sólido o fluido.

e) Características especiales: Las características especiales de un producto según (González & Guerrero, 2014), son bastante frágiles, quebradizos o delicados. Mientras que otros pueden ser inflamables, volátiles o explosivos. Las características especiales son el cambio de temperatura, luz solar, vibraciones, sacudidas, choques, polvo, suciedad, humedad, transpiración, atmósfera, vapores y humos, calor o frío.

Al considerar todos estos elementos cuando se analiza el factor material, permitirá una distribución en planta mucho más sólida y duradera, puesto que los factores subsecuentes se van a adaptar a este factor y van a facilitar el trabajo en gran medida. Esto es especialmente cierto para el factor maquinaria, debido a que, la misma deberá considerar las características anteriormente mencionadas para poder ser comprada o reemplazada.

La cantidad o variedad de materiales o productos

En un producto es importante conocer las características externas que lo rodean, tales

como: distribución, ubicación, cantidad, entre otros factores.

Determinar la cantidad o variedad de artículos que se deben producir, ayudará a identificar la distribución de planta más adecuada para cubrir las necesidades que se susciten. Si se trata de producir grandes cantidades de un solo producto, entonces se requiere una distribución de planta similar a la producción en cadena. En cambio, si la producción implica una amplia variedad de productos en pequeñas cantidades, entonces se necesitará un área física para producirlo. Por otro lado, si se trata de un producto de gran tamaño, se requerirá una disposición de posición fija (Díaz et al., 2007). Tener en consideración esta característica permitirá seleccionar un tipo de distribución de planta que no representará problemas en el futuro, ya que va suplirá las demandas que surjan en corto plazo y a los cambios en los volúmenes de producción a largo plazo.

Las materias o piezas componentes y las formas de combinarse unas con otras.

Esta característica difiere de las mencionadas anteriormente, y tiene el mismo nivel de importancia que se debe considerar en el momento de diseñar la distribución física de la planta.

La secuencia de operaciones es crucial en la distribución, y cualquier cambio en ella tendrá su efecto. El uso del Diagrama de Operaciones de Proceso (DOP) puede ser útil para visualizar la secuencia de operaciones y hacer mejoras en la distribución.

La estandarización de los materiales y piezas puede resultar en grandes ahorros de costos de producción. Si las piezas similares son intercambiables, los costos de ensamblaje disminuyen, y hay muchas formas de combinar piezas o materiales normalizados (Díaz et al., 2007).

Es posible interpretar este elemento, como una manera de comprobación de que se ha elegido una distribución correcta, en base a los elementos anteriores. Esto ocurre debido a la necesidad de que todos los elementos en la planta se compenetran, teniendo presente las características externas, internas y la cantidad de productos a realizar. Lo anterior conlleva a crear un diseño de planta sólido y adecuado a las necesidades.

Diseño

Si bien, suele ser incluido dentro de la categoría de características físicas y químicas, este elemento posee propiedades que permiten diferenciarlo de la clase anteriormente mencionada.

Según Bocangel et al. (2021), el producto final debe tener un cierto conjunto de especificaciones para cumplir con los estándares de calidad.

Por lo tanto, su diseño material tiene las siguientes características:

- Deben ser aceptables en el mercado.
- Fáciles de usar para los consumidores.
- Respetuosos con el medio ambiente.
- Calidad suficiente a un precio que los clientes estén dispuestos a pagar.
- Rentables para producir y vender.

En otras palabras, se busca que la distribución de planta no genere costos elevados desde el principio del proyecto, así como, hasta el momento de la distribución, con el objetivo de no generar un costo adicional para el cliente. De igual forma, se busca que sea amigable con el medio ambiente, de ahí que también posea un grado de influencia dentro del proceso de selección del tipo de distribución en planta, debido a que, no basta simplemente con fabricar el producto, sino asegurarse de que este sea sostenible en el tiempo a largo plazo, y así evitar que siga generando gastos y costes.

Para solventar esta disyuntiva, la disposición de los factores productivos debe adecuarse a las características propias de los factores de producción y materiales necesarios para realizar el trabajo. Estas características incluyen propiedades físicas, propiedades químicas, tamaño, forma, peso y volumen, y son cruciales para determinar los métodos de manufactura, manipulación y almacenamiento. La eficacia de la distribución en planta se verá afectada por la capacidad de esta para manejar los diversos productos y materiales utilizados, lo que implica analizar sus ventajas y desventajas. (Ortiz & Zúñiga, 2022)

Si uno de estos elementos no fuera considerado durante el proceso de diseño, lo más probable es que el mismo no pueda avanzar o tener fallas estructurales en el futuro. Para solventar esto, el factor material es el primer factor a considerar, al momento de elegir el tipo de distribución en planta que se necesita para una determinada industria.

Distribución en planta de acuerdo con su naturaleza

Al igual que en los casos de estudio anteriores en lo que respecta al factor material, es necesario destacar que el mismo puede considerarse no solo al momento de realizar una distribución en planta desde cero, sino que, puede también utilizarse para elaborar una mejor distribución que reemplace a la actual. Las circunstancias bajo las cuales se puede realizar la distribución de planta son las siguientes:

- Proyecto de una planta completamente nueva: Se presenta cuando una empresa se establece por primera vez, cuando comienza a producir un nuevo tipo de producto, o cuando hay un proceso de expansión y es necesario el traslado a un área diferente.

- Expansión o traslado a una planta ya existente: El diseñador tendrá que abordar el problema de manera distinta, si tiene que ajustar una estructura organizativa, un proceso y medios de producción ya establecidos a un edificio industrial y servicios preexistentes.

- Reordenación de una planta ya existente: En esta circunstancia, el diseñador tiene que lidiar con las mismas limitaciones que se presentaron durante la creación de la distribución inicial, como la forma del edificio, las dimensiones y las instalaciones existentes. La solución es utilizar al máximo los elementos ya disponibles, haciendo que funcionen con los nuevos medios y métodos que se van a introducir.

- Ajustes menores en distribuciones ya existentes: El proyectista se enfrenta a la tarea de resolver el problema sin modificar significativamente la distribución general, evitando interrupciones innecesarias en el proceso y realizando los cambios mínimos necesarios (Diego, 2006).

En base a esta clasificación se puede inferir que, el factor material es importante a lo largo de la vida de una industria. Suele tener una importancia mayor al principio, puesto que, es el momento en el cual se comienzan a elaborar los esquemas, propuestas y posibles distribuciones. Sin embargo, sigue teniendo relevancia luego de un tiempo, pues, como ya se mencionó anteriormente, una planta debe estar elaborada con miras al futuro. Esta característica permitirá redistribuir los elementos en base al tipo de planta ya escogido, o simplemente realizar ajustes menores que garanticen que el proceso productivo no se vea alterado.

Las características anteriormente mencionadas se encuentran en el esquema elaborado por Diego (2006), en el cual se evidencian posibles eventos que podrían desencadenar una distribución de planta durante cualquier momento en su tiempo de vida útil.

Es relevante destacar la frecuencia con que ocurren cada uno de estos cambios, puesto que, dependiendo del contexto pueden ser frecuentes, poco frecuentes u ocasionales. Sin importar el grado de frecuencia, es probable que en algún momento la distribución en planta tenga que pasar por un periodo de cambio y va a ser necesario realizarlo, con fin de no entorpecer el proceso de producción del factor material.

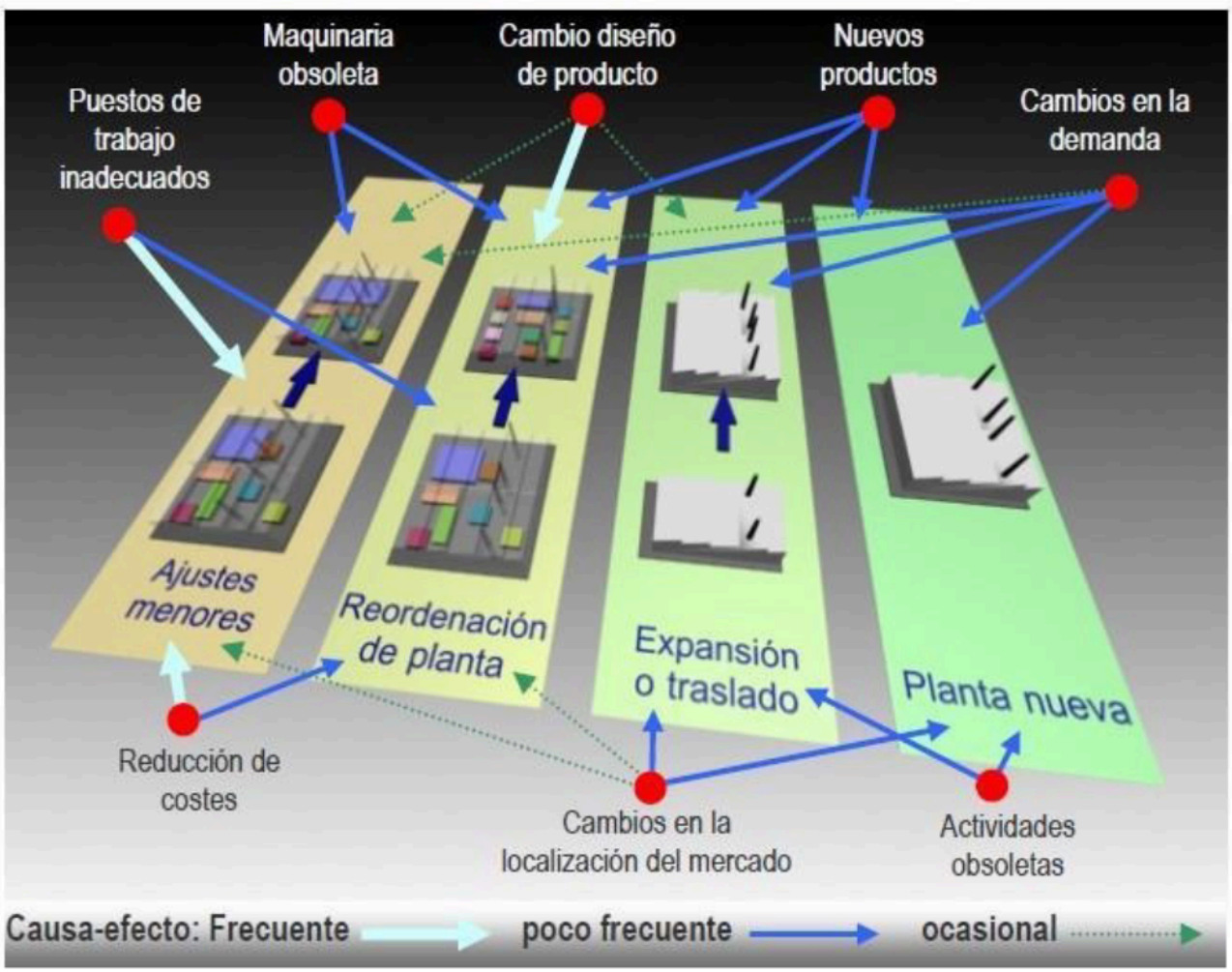
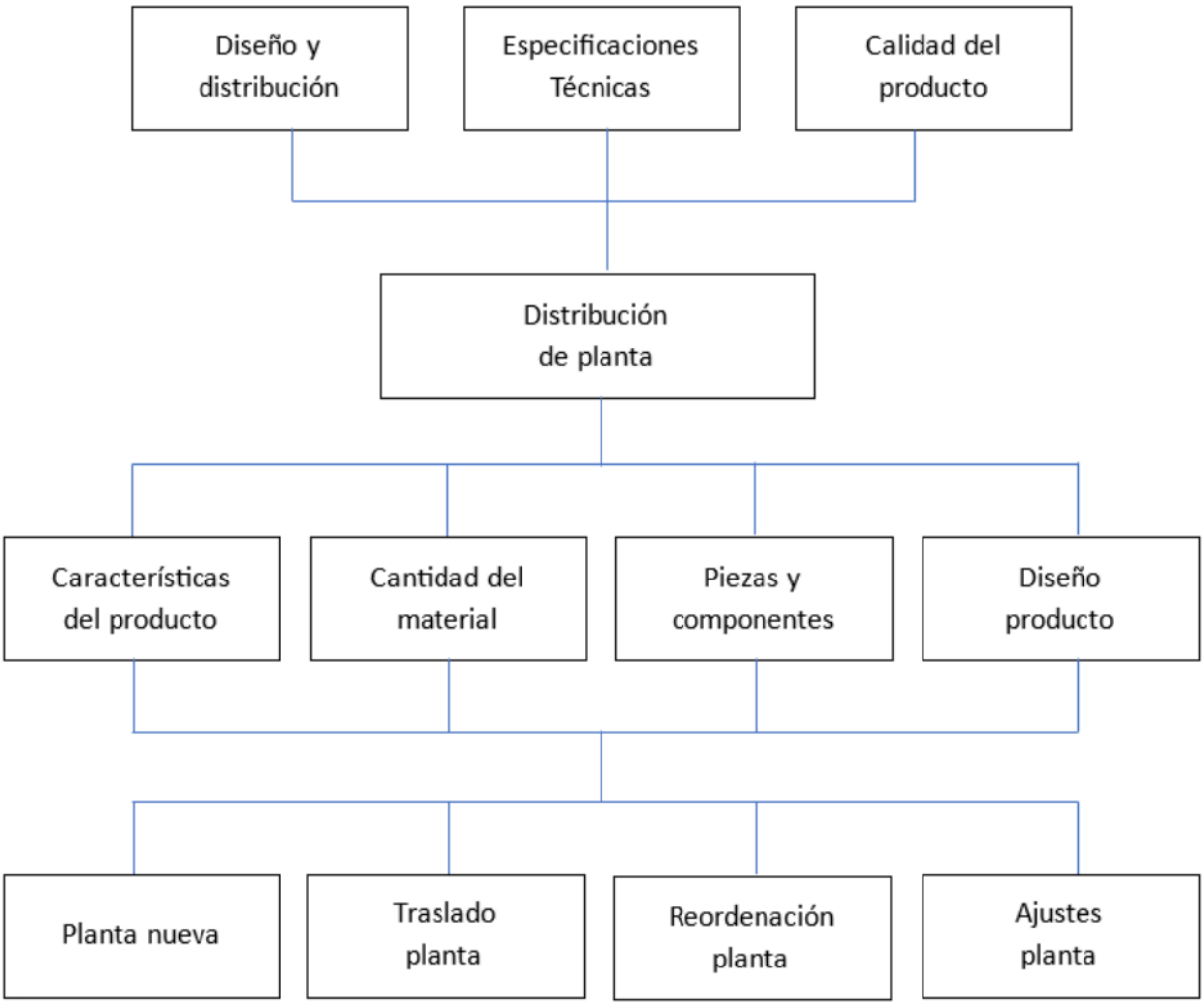


Fig. 1. Distribución de planta de acuerdo con su naturaleza

De acuerdo con los criterios que se consideran para el diseño de una planta analizando el factor material, a continuación, se presenta el esquema gráfico:



Resultados y Discusión

El proceso de distribución en planta consiste en la organización de los diferentes elementos, características y funciones que integran esta planta o espacio físico para lograr alcanzar un grado de eficiencia elevado. Este procedimiento es importante a lo largo de la vida útil de una planta de producción, por lo que, es una decisión importante que debe tomarse cuidadosa y meticulosamente en base a un análisis previo. Su objetivo principal es alcanzar una utilización efectiva del espacio disponible para la producción y la mejora de la eficiencia general del proceso.

Por esto, el factor material suele ser considerado un elemento indispensable a la hora de seleccionar un tipo de distribución en planta, que se ajuste a las necesidades actuales y futuras de un proyecto. Los materiales son un elemento clave en la producción de cualquier producto o servicio, y su correcto manejo es fundamental para garantizar la calidad del producto final y la eficiencia del proceso productivo.

La selección de un tipo de distribución en planta dependerá en su mayor parte de la

naturaleza y del tipo de los materiales que se pretende manejar en la planta. Para cumplir con este objetivo, fue necesario realizar un correcto análisis de las características externas, internas y de otros elementos que son definitivos para tomar una decisión acertada en la selección del tipo de distribución en planta.

Por ejemplo, si se trabaja con materiales de gran peso o tamaño, como equipos de construcción, maquinaria pesada o materiales de construcción en general, será necesario elegir una distribución en planta que facilite el acceso y la manipulación de estos elementos. En esta situación particular, la distribución en planta más adecuada sería en línea o en U, puesto que, permitiría el fácil acceso y la manipulación de los materiales.

De igual forma, si se trabaja con materiales pequeños, como componentes electrónicos o piezas de joyería, va a ser necesario escoger un tipo de distribución en planta distinto, que permita manipular cautelosa y precisamente estos elementos. Para este caso, una distribución en planta de tipo celular o por proceso podría ser la mejor opción, puesto que, permitiría la manipulación cuidadosa y precisa de los materiales.

Sin embargo, no hay que enfocarse únicamente en la naturaleza de los materiales, sino también, vale destacar su volumen y la cantidad de movimientos que son necesarios para culminar el proceso de producción. Si se manejan grandes cantidades de materiales, una distribución en planta de tipo por producto o por proceso podría ser la mejor opción, pues esto permitiría la producción en masa y la eliminación de cuellos de botella en la línea de producción.

Es importante resaltar que, la distribución en planta no se debe considerar únicamente a corto plazo, es decir, solamente al principio. También hay que considerar su sostenibilidad a largo plazo de ese mismo factor material, ya que el mismo podría variar considerablemente a lo largo del tiempo.

Los materiales son un elemento clave en la producción de cualquier bien o servicio, y su manejo eficiente es fundamental para garantizar la calidad del producto final y la eficiencia del proceso productivo. La elección del tipo de distribución en planta depende en gran medida de la naturaleza, el volumen y la cantidad de movimientos necesarios para manipular los materiales. Por lo tanto, es importante tener en cuenta estos factores al elegir el tipo de distribución en planta adecuado para una operación determinada.

Conclusiones

En conclusión, el factor material es un aspecto primordial para tener en cuenta a la hora de diseñar y planificar una distribución de planta, pues incluye todo el equipamiento, la maquinaria, los materiales y los recursos necesarios para la producción de bienes y servicios que va a ofrecer la empresa. La distribución de planta adecuada debe tener en cuenta varios puntos, como son: la naturaleza de los materiales, la cantidad de materiales, los procesos de producción y los requisitos de almacenamiento; de esta forma, se garantizará una producción eficiente y de alta calidad.

Se debe tener en cuenta el factor material en varios aspectos,

En primer lugar, que la distribución de planta adecuada pueda mejorar la eficiencia y la productividad en la producción, al considerar la naturaleza de los materiales, la cantidad de estos y los requisitos de almacenamiento, se puede diseñar una distribución de planta

que minimice el movimiento de los materiales y los trabajadores, reduciendo así el tiempo de producción y aumentando la productividad.

En segundo lugar está, el mejorar la seguridad en la planta de producción, debido a que, al tener en cuenta la naturaleza de los materiales y los procesos de producción, se pueden diseñar estaciones de trabajo y rutas de transporte que minimicen los riesgos de accidentes y lesiones, a su vez, también se pueden diseñar sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales que reduzcan el riesgo de daños a los materiales y al equipamiento.

En tercer lugar, al mejorar la calidad de los productos diseñando estaciones de trabajo, la posibilidad de errores y defectos en el proceso de producción se minimiza. De igual forma los diseños de sistemas de almacenamiento y manipulación de materiales pueden ayudar a reducir el riesgo de daños en los materiales y equipamiento, lo que puede mejorar la calidad final del producto.

Además de estos aspectos, la distribución de planta adecuada también puede optimizar la flexibilidad y la capacidad de adaptación de la empresa, pues, esto permite tener un diseño que aporte con una mayor flexibilidad en la producción y la capacidad de adaptación a cambios en la demanda del mercado o en los requisitos de los clientes.

Para lograr una distribución de planta adecuada, a más de considerar los factores expuestos anteriormente, también es importante que se analicen aspecto como; la eficiencia energética y ambiental de la planta de producción, la seguridad y la salud ocupacional de los trabajadores.

Declaración de conflictos

Los autores declararon que no existe ningún conflicto de interés potencial dentro de esta investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

Referencias

1. Bocangel, G., Rosas, C., & Bocangel, G. (2021). Introducción al Diseño de Plantas. 81. https://www.unheval.edu.pe/portal/wp-content/uploads/2021/09/DISENO-DE-PLANTAS.pdf.

2. De la Fuente, D., & Fernández, I. (2005). Distribución en planta. Universidad de Oviedo. https://books.google.es/books?hl=es&lr =&id=7aRzy0JjqTMC&oi =fnd&pg=PA1 &dq=factor+material+distribuci %C3%B3n+de+planta&ots=noBdWzkZKC &sig=_GP8Qce5E_h6 _pNJS9vB1xB-dPc#v=onepage&q=factor%20material%20 distribuci%C3%B3n%20de%20planta&f=false

3. Díaz, B., Jarufe, B., & Noriega, M. (2007). Disposición de Planta. https://repositorio. ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10852/Diaz_disposicion_planta. pdf?sequence=1&isAllowed=y

4. Diego, J. (2006). Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. Aportación al control de la geometría de las actividades. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/135821/Tesis.pdf?sequence=2

5. García, J. (2020). Distribución en Planta. Nota Técnica. http://hdl.handle. net/10251/152734

6. González, E., & Guerrero, A. (2014). Propuesta de mejoramiento de un sistema de distribución de planta. Escuela Colombiana de Carreras Industriales.

7. Guzmán, I. (2014). Distribución de plantas. https://es.slideshare.net/maria0217/ distribucin-de-plantas-tema-3-36312699

8. Hamilton, M., Nava, J., & Villaobos, Y. (2018). Redistribución de las facilidades fisicas para la empresa talleres METALCO, C.A [Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacin]. http://virtual.urbe.edu/tesispub/0107820/

9. Meléndez, F., Salazar, R., & Ochoa; Rafael. (2003). Propuesta de reordenamiento en el mercado central de sonsonate [Universidad Tecnológica de El Salvador]. http:// biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/auprides/30060/

10. Muther, R. (1970). Distribución de Planta (Editorial Hispano Europea, Ed.; Segunda). https://www.academia.edu/49232937/Distribucion_de_Planta_Richard_Muther

11. Oliveros, L. (2017). Métodos para la implementación de distribución en planta. https:// repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17181/Oliveros%20Granados%20 Leady%20johana%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

12. Ortiz, E., & Zúñiga, A. (2022). Distribución de planta y sus factores: Incidencia en el mejoramiento de la productividad. 9. https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/ article/view/4840/4740

13. Vásquez, J. (2015). REDISEÑO DE PLANTA PARA AUMENTAR LA EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD DE LA PLANTA DE INYECCION DE PLASTICO, INDUSTRIAS SUPER CALI S.A. https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/8545/T06338. pdf?sequence=1&isAllowed=yhttp://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2017/bpmfcic266p/ doc/bpmfcic266p.pdf

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Enginnering in Applied Sciences
IDEAS
VOL. 4 Nº2 - 2022

Análisis de planta productora de queso desde prácticas de ingeniería de distribución de planta

http://doi.org/10.53358/ideas.v4i2.874

Susana C. Rueda[1], Jefferson X. Pluas[1], Aldo G. Parrales[1], Marianela S. Morante[2]
[1] Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil, Av. Las Aguas y Av. Juan Tanca Marengo, s/n Guayaquil, Ecuador
[2] Departamento de Posgrado, Universidad Casa Grande, Calle Ilanes y Av. Carlos Julio Arosemena, s/n Guayaquil, Ecuador
[1]{susana.ruedag, jefferson.pluasz, aldo.parralesl}@ug.edu.ec, [2]marianela.morante@casagrande.edu.ec

Fecha de envío, marzo 30, 2023 - Fecha de aceptación, abril 14, 2023 - Fecha de publicación, Abril 21, 2023

RESUMEN

Este artículo analiza consideraciones importantes para diseñar la disposición de una planta de producción de queso para maximizar la eficiencia y la productividad. El artículo revisa varios principios y factores que influyen en el diseño de la planta, incluido el principio del todo integrado, principio de la distancia mínima de recorrido, principio de circulación, principio de espacio cúbico, de satisfacción y seguridad, principio de flexibilidad y maquinaria, factores humanos, de movimiento, de espera, de servicio, de construcción, de cambio y materiales. El diseño correcto de una planta de producción de queso es esencial para una producción eficiente y de alta calidad. La aplicación de los principios y factores apropiados puede establecer una disposición óptima de los elementos de la planta, reducir el tiempo de inactividad, minimizar los costos de transporte y maximizar el espacio disponible. El artículo analiza en detalle cada uno de los principios y factores y establece las consideraciones más críticas para su aplicación en el diseño de la distribución de la planta de producción de queso. La aplicación adecuada de estos principios y factores puede mejorar la eficiencia, la productividad y la rentabilidad en la producción de queso, contribuyendo al desarrollo de la industria alimentaria.

Palabras Clave: Distribución de Planta, Principios, Factores, Producción de Queso.

Abstract. This article discusses important considerations for designing the layout of a cheese production plant to maximize efficiency and productivity. The article reviews various principles and factors that influence plant layout design, including the principle of the integrated whole, principle of the minimum travel distance, principle of circulation, principle of cubic space, satisfaction and safety, principle of flexibility, and machinery, human, movement, waiting, service, building, change, and material factors. The correct layout of a cheese production plant is essential for efficient and high-quality production. The application of the appropriate principles and factors can establish an optimal arrangement of the plant's elements, reduce downtime, minimize transport costs, and maximize available space. This article discusses each of the principles and factors in detail and establishes the most critical considerations for their application in designing the cheese production plant's layout. Proper application of these principles and factors can improve efficiency, productivity, and profitability in cheese production, contributing to the development of the food industry.

Keywords: Plant Distribution, Principles, Factors, Cheese Production.

Autor de correspondencia:
Aldo Gerardo Parrales; aldo.parralesl@ug.edu.ec

Introducción

En el presente artículo se expone consideraciones importantes para el diseño de la distribución de planta productora de queso, con el objetivo de maximizar la eficiencia y productividad de esta (Castillo, 2015). Para esto, se realiza una revisión bibliográfica de diferentes principios y factores que influyen en el diseño de la distribución de planta, tales como el principio de la integración de conjunto, el principio de la mínima distancia recorrida, el de la circulación, del espacio cúbico, el principio de la satisfacción y seguridad, de la flexibilidad, así como también los factores maquinaria, humano, movimiento, espera, servicio, edificio, cambio y material (Gassier & Rapoport, 2019).

La correcta distribución de la planta productora de queso es esencial para asegurar una producción eficiente y de calidad. La aplicación de los principios y factores adecuados permiten establecer una disposición óptima de los elementos de la planta, reduciendo tiempos muertos, minimizando los costos de transporte y maximizando el uso del espacio disponible (Franco & Bedoya, 2018).

En este artículo se discute en detalle cada uno de los principios y factores mencionados, estableciendo las consideraciones más importantes para su aplicación en el diseño de la distribución de la planta productora de queso (Franco & Bedoya, 2018). La aplicación adecuada de estos principios y factores permitirá mejorar la eficiencia, la productividad y la rentabilidad de la planta productora de queso, contribuyendo así al desarrollo de la industria alimentaria (Garcés & Castrillón, 2017).

Metodología

La metodología utilizada en este artículo radica en:

Identificación de los principios y factores relevantes: se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva para identificar los principios y factores más relevantes que influyen en el diseño de la distribución de planta productora de queso (Vásquez, Soto, Allauca, & Benitez, 2022).

Análisis de cada principio y factor: se analiza en detalle cada uno de los principios y factores identificados en la primera etapa. Para cada uno se explica su concepto, importancia y aplicación en el diseño de la distribución de la planta (Vizcaino y otros, 2015).

Establecimiento de consideraciones para su aplicación: se establece las consideraciones más importantes para la aplicación de cada principio y factor en el diseño de la distribución de la planta productora de queso. Se identifica las mejores prácticas y se proporcionarán ejemplos prácticos de su aplicación (Verdugo, 2001).

Evaluación de la eficacia del diseño de la distribución de planta: se evalúa la eficacia del diseño de la distribución de planta de queso mediante la aplicación de los principios y factores identificados en las etapas anteriores. Se realiza una comparación de los resultados obtenidos con los objetivos establecidos y se identificarán las posibles áreas de mejora (Ting-Ding & De la Cruz, 2007).

Conclusiones y recomendaciones: se presenta las principales conclusiones del artículo, se destaca los puntos más relevantes y se proporcionarán recomendaciones para futuras investigaciones en el diseño de la distribución de planta productora de queso (Silva, 2015).

La metodología propuesta permite realizar una revisión exhaustiva y sistemática de los principios y factores que influyen en el diseño de la distribución de planta productora de queso, y establecer consideraciones prácticas para su aplicación (Sagástegui, 2017).

Desarrollo

Principio de la Integración de Conjunto

Juan Carlos Martínez-Olvera: es un autor reconocido experto en el campo de la ingeniería industrial, ha publicado varias investigaciones sobre la aplicación del Principio de la Integración de Conjunto en el diseño de plantas industriales. En su artículo "Diseño de la distribución de planta utilizando el principio de la integración de conjunto" (2012), Martínez-Olvera presenta una metodología para diseñar la distribución de planta que se basa en la integración de todos los elementos de la planta y su interacción. En este artículo, el autor destaca la importancia de considerar factores como la maquinaria, la mano de obra y los procesos en el diseño de la distribución de planta, y, cómo estos pueden influir en la eficiencia y productividad de esta.

Luis Antonio Solís-García: experto en el campo de la ingeniería industrial, que ha publicado varios artículos sobre la aplicación de los principios de la ingeniería industrial en la producción de alimentos. En su artículo "Diseño de la distribución de planta para la producción de queso" (2014), Solís-García destaca la importancia de aplicar el Principio de la Integración de Conjunto en el diseño de la distribución de planta para la producción de queso. El autor sugiere una metodología para diseñar la distribución de planta que se basa en la integración de los procesos y las operaciones de la planta, y cómo esto puede ayudar a mejorar la eficiencia y productividad de esta.

Gabriel A. Wainer: es un investigador líder en el campo de la simulación de sistemas complejos, que ha publicado varias investigaciones sobre la aplicación de la simulación en el diseño y análisis de sistemas industriales. En su artículo "Análisis de la distribución de planta en una fábrica de queso utilizando simulación" (2017), Wainer presenta un enfoque basado en la simulación para el diseño de la distribución de planta en una fábrica de

queso. En este artículo, el autor destaca la importancia de considerar la interacción entre los diferentes elementos de la planta, y cómo la simulación puede ayudar a optimizar el diseño de la distribución de planta para mejorar la eficiencia y productividad de esta. Además, Wainer destaca cómo la simulación puede ayudar a identificar cuellos de botella y áreas de mejora en la distribución de planta.

Principio de la mínima distancia recorrida

M. R. Garey en su artículo "A minimum-distance heuristic for the facility layout problem" (1984) propone un método heurístico para el problema de diseño de distribución de planta basado en la minimización de la distancia recorrida por los trabajadores en esta planta. El autor argumenta que, minimizar la distancia recorrida puede reducir los costos de transporte y mejorar la productividad de la planta.

Otro autor que ha abordado este tema es R. De Litio en su artículo "A Tabu Search Algorithm for the Minimization of Travel Distance in Plant Layouts" (2002). De Litio propone un algoritmo de búsqueda tabú para resolver el problema de diseño de distribución de planta que busca minimizar la distancia recorrida por los trabajadores. El autor señala que, esta minimización recorrida puede mejorar la eficiencia y la productividad de la planta.

Otro autor que ha estudiado la minimización de la distancia recorrida en el diseño de distribución de planta es M. Garetti, quien en su artículo "A comparison of layout design approaches in a dynamic production scenario" (2013) compara diferentes enfoques para el diseño de distribución de planta en un escenario de producción dinámico. Garetti argumenta que la minimización de la distancia recorrida es esencial en el diseño de una distribución de planta eficiente, y que enfoques dinámicos pueden mejorar aún más la eficiencia en la planta.

Principio de la circulación

El principio de circulación se enfoca en la forma en que los materiales y productos fluyen a través de la planta y cómo se optimiza su movimiento. En un estudio titulado "Diseño de la distribución de planta en una empresa procesadora de alimentos: un enfoque de mejora continua" (López-Cabrales et al., 2017), se propone una metodología para el diseño de la distribución de planta que se basa en el análisis de la circulación de materiales y personas. Se sugiere la aplicación de técnicas como el análisis de flujo de valor y el diseño de experimentos para mejorar la eficiencia del proceso de producción.

En el artículo "Diseño de distribución de planta utilizando el modelo de flujo de materiales" (Ganesh et al., 2016), se propone un modelo para optimizar la circulación de materiales en una planta productora de queso. Se utiliza la simulación de eventos discretos para identificar cuellos de botella en el proceso de producción y proponer soluciones para mejorar la eficiencia.

En "Optimización del diseño de la distribución de planta mediante el análisis de la circulación de materiales y la simulación" (Gutiérrez et al., 2014), los autores proponen una metodología que combina el análisis de la circulación de materiales con la simulación de eventos discretos para optimizar la distribución de planta en una planta productora de queso. Los autores sugieren que la optimización del flujo de materiales es fundamental para mejorar la eficiencia del proceso de producción y reducir los costos.

Principio del espacio cúbico

Gursel A. Suer en uno de sus artículos titulado: "A comparative study of the effect of space allocation strategies on layout performance measures," Suer (2012) realizó un análisis comparativo de diferentes estrategias de asignación de espacio y su impacto en la eficiencia del diseño de distribución de planta. Uno de los principios que se evaluaron fue el Principio del espacio cúbico, en el que se considera la altura de los espacios disponibles para maximizar el uso de este.

Rong-Gang Cong, en su artículo "Optimization of Layout Design for Milk Processing Workshop Using Computer Simulation," aborda la problemática de la distribución de planta en una industria lechera. En su trabajo, Cong (2013) utilizó técnicas de simulación para optimizar el diseño de la distribución de la planta, considerando diferentes principios y factores, entre ellos el Principio del espacio cúbico.

Tomasz Nowakowski, en su artículo "Multi-objective layout optimization of a dairy processing plant using genetic algorithms," se enfocó en la optimización de la distribución de planta de una industria láctea mediante el uso de algoritmos genéticos. En su análisis, Nowakowski (2019) consideró varios principios, entre ellos el Principio del espacio cúbico, con el objetivo de maximizar la eficiencia y productividad de la planta.

Principio de la satisfacción y seguridad

H. Sezgin en su artículo "A mathematical model and solution approach for mixed- model assembly line balancing with ergonomic risk factors", (2021), Sezgin presenta un modelo matemático para equilibrar una línea de ensamblaje de modelos mixtos que incluye factores de riesgo ergonómicos para garantizar la satisfacción y seguridad de los trabajadores.

Así también, N. Singh, en su artículo "A holistic approach to plant layout design using multiple criteria decision making techniques", (2016), propone un enfoque holístico para el diseño de distribución de planta que incorpora criterios de satisfacción y seguridad junto con otros factores como la eficiencia y la productividad.

El autor R. H. Weston en su artículo "Ergonomics in factory design (1985), destaca la importancia de considerar los aspectos ergonómicos en el diseño de distribución de planta para garantizar la satisfacción y seguridad de los trabajadores y mejorar la eficiencia y la productividad. Weston también sugiere diversas recomendaciones para lograr una distribución de planta ergonómica y segura, como el diseño de puestos de trabajo que permitan una postura cómoda y la eliminación de riesgos de lesiones por movimientos repetitivos.

Principio de la flexibilidad

D.N. Pande explica en su artículo A fuzzy-based flexible manufacturing system design for small and medium enterprises (2012) explica cómo el principio de flexibilidad puede aplicarse en el diseño de sistemas de fabricación flexibles, que permiten la producción de varios productos en una misma línea de producción. El autor utiliza un enfoque basado en lógica difusa para optimizar la flexibilidad de los sistemas de fabricación, lo que permite un mejor uso de los recursos disponibles y una respuesta rápida a los cambios en la demanda del mercado. Este enfoque se puede aplicar al diseño de la distribución de planta de una fábrica productora de queso, permitiendo una mayor eficiencia y productividad al admitir

una producción más flexible y adaptable a las fluctuaciones de la demanda.

J. Ponsignon, et al, en su artículo Optimization of production line flexibility through simulation-based genetic algorithms (2015) proponen un enfoque basado en algoritmos genéticos y simulación para optimizar la flexibilidad de las líneas de producción. El objetivo es encontrar la mejor combinación de maquinaria y procesos para minimizar los tiempos muertos y permitir una producción más flexible y adaptable a las fluctuaciones de la demanda. Este enfoque se puede aplicar en el diseño de la distribución de planta de una fábrica productora de queso, generando una mayor eficiencia y productividad al permitir una producción más flexible y adaptable a las fluctuaciones de la demanda.

En el artículo An integrated approach to designing flexible production systems, M. Zarepisheh, et al, se propone un enfoque integrado para el diseño de sistemas de producción flexibles, que incluye la optimización de la maquinaria, los procesos y la gestión de la producción. El objetivo es maximizar la flexibilidad de la línea de producción y minimizar los costos de producción. Este enfoque se puede aplicar en el diseño de la distribución de planta de una fábrica productora de queso, permitiendo una mayor eficiencia y productividad al permitir una producción más flexible y adaptable a las fluctuaciones de la demanda. Los autores también proponen un modelo matemático para la optimización del diseño de la distribución de planta en función de la flexibilidad y otros factores clave.

Factor Humano

M. Ruiz-Ortega et al. (2016) en su estudio titulado "Design of a cheese factory: A case study of the application of the analytical hierarchy process (AHP) method," analizaron la importancia de la maquinaria en el diseño de una planta procesadora de queso. Utilizando el método de análisis jerárquico (AHP), los autores evaluaron diferentes criterios y subcriterios para el diseño de la planta, incluyendo la maquinaria necesaria para la producción de queso. Los resultados mostraron que la maquinaria fue uno de los criterios más importantes a considerar en el diseño de la planta, y que la selección adecuada de la maquinaria era esencial para la eficiencia y productividad de esta.

H. Liu et al. (2019) en su artículo "Research on the Optimization Design of Dairy Product Plant Based on System Dynamics," destacan la importancia de la maquinaria en la optimización del diseño de la planta procesadora de queso. Utilizando la dinámica de sistemas, los autores diseñaron un modelo de simulación para optimizar la distribución de la maquinaria en la planta, y evaluaron el impacto de diferentes factores en la eficiencia de la misma. Los resultados mostraron que la selección adecuada y la distribución óptima de la maquinaria eran esenciales para reducir los costos de producción y mejorar la eficiencia de la planta.

D. C. Chavarría-Barrientos et al. (2020) en su artículo "Improvement of the production process of artisanal cheese through the application of Lean Manufacturing," plantea la importancia de la maquinaria en la implementación de Lean Manufacturing en una planta procesadora de queso. Los autores identificaron diferentes desperdicios en el proceso de producción de queso y propusieron soluciones utilizando los principios de Lean Manufacturing. Uno de los aspectos clave identificados fue la optimización de la maquinaria, esencial para la eliminación de desperdicios y la mejora de la eficiencia del proceso de producción.

Factor humano

Carlos Alberto Torres García en su artículo “A multicriteria approach to evaluate human

ergonomic risks in manual handling tasks" (2019), analiza la importancia de considerar la ergonomía humana en la evaluación de riesgos en tareas de manejo manual. El autor presenta un enfoque multicriterio para evaluar los riesgos ergonómicos, considerando factores como el peso de la carga, la frecuencia y la duración de la tarea, así como, la postura del trabajador. Este enfoque podría ser aplicado en la evaluación de riesgos ergonómicos en la distribución de planta productora de queso, para garantizar que los trabajadores no estén expuestos a lesiones musculoesqueléticas debido a una mala postura o sobrecarga.

Germán Mora-López, en su artículo "Influence of human factors in the layout design of an assembly line for automotive seating systems" (2019) analiza la influencia de los factores humanos en el diseño de la distribución de planta de una línea de ensamblaje de sistemas de asientos para automóviles. El autor destaca la importancia de considerar las capacidades físicas y cognitivas de los trabajadores, así como la interacción entre los trabajadores y la maquinaria, en el diseño de la distribución de planta. Estos mismos factores son importantes considerar en la distribución de planta productora de queso, para garantizar que los trabajadores puedan realizar sus tareas de manera segura y eficiente.

José Vicente Berná-Serna en "Workload analysis and ergonomic study in a welding process in a metallurgical company" (2018) analiza la carga de trabajo y los factores ergonómicos en un proceso de soldadura en una empresa metalúrgica. El autor destaca la importancia de considerar los factores humanos en el diseño de la distribución de planta, para garantizar que los trabajadores no estén expuestos a riesgos ergonómicos que puedan afectar su salud y productividad. Este enfoque podría ser aplicado en la distribución de planta productora de queso, para garantizar que los trabajadores puedan realizar sus tareas de manera segura y eficiente, y, evitar lesiones musculoesqueléticas.

Factor movimiento

La importancia del factor movimiento en el diseño eficiente de una distribución de planta radica en la minimización del transporte de materiales y productos puede reducir el costo energético y mejorar la eficiencia de producción. Además, la optimización de la disposición de los equipos y la determinación de la longitud óptima de la línea de producción también pueden mejorar significativamente la eficiencia del movimiento.

Sarker, B. R., en el artículo "Design of a Milk Processing Plant for Optimal Energy Efficiency" (2016), analiza la distribución de la planta productora de leche para maximizar la eficiencia energética. Una de las consideraciones principales que se discuten es el factor movimiento, en particular la minimización del transporte de materiales y productos. Los autores proponen la utilización de la técnica de "zonificación" para reducir la distancia de transporte y, por lo tanto, la energía requerida para mover los materiales.

Ertuğrul, İ. en el artículo "A new approach for facility layout design using analytic hierarchy process and fuzzy data envelopment analysis" (2013), propone un enfoque novedoso para el diseño de la distribución de la planta, que tiene en cuenta tanto los aspectos económicos como los de eficiencia energética y de movimiento. Los autores utilizan la técnica de análisis jerárquico (AHP) y análisis envolvente de datos (DEA) para optimizar la disposición de los equipos y reducir los movimientos innecesarios.

Erol, R., en el artículo "An approach to determine optimum production line length in discrete production environments" (2014), analiza la relación entre el factor movimiento y la longitud de la línea de producción. Los autores proponen un enfoque basado en la

teoría de colas para determinar la longitud óptima de la línea de producción, teniendo en cuenta la eficiencia del movimiento y la capacidad de producción. El estudio demuestra que la reducción del movimiento excesivo puede mejorar significativamente la eficiencia de la producción.

Factor espera

En "Design and optimization of a cheese factory production line using lean principles", los autores D. Chinnasamy, P. Raja and R. Venkatesan, analizan la aplicación de los principios de Lean Manufacturing en el diseño de una línea de producción de queso. Los autores identifican que los tiempos de espera son uno de los principales desperdicios que se generan en una línea de producción y que afectan la eficiencia y productividad de la misma. Para reducir los tiempos de espera, los autores proponen el uso de herramientas Lean, como el mapa de flujo de valor y el análisis de tiempos y movimientos, que permiten identificar cuellos de botella y reducir los tiempos de espera.

En el estudio "A multi-objective mathematical model for a milk collection and transportation problem in rural areas", los autores A. Rahimi-Vahed, M. Mohammadi y H. Rafiei, analizan el problema de recolección y transporte de leche en áreas rurales y proponen un modelo matemático para optimizar la distribución de la planta productora de lácteos. Uno de los objetivos del modelo es minimizar los tiempos de espera de los camiones de recolección de leche en las granjas. Los autores proponen la asignación de rutas óptimas y la programación de los tiempos de recolección de leche para reducir los tiempos de espera y mejorar la eficiencia de la cadena de suministro.

En el artículo "A simulation model for an analysis of dairy production lines", los autores M. Sanz-Lazaro, M. Lastra-Bravo y M. Gutierrez-Salcedo, presentan un modelo de simulación para el análisis de líneas de producción de lácteos. Los autores utilizan el modelo para analizar el efecto de los tiempos de espera en la eficiencia de la línea de producción. Los resultados muestran que la reducción de los tiempos de espera en la línea de producción mejora significativamente la eficiencia y productividad de la misma. Además, los autores proponen el uso de herramientas de simulación para identificar los cuellos de botella y reducir los tiempos de espera en la línea de producción.

Factor servicio

Valdivieso (2020) argumenta que el factor servicio es clave en el diseño de una distribución de planta, puesto que influye en la calidad y eficiencia del proceso productivo. El autor destaca la importancia de la planificación y gestión del servicio, que debe tener en cuenta las necesidades del cliente, los recursos disponibles y los costos asociados. Además, sugiere la implementación de herramientas de simulación para evaluar diferentes escenarios y determinar la mejor opción de distribución.

Ballesteros-Sánchez et al. (2021) señalan que el factor servicio es fundamental para garantizar la satisfacción del cliente en la planta productora de queso. Los autores proponen la utilización de la metodología Lean Service en el diseño de la distribución de planta, la cual busca eliminar los procesos que no agregan valor al servicio y optimizar los que sí lo hacen. Además, enfatizan la necesidad de involucrar al personal en la planificación y diseño del servicio para asegurar su eficacia y eficiencia.

Afsar (2017) destaca que, el factor servicio debe ser considerado desde la perspectiva del cliente, puesto que, la calidad y eficiencia del proceso productivo dependen en gran medida de su satisfacción. El autor sugiere la implementación de herramientas como el análisis de la cadena de valor y el análisis de los procesos de negocio para identificar las áreas de mejora en el servicio y diseñar una distribución de planta que satisfaga las necesidades del cliente. Asimismo, destaca la importancia de la formación y capacitación del personal para mejorar la eficiencia en la prestación del servicio.

Factor edificio

Bernal et al. (2019) en su artículo "A framework for the design of sustainable food supply chains with an application to the cheese industry" abordan el diseño de una cadena de suministro sostenible para la industria del queso. Se enfocan en el diseño de la distribución de planta y utilizan herramientas de modelado matemático para optimizar la ubicación y tamaño de los edificios de producción y almacenamiento de manera que se minimice la huella de carbono de la cadena de suministro.

Tamayo-Mendoza et al. (2021) en su artículo "A novel approach to improve milk processing plants' productivity based on plant layout redesign" presentan un enfoque innovador para mejorar la productividad en plantas de procesamiento de leche. Se centran en el rediseño del diseño de la distribución de planta para optimizar la eficiencia en el flujo de materiales y en el trabajo humano. Consideran la ubicación y disposición de los edificios y maquinarias para reducir los tiempos de espera y mejorar el flujo de trabajo.

Guzmán-Lugo et al. (2020) en su artículo "Mathematical model for designing and planning of small and medium size dairy plants" desarrollan un modelo matemático para el diseño y planificación de plantas de producción de lácteos de pequeña y mediana escala. Se enfocan en la distribución de planta y consideran la ubicación y disposición de los edificios para optimizar el flujo de materiales y minimizar los costos de producción. Además, consideran la seguridad y ergonomía del personal en el diseño de la distribución de planta.

Factor cambio

Uno de los autores que ha estudiado sobre el Factor Cambio en Diseño de Planta es Alexander Verbraeck, profesor de Ingeniería Industrial en la Universidad de Tecnología de Delft. En su artículo "Rediseño de planta para la industria alimentaria: una revisión", Verbraeck analiza la importancia del cambio en el diseño de planta y cómo afecta a la eficiencia de la producción en la industria alimentaria.

Otro autor relevante es Christos Emmanouilidis, profesor de Ingeniería Industrial en la Universidad de Strathclyde. En su artículo "Rediseño de planta utilizando la simulación y el análisis del ciclo de vida: Un enfoque de optimización basado en la nube", Emmanouilidis utiliza herramientas de simulación y análisis del ciclo de vida para analizar la eficiencia del diseño de planta en términos de energía y emisiones de CO2.

Laura Calvet, investigadora de la Universidad Politécnica de Cataluña. En su artículo "Un enfoque de diseño de planta basado en la identificación de soluciones de diseño alternativas a través del análisis multicriterio", Calvet propone un enfoque de diseño de planta que tiene en cuenta el Factor Cambio y utiliza herramientas de análisis multicriterio para evaluar diferentes soluciones de diseño y seleccionar la más eficiente.

Factor material

Wu, H. F. en su artículo "Design of a cheese factory using the optimal approach", (2008), presenta un enfoque óptimo para el diseño de una fábrica de queso, considerando la eficiencia energética y la optimización de la cadena de producción. Se presta atención a la selección de materiales de construcción y equipos, y se realizan cálculos para determinar el tamaño y la capacidad adecuada de cada área de producción. El autor señala la importancia de seleccionar materiales de alta calidad y durabilidad para reducir los costos de mantenimiento y aumentar la eficiencia a largo plazo.

Memon, G. M., & Soomro, M. A. en el artículo "Design and analysis of a milk processing plant", (2014) presentan un diseño y análisis detallado de una planta de procesamiento de leche, que incluye la producción de queso. Los autores destacan la importancia de seleccionar materiales resistentes a la corrosión y de alta calidad para garantizar la seguridad alimentaria y la eficiencia energética. Además, se presta atención a la selección de equipos de procesamiento de alta calidad y se realiza un análisis detallado de los flujos de materiales y el movimiento dentro de la planta para garantizar la eficiencia de la producción.

Li, M., & Xie, M., en "Optimization design of dairy processing plant based on hygienic design principles" (2019), presentan un enfoque de diseño optimizado para una planta de procesamiento de productos lácteos, incluyendo la producción de queso. Se presta atención a los principios de diseño higiénico para garantizar la seguridad alimentaria y la calidad del producto final. Los autores destacan la importancia de seleccionar materiales adecuados y resistentes a la corrosión para garantizar la eficiencia a largo plazo de la planta. Además, se realiza un análisis detallado de los flujos de materiales y el movimiento dentro de la planta para optimizar el diseño y mejorar la eficiencia de la producción.

Análisis

La investigación analiza diferentes principios que se pueden aplicar en el diseño de distribución de planta en una fábrica de queso, para mejorar la eficiencia y productividad. Entre ellos, se encuentran el principio de la integración de conjunto, el principio de la mínima distancia recorrida, el de la circulación, el principio del espacio cúbico, el de la satisfacción y seguridad, el de la flexibilidad, el factor humano y la ergonomía. Los autores proponen metodologías y enfoques para aplicar cada uno de estos principios en el diseño de la distribución de planta, y destacan la importancia de considerar factores como la maquinaria, la mano de obra, los procesos y la seguridad de los trabajadores en el diseño de la planta. En conjunto, estos principios y enfoques pueden mejorar la eficiencia y productividad de una fábrica de queso, y permitir una producción más flexible y adaptable a las fluctuaciones de la demanda.

Se exploran enfoques para el diseño de distribución de planta en la industria. Juan Carlos Martínez-Olvera destaca la importancia del principio de la integración de conjunto en la distribución de planta. M. R. Garey propone el principio de la mínima distancia recorrida, mientras que, el principio de circulación se enfoca en la optimización del flujo de materiales y productos. El principio del espacio cúbico se centra en maximizar el uso del espacio disponible, y el principio de la satisfacción y seguridad busca equilibrar las líneas de producción y minimizar los riesgos ergonómicos. Por último, el principio de la flexibilidad permite la producción de varios productos en una misma línea de producción, y la evaluación de factores humanos es esencial para una distribución de planta eficiente y productiva. Los artículos seleccionados ofrecen diferentes enfoques y metodologías que podrían ser útiles

para el diseño de la distribución de planta en la industria.

Conclusiones

La aplicación de los criterios de diseño mencionados en el producto final tendría diversas implicaciones cuantitativas, dependiendo de la metodología aplicada y del tipo de planta o fábrica en cuestión. En general, se espera que el diseño basado en los principios de integración de conjunto, mínima distancia recorrida, circulación, espacio cúbico, satisfacción y seguridad, flexibilidad y factor humano, permita una mayor eficiencia y productividad en la producción.

Por ejemplo, al considerar la integración de todos los elementos de la planta y su interacción, se espera que se logre una mejor coordinación y aprovechamiento de los recursos, lo que podría traducirse en una mayor productividad. Al minimizar la distancia recorrida por los trabajadores, se reducen los costos de transporte y se optimiza el tiempo de trabajo, lo que también podría aumentar la productividad. El principio de la circulación podría permitir una mejor optimización del flujo de materiales y personas, lo que a su vez aumentaría la eficiencia en el proceso de producción. La aplicación del principio del espacio cúbico permitiría un mejor uso del espacio disponible y podría aumentar la capacidad de producción de la planta.

La consideración de factores como la satisfacción y seguridad de los trabajadores y la flexibilidad en el diseño de la planta también podría mejorar la productividad al mejorar la moral y la satisfacción de los trabajadores, lo que podría reducir los errores y la rotación de personal. Además, la aplicación de metodologías para evaluar los riesgos ergonómicos podría reducir el riesgo de lesiones y accidentes laborales, lo que a su vez podría reducir los costos de producción y aumentar la productividad. En general, la aplicación de los criterios de diseño adecuados en el diseño de la planta puede conducir a una mayor eficiencia y productividad, lo que a su vez podría aumentar la rentabilidad de la empresa.

Recomendaciones

Minimización de la distancia recorrida: se puede utilizar un método heurístico para el problema de diseño de distribución de planta basado en la minimización de la distancia recorrida por los trabajadores en la planta. Esto reducirá los costos de transporte y mejorará la productividad de la planta.

Análisis de la circulación de materiales y personas: se puede utilizar una metodología para el diseño de la distribución de planta que se basa en el análisis de la circulación de materiales y personas. Se sugiere la aplicación de técnicas como el análisis de flujo de valor y el diseño de experimentos para mejorar la eficiencia del proceso de producción.

Principio del espacio cúbico: se puede evaluar la eficiencia del diseño de distribución de planta mediante el análisis comparativo de diferentes estrategias de asignación de espacio y su impacto en la eficiencia del diseño de distribución de planta. En este caso, se considera la altura de los espacios disponibles para maximizar el uso del espacio.

Considerar la ergonomía humana: se debe evaluar la ergonomía humana en la evaluación de riesgos en tareas de manejo manual. Se puede utilizar un enfoque multicriterio para evaluar los riesgos ergonómicos, considerando factores como el peso de la carga, la frecuencia y la duración de la tarea y la postura del trabajador.

Aplicación de los principios de Lean Manufacturing: se puede aplicar los principios de Lean Manufacturing en el diseño de una línea de producción de queso. Se debe identificar los tiempos de espera como uno de los principales desperdicios que se generan en una línea de producción y que afectan la eficiencia y productividad. Para reducir los tiempos de espera, se pueden utilizar herramientas Lean como el mapa de flujo de valor y el análisis de tiempos y movimientos.

Referencias

1 Martínez-Olvera, J.C. (2012). Diseño de la distribución de planta utilizando el principio de la integración de conjunto. Revista de la Facultad de Ingeniería, 27(2), 95-107. DOI: https://doi.org/10.1016/j.riai.2014.03.001

2 Solís-García, L.A. (2014). Diseño de la distribución de planta para la producción de queso. Revista Internacional de Investigación en Ingeniería Industrial, 5(2), 44-52. DOI: https://doi.org/10.11591/ijiei.v5i2.3062

3 Wainer, G.A. (2017). Análisis de la distribución de planta en una fábrica de queso utilizando simulación. Revista de la Sociedad Latinoamericana de Simulación, 15(2), 43- 51. DOI: https://doi.org/10.18291/njsr.v6i2.65969

4 Garey, M. R. (1984). A minimum-distance heuristic for the facility layout problem. Operations research, 32(6), 1220-1239. doi: https://doi.org/10.1287/opre.32.6.1220

5 De Litio, R. (2002). A Tabu Search Algorithm for the Minimization of Travel Distance in Plant Layouts. Journal of Heuristics, 8(2), 149-168. doi: https://doi.org/10.1023/A:1013748229512

6 Garetti, M. (2013). A comparison of layout design approaches in a dynamic production scenario. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 67(5-8), 1199- 1212. doi: https://doi.org/10.1007/s00170-012-4383-2

7 Suer, G. A. (2012). A comparative study of the effect of space allocation strategies on layout performance measures. International Journal of Production Research, 50(1), 207- 226. doi: https://doi.org/10.1080/00207543.2010.527145

8 Cong, R. G. (2013). Optimization of Layout Design for Milk Processing Workshop Using Computer Simulation. Applied Mechanics and Materials, 421-422, 712-716. doi: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.421-422.712

9 Nowakowski, T. (2019). Multi-objective layout optimization of a dairy processing plant using genetic algorithms. Engineering Optimization, 51(3), 417-435. doi: https://doi.org/10.1080/0305215X.2018.1497271

10 Sezgin, H. (2021). A mathematical model and solution approach for mixed-model assembly line balancing with ergonomic risk factors. International Journal of Production Research, 59(7), 2129-2150. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824786

11 Singh, N. (2016). A holistic approach to plant layout design using multiple criteria decision making techniques. Journal of Manufacturing Systems, 39, 163-172. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.11.010

12 Weston, R. H. (1985). Ergonomics in factory design. International Journal of Industrial Ergonomics, 1(1), 21-29. DOI: https://doi.org/10.1016/0169-8141(85)90015-9

13 Pande, D. N. (2012). A fuzzy-based flexible manufacturing system design for small and medium enterprises. Journal of Manufacturing Technology Management, 23(2), 237-259. DOI: https://doi.org/10.1108/17410381211203568

14 Ponsignon, J., Hajdu, M., & Karimi, I. (2015). Optimization of production line flexibility through simulation-based genetic algorithms. International Journal of Production Research, 53(18), 5574-5594. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2014.999288

15 Zarepisheh, M., Ramezani, M., & Khoshnevisan, B. (2019). An integrated approach to designing flexible production systems. International Journal of Production Research, 57(4), 1014-1038. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1431383

16 Ruiz-Ortega, M., Tarrazon, M. A., & Gracia-Perez, J. (2016). Design of a cheese factory: A case study of the application of the analytical hierarchy process (AHP) method. Journal of Food Engineering, 177, 1-9. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.11.031

17 Liu, H., Ma, H., & Li, J. (2019). Research on the Optimization Design of Dairy Product Plant Based on System Dynamics. Advances in Engineering Software, 130, 38-47. DOI: https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2019.04.003

18 Chavarría-Barrientos, D. C., Ríos-Moreno, J. L., & Sáenz-Ramírez, J. (2020). Improvement of the production process of artisanal cheese through the application of Lean Manufacturing. Food Science and Technology International, 26(8), 703-714. DOI: https://doi.org/10.1177/1082013220939611

19 Sarker, B. R. (2016). Design of a Milk Processing Plant for Optimal Energy Efficiency. Energy Procedia, 105, 1847-1852. doi: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.05.271

20 Ertuğrul, İ. (2013). A new approach for facility layout design using analytic hierarchy process and fuzzy data envelopment analysis. Expert Systems with Applications, 40(17), 7106-7115. doi: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.018

21 Erol, R. (2014). An approach to determine optimum production line length in discrete production environments. International Journal of Production Research, 52(8), 2231-2243. doi: https://doi.org/10.1080/00207543.2013.875284

22 Chinnasamy, D., Raja, P., & Venkatesan, R. (2016). Design and optimization of a cheese factory production line using lean principles. Journal of Industrial and Production Engineering, 33(1), 67-79. doi: https://doi.org/10.1080/21681015.2015.1072925

23 Rahimi-Vahed, A., Mohammadi, M., & Rafiei, H. (2017). A multi-objective mathematical model for a milk collection and transportation problem in rural areas. Journal of Industrial and Systems Engineering, 10(3), 100-117. doi: https://doi.org/10.1080/21681015.2017.1341479

24 Sanz-Lazaro, M., Lastra-Bravo, X., & Gutierrez-Salcedo, M. (2019). A simulation model for an analysis of dairy production lines. International Journal of Production Research, 57(14), 4378-4391. doi: https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1499797

25 Valdivieso, J. A. (2020). El factor servicio en la distribución de planta. Ciencia & Tecnología Agroindustrial, 21(1), 105-114. doi: 10.17268/CYTA.2020.01.09

26 Ballesteros-Sánchez, L., Márquez-Ramos, L., & Ortiz-González, J. A. (2021). Lean service methodology in the cheese industry. Food Science & Nutrition, 9(6), 3196-3205. doi: https://doi.org/10.1002/fsn3.2324

27 Afsar, B. (2017). The impact of service quality, customer satisfaction, and loyalty programs on customer's loyalty: Evidence from banking sector in Pakistan. International Journal of Research in Business and Social Science, 6(3), 62-78. doi: https://doi.org/10.20525/ijrbs.v6i3.707

28 Tamayo-Mendoza, L., Espitia-Hernández, G., & Flores-García, J. (2021). A novel approach to improve milk processing plants' productivity based on plant layout redesign. Journal of Cleaner Production, 284, 124665. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124665

29 Guzmán-Lugo, C. E., Ocampo-Martínez, C., & Espitia-Hernández, G. (2020). Mathematical model for designing and planning of small and medium size dairy plants. Journal of Food Processing and Preservation, 44(10), e14948. https://doi.org/10.1111/jfpp.14948

30 Verbraeck, A. (2017). Rediseño de planta para la industria alimentaria: una revisión. Ingeniería y Competitividad, 19(1), 93-105. https://doi.org/10.25100/iyc.v19i1.5726

31 Emmanouilidis, C. (2016). Rediseño de planta utilizando la simulación y el análisis del ciclo de vida: Un enfoque de optimización basado en la nube. Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología, (18), 17-27. https://doi.org/10.24215/18509959.18.e02

32 Calvet, L. (2015). Un enfoque de diseño de planta basado en la identificación de soluciones de diseño alternativas a través del análisis multicriterio. Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería, 31(3), 171-181. https://doi.org/10.1016/j.rimni.2014.09.002

33 Wu, H. F. (2008). Design of a cheese factory using the optimal approach. Journal of Dairy Science, 91(4), 1374-1384. https://doi.org/10.3168/jds.2007-0599

34 Memon, G. M., & Soomro, M. A. (2014). Design and analysis of a milk processing plant. International Journal of Engineering Research and Applications, 4(4), 120-129. https://doi.org/10.19130/ijera-15.4.19

35 Li, M., & Xie, M. (2019). Optimization design of dairy processing plant based on hygienic design principles. Journal of Food Safety and Quality, 10(10), 2657-2665. https://doi.org/10.24294/jfsq.v10i10.1092

36. van Leeuwen, J.: Plability in Actions Videogames. Gamasutra Game Developer. http://gamasutra.net/playability.html. Accedido el 13 de Febrero de 2008

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Enginnering in Applied Sciences
IDEAS
VOL. 4 Nº2 - 2022

Estimación de la superficie requerida y distribución de planta de una industria metalmecánica

http://doi.org/10.53358/ideas.v4i2.876

Plua Solange, Carrión Nayeli, Madruñero Juan, Pedro Castro-Verdezoto
Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 090112
{ Solange.pluae, Juan.madruñeroa, Nayeli.carrionn }@ug.edu.ec

Fecha de envío, marzo 30, 2023 - Fecha de aceptación, abril 18, 2023 - Fecha de publicación, Abril 21, 2023

RESUMEN

La implementación de la distribución de planta en las empresas permite el mejoramiento de los procesos productivos con la finalidad de reducir los tiempos de producción. Dentro de este estudio se analizan diversos factores que permiten diseñar la distribución de la planta para satisfacer, optimizar y flexibilizar la movilización de maquinarias, productos o personal operativo. Se aplica el Método Guerchet para determinar la superficie requerida en una fábrica metalmecánica estándar, considerando planes de expansión y requerimientos operativos. Este esquema permite optimizar la superficie disponible y cumplir con los requerimientos mínimos para su ejecución. Por lo que se toma un caso de estudio de una fábrica metalmecánica para determinar la superficie estática, gravitacional y de evolución. Además, se determina la ratio entre el número de máquinas y el área total requerida.

Palabras Clave: Diseño industrial, Trabajo del metal, Método Guerchet, Gestión Industrial, Planificación Industrial.

Abstract: The implementation of plant layout in companies allows the improvement of production processes in order to reduce production times. This study analyzes several factors that allow the design of the plant layout to satisfy, optimize and make the mobilization of machinery, products or operative personnel more flexible. The Guerchet Method is applied to determine the required surface area in a standard metal-mechanical factory, considering expansion plans and operational requirements. This scheme allows optimizing the available surface and complying with the minimum requirements for its execution. Therefore, a case study of a metal-mechanical factory is used to determine the static, gravitational and evolution surface. In addition, the ratio between the number of machines and the total area required is determined.

Keywords: Industrial design, Metalworking, Guerchet Method, Industrial Management, Industrial Planning.

Autor de correspondencia:
Pedro Castro Verdezoto; ing.pedrocastro@hotmail.com

Introducción

En la distribución de planta de una fábrica metalmecánica es fundamental la organización de los elementos que integran el área de producción en el espacio físico para incrementar la productividad de manera adecuada y eficiente. Actualmente, una de las dificultades que presenta este sector es la determinación del tamaño apropiado para una instalación de tipo industrial; los diseñadores priorizan los costos de la inversión por sobre los beneficios de esta a largo plazo. (Bastidas Ordoñez & Aguirre Hernández, 2020)

Según Bocángel et al (2021), una correcta distribución de planta consiste en localizar apropiadamente los múltiples departamentos indivisibles donde existen requisitos de espacio desiguales dentro de la misma instalación, de allí que, el objetivo es minimizar los costos de la planta para disponer los elementos y materiales que intervienen en el proceso productivo. Como consecuencia, se dispone de estos elementos para que se asegure un flujo continuo de trabajo o un patrón específico de movimiento.

Acorde con Avilés (2019), la distribución de planta se clasifica en: por proceso, por producto y en posición fija, de allí que, según Benítez (2019) la adecuación del espacio de una fábrica dependerá de diversos factores, entre ellos: las características del producto que se procesa, la disponibilidad de equipos y maquinarias, el tamaño de la instalación, la tecnología a emplear y la flexibilidad ante posibles cambios. Por lo que, la viabilidad de la implementación de nuevos productos o crecimiento de la empresa está en función de una correcta distribución de planta.

Dentro de los diferentes métodos para un correcto diseño de planta, se pueden destacar: el método relacional de actividades, el cual indica las relaciones existentes entre las áreas de trabajo; el método Richard Muther Systematic Layout Planning que tiene como objetivo una buena organización y optimización de la distribución de las áreas de trabajo; y, el Método Guerchet permite el análisis del espacio físico para los puestos de trabajo. (Avilés, 2019).

El presente estudio emplea el Método Guerchet en una fábrica metalmecánica de tamaño industrial, considerando los estándares y parámetros definidos previamente por Cruz (2017). El objetivo de este estudio es contribuir con un método práctico o que sirva de referencia en el sector metalmecánico ecuatoriano.

Materiales y métodos

La Planificación de Sistemas (SLP) es una herramienta que le permite utilizar eficientemente los recursos, organizar su lugar de trabajo y equipos industriales, optimizar procesos, aumentar la competitividad y mejorar continuamente. Además, incluye un estudio cuantitativo del tamaño de la empresa, que también evalúa cualitativamente las relaciones entre zonas, los flujos de materiales, la comodidad de los empleados y los requisitos específicos de los procesos y almacenes. Asimismo, este es el método más común y se utiliza para resolver problemas de ubicación de plantas (Torres et al., 2020). La distribución de planta realiza procesos de manera continua, utilizando los recursos de manera adecuada. Por otro lado, la ubicación de la planta, según Espinoza Coronado (2020), se debe realizar una investigación efectiva de distribución en planta, puesto que, el principal beneficiario será la empresa, además de sus empleados y clientes, mejora no solo el nivel de productividad, sino también el nivel de toda la industria, creando un menor costo que aumentará su competitividad.

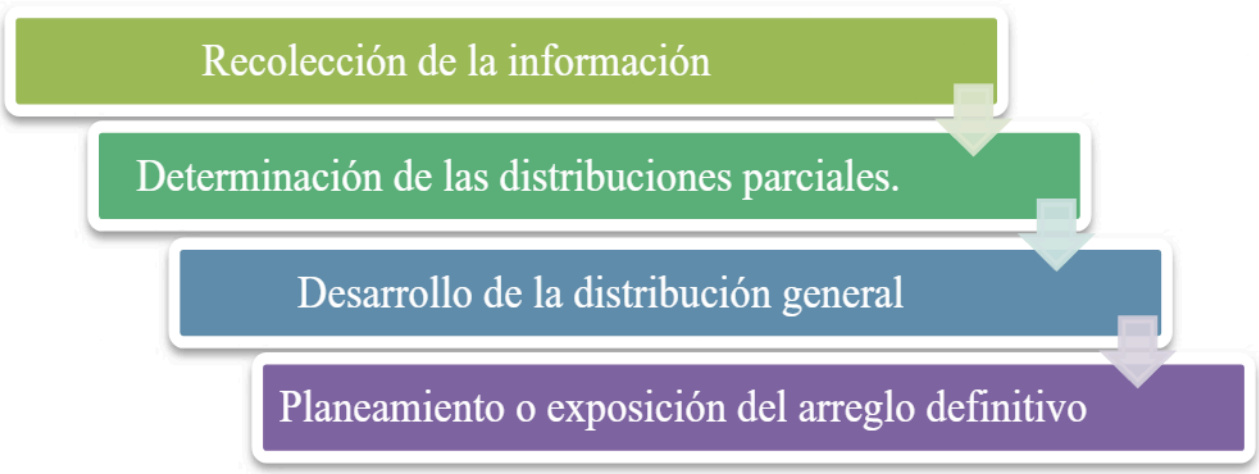


Fig. 1. Lineamiento para el diseño de la distribución de planta

Los factores que inciden en la ubicación de las plantas son clasificados en materiales, equipos, personas, movimiento, espera, mantenimiento, construcción y cambio. Considerando los mencionados se analizarán las características y consideraciones diferentes para su oportuna revisión de la planta de distribución. En el Factor Material, la distribución de los factores de producción dependerá necesariamente de sus características y del material con que operen. Estas son las características básicas a tener en cuenta: el tamaño, la forma, el volumen, el peso y las propiedades fisicoquímicas de la variedad. Estas características influyen decisivamente en el método de producción, procesamiento y almacenamiento, así como en el espacio requerido para el transporte y la espera. En el Factor maquinaria se debe considerar su tipo y número que hay disponibles en las categorías, así como el tipo y cantidad de equipo y herramientas, espacio, forma, altura y peso requeridos, el número y clase de operarios requeridos, los riesgos para los empleados, necesidad para servicios de apoyo, entre otros. Resultó ser necesario para un estudio preciso y completo de la distribución de las plantas.

El Factor Humano se refiere a la seguridad de los trabajadores, considerando aspectos como iluminación, ventilación, temperatura, ruido, y otros. Asimismo, la cualificación y flexibilidad del personal necesario, así como el número de trabajadores necesarios en cada momento y los trabajos que se comprometerán a realizar adecuadamente (Lizbeth & Ávila, 2021). El Factor movimiento se refiere a los movimientos de materiales, no son actividades productivas porque no agregan valor al producto. El Factor espera consiste en evitar los costos de espera y retrasos incurridos durante la recesión del ciclo. Sin embargo, la suspensión de material no es necesariamente un costo a evitar, puesto que, puede ser muy económico.

El Factor servicio se refiere a los servicios auxiliares que apoyan y facilitan las principales actividades que se desarrollan en la planta. El Factor edificio considera el diseño del espacio y otras características (p. ej., número de pisos, forma de la fábrica, diseño de ventanas y puertas, resistencia a tierra, altura del techo, diseño de columnas, escaleras, montacargas, alcantarillado, enchufes eléctricos, y otros.). Mientras que, el Factor cambio busca anticipar los cambios futuros para evitar posibles mejoras en el resto de los factores que hemos enumerado. Convierte las asignaciones de fábrica reales en asignaciones obsoletas que reducen las ganancias potenciales.

Estado de Arte

Una revisión literaria de las características y aspectos de orden metodológico relacionados con el uso de métodos y técnicas para la localización y distribución de instalaciones de manufactura fue desarrollada por Franco (2015). Dentro de los cuales fue explorado el Método Guerchet para aplicar una metodología de investigación cualitativa y descriptiva, cuyo estudio concluye describiendo una construcción teórica con perspectiva global de los métodos y técnicas para la localización y distribución de instalaciones de manufactura.

El Método Guerchet es usado a nivel regional, en la ciudad de Lima, una empresa dedicada a recargas y mantenimientos de extintores empleó el método para verificar si el espacio usado de la fábrica estaba siendo aprovechada eficientemente con respecto al número de recargas y mantenimientos de extintores, máquina y empleados. (Álava & Morán, 2020) Asimismo, lo hizo una empresa mexicana dedicada a la transformación de fibras naturales y sintéticas, obteniendo telas e hilos como producto final, que a su vez son utilizados como materias primas en otros sectores de la industria, esta empresa trabajó con el método, para designar una superficie coherente a cada elemento de acuerdo con los requerimientos que se le solicite, con la finalidad de diseñar la redistribución de planta con las mejoras correspondientes, delimitando los espacios necesarios de cada área de la estación de trabajo, para optimizar al máximo el espacio físico disponible y así facilitar y mejorar el flujo del personal y de los materiales. (Benítez, 2019)

El presente estudio es aplicado a las condiciones y características productivas ecuatorianas, como estudios previo, aplicaciones de este método se tiene a Bone García (2020), quien aplicó el método en una empresa de la Ciudad de Quevedo, dedicada a la fabricación de equipos y plantas para la agroindustria e industria alimenticia en su proceso de redistribución en planta, para calcular la superficie requerida por cada máquina, con la finalidad de mejorar los rendimientos y tiempos de producción. Por otro lado, Caicedo Cantos (2019) utilizó este método en una empresa ecuatoriana dedicada a la fabricación de estructuras metálicas, para evaluar las dimensiones de cada uno de los espacios físicos que ocupan las máquinas y equipos de trabajo para gestionar una mejor propuesta en base a

los resultados obtenidos. En consecuencia, el presente estudio se enfocará en la aplicación de este método a la industria metalmecánica para que sirva como referente a la toma de decisiones.

Aplicación del Método de Guerchet

El Método de Guerchet permite determinar las áreas requeridas para el puesto de trabajo, por lo que es necesario conocer el número y tamaño de las máquinas y equipos imprescindibles para la producción; adicionalmente, según Luis & Ordoñez (2020) se tiene en cuenta requerimientos de personal y consideraciones respecto al inventario del proceso. De acuerdo con Cruz (2017) se puede determinar la superficie total requerida por el área a través de la siguiente fórmula:

$$S_T = S_s + S_a + S_e \qquad \text{(ecuación. 1)}$$

Donde:

$S_s = Superficie\ Estáti$
$S_s = Superficie\ Estática$
$S_a = Superficie\ Gravitacional$
$S_e = Superficie\ de\ Evolución$

Si bien una superficie estática se puede definir como una superficie ocupada por máquinas y equipos, una superficie atractiva es una superficie ocupada por el operador y el material requerido para realizar el trabajo, su trabajo y la superficie evolutiva es el área que separa las estaciones de trabajo entre sí para una mejor comprensión.

- Superficie estática: es el área de la máquina o puesto de trabajo.

$$S_s = a * l \qquad \text{(ecuación. 2)}$$

Donde:
S_s= Superficie estática
a = Ancho
l = Largo

- Superficie gravitacional: es la multiplicación de la superficie estática por el número de lados de trabajo.

$$S_g = S_s * N \qquad \text{(ecuación. 3)}$$

Donde:

S_g=Superficie Gravitacional

S_s=Superficie Estática

N:Número de lados de trabajo

- Superficie de evolución: indica el espacio para el flujo correcto entre los puestos de trabajo de personas, equipo y medios de transporte.

$$S_e = (S_s + S_a)K \qquad \text{(ecuación. 4)}$$

Donde:

K:Coeficiente de evolución

- K es la cantidad promedio de las alturas de los elementos móviles (EM) y estáticos (EE). Se calcula de la siguiente forma:

$$K = \frac{h_{EM}}{2h_{EE}} \quad \text{(ecuación. 5)}$$

y,

$$h_{EM} = \frac{\Sigma_{i=1}^{r} S_s * n * h}{\Sigma_{i=1}^{r} S_s * n} \quad \text{(ecuación. 6)}$$

Donde:

r:Variedad de elementos móviles

S_s=Superficie estática de cada elemento móvil

h:Altura de cada elemento móvil

n:Número de elementos móviles

$$h_{EE} = \frac{\Sigma_{i=1}^{t} S_s * n * h}{\Sigma_{i=1}^{t} S_s * n} \quad \text{(Ecuación. 7)}$$

Donde:

t:Variedad de elementos estáticos

S_s=Superficie estática de cada elemento

h:Altura de cada elemento estático

n:Número de elementos fijos

Tabla 1. Valores de constante K para diferentes tipos de industria

Tipos de industria	Valor de k
Industria alimenticia	0.05-0.15
Bandas transportadoras	0.10-0.25
Textil	0.05-0.25
Metalmecánica pequeña	2.0-3.0

Fuente: (Cruz Villarraga, 2017)

Resultados y Discusión

Empleado el Método Guerchet para una empresa metalmecánica estándar que dispone 5 maquinarias con diversas dimensiones, se requirió de 157m2 de área estática (Ss) y posteriormente se requeriría de 205 m2 de área gravitacional (Sg). Donde el área estática es definida por la relación entre el ancho y largo de cada maquinaria. Mientras que el área gravitacional está en función del número de máquinas existentes para cada tipo, en este estudio se asume la existencia de 02 unidades para cada una de las maquinarias tipo B y E, mientras que, en el restante de maquinarias se asume el requerimiento de una unidad para cada una de ellas.

Tabla 2. Dimensiones de las máquinas de empresa metalmecánica

Maquinaria	Ancho (m)	Largo (m)	$S_s(m^2)$	$S_g(m^2)$	$S_e(m^2)$	$S_T(m^2)$
A	7	6	42	42	168	252
B	4	6	24	48	144	216
C	4	8	32	32	128	192
D	5	7	35	35	140	210
E	6	4	24	48	144	216
			157	205	724	1.086

Para determinar la superficie de evolución (Se) el valor de la constante k para la industria metalmecánica es 2 unidades, considerando el tipo de maquinaria y el área requerida para una extensión futura, con lo cual se tiene un requerimiento de 724 m2 de superficie. En consecuencia, para determinar la superficie total (St) se procede a sumar las superficies estáticas, gravitacional y evolución; lo mencionado implica un requerimiento de 1086 m2 para la instalación de una planta metalmecánica. Finalmente, se procede a determinar el ancho y largo de la planta de la empresa, por lo que se realiza una operación cuadrática inversa del valor determinado como superficie total, implicando dimensiones de 32,95 m de ancho y 32,95 m de largo.

Considerando la superficie sugerida se determina que, la ratio es de 217,2 por cada máquina, valor en el cual se toma en cuenta la extensión de inversiones futuras.

Conclusiones

El presente estudio es una contribución inédita para la industria metalmecánica. Sirve de referencia para la toma de decisiones en diseños de planta, dimensionamiento y plantas metalmecánicas.

De acuerdo con el estudio, los valores que arroja el Método Guerchet son referenciales, es decir, pueden ser modificados y ajustados de acuerdo con el requerimiento de la organización.

Declaración de conflictos

Los autores declararon que no existe ningún conflicto de interés potencial dentro de esta investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

Referencias

1. Alva, D., & Moran, C. (2020). Distribución de planta para mejorar la productividad en el área de recarga y mantenimiento de la empresa SRVEX S.A.C., San Juan de Miraflores, 2020. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/77190/Alva_RD-Moran_BCJ-SD.pdf?sequence=8

2. Avilés, E. (2019). Diseño y distribución en planta para la empresa reencavi compañía anónima. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18295/1/UPS-CT008668.pdf

3. Bastidas Ordoñez, L. M., & Aguirre Hernández, L. A. (2020). Diseño de herramienta para la estimación del tamaño de las instalaciones de la empresa estructuras y montajes Europa s.a.s.https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/87528/1/TG02999.pdf

4. Benítez, N. (2019). Propuesta de redistribución de planta en una empresa de la industria del vestido

5. Bocángel, W., Rosas, E., & Bocángel M. (2021). Introducción al diseño de plantas

6. Bone, G. (2020). Propuesta de distribución de planta y mejoramiento de la producción en la empresa INDUHORST cía ltda del cantón Quevedo.

https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/5937/1/T-UTEQ-0086.pdf

7. Cantos, C. (2019). Análisis de los procesos operativos y distribución de planta en la empresa CIMETCORP S.A.

http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/46040/1/TESIS%20MIGUEL%20CAICEDO.pdf

8. Cruz Villarraga, N. H. (2017). La formación a través de la lúdica en el diseño de áreas de trabajo. Editorial Uniagustiniana. https://doi.org/10.28970/ua.nc.2017.n1

9. Espinoza Coronado, W. (2020). Distribución de planta y su influencia en la productividad en el área de producción en una empresa del sector metalmecánica en los últimos 10 años.

10. Franco, G. (2015). Estado del arte sobre métodos y técnicas de localización y distribución aplicadas en instalaciones de manufactura y servicios.

11. Gonzalo, B., Córdova, C., & Tierra, I. M. (2016). Estudio de la distribución de planta de la empresa auto fast reparaciones y su incidencia en la productividad.

12. Lizbeth, N., & Ávila, A. (2021). Evaluación y mejora de la distribución en planta del

área metalmecánica de la ciudad de Guayaquil.

13. Luis, S. A. S., & Ordoñez, M. B. (2020). Diseño de herramienta para la estimación del tamaño de las instalaciones de la empresa estructuras y montajes Europa S.A.S.

14. Torres, K. J., Florez Peña, L. S., Sánchez, C. W., & Castañeda Peñaranda, M. (2020). Metodología SLP para la distribución en planta de empresas productoras de Guadua Laminada Encolada (G.L.G). Ingeniería, 25(2), 103-116. https://doi.org/10.14483/23448393.15378

IBARRA - ECUADOR
Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Innovation & Development in Enginnering in Applied Sciences
IDEAS
VOL. 4 Nº2 - 2022

Geoportal of the Universidad Técnica del Norte for the visualization of geospatial information of thematic maps de Ecuador

http://doi.org/10.53358/ideas.v4i2.886

Pablo Andrés Landeta López, Jorge William Vásquez Rojas, Tatyana Katherine Saltos Echeverría, Xavier Mauricio Rea Peñafiel
Faculty for Engineering in Applied Sciences - Degree of Computer Engineering - Universidad Técnica del Norte, Ibarra – Ecuador
palandeta@utn.edu.ec, jwvasquez@utn.edu.ec, tksaltos@utn.edu.ec, mrea@utn.edu.ec

Fecha de envío, enero 29, 2019 - Fecha de aceptación, abril 14, 2023 - Fecha de publicación, Abril 21, 2023

ABSTRACT.

The implementation of a Geoportal has importance to Ecuadorian so- ciety since it allows to know the geospatial information of varying nature and application. The present research focuses on the development of a Geoportal which includes a map visualization where it is possible to see in detail the varied layers of important aspects of Ecuador. It allows the user to observe thematic maps according to diverse areas. The administrative module allows to manage the layers of the database by specifying to which topic they belong, therefore the process of generating and sample of the spatial information are automated. To implement the Geoportal, a platform with free software was used. Linux Centos 7 was selected as the base operating system. The technology used as map server was MapServer 7.0.1. For the map viewer, Pmapper 5 was chosen because of its ease of use and because it allows to include OpenLayer. Finally, the portal was developed using the Yii and Bootstrap framework. The research poses challenges to end users because when using this type of tools it is easy to obtain geospatial information very quickly.

Keywords. Spatial Data Infrastructure, Geographic Information System, Geo- portal, Pmapper, MapServer

Resumen. La implementación de un Geoportal tiene importancia para la sociedad ecuatoriana ya que permite conocer la información geoespacial de variada naturaleza y aplicación. La presente investigación se enfoca en el desarrollo de un Geoportal que incluye una visualización de mapas donde es posible ver en detalle las variadas capas de aspectos importantes del Ecuador. Permite al usuario observar mapas temáticos según diversas áreas. El módulo administrativo permite manejar las capas de la base de datos especificando a que tema pertenecen, por lo tanto el proceso de generación y muestreo de la información espacial son automatizados. Para la implementación del Geoportal se utilizó una plataforma con software libre. Se seleccionó Linux Centos 7 como sistema operativo base. La tecnología utilizada como servidor de mapas fue MapServer 7.0.1. Para el visor de mapas se eligió Pmapper 5 por su facilidad de uso y porque permite incluir OpenLayer. Por último, el portal se desarrolló utilizando el framework Yii y Bootstrap. La investigación plantea retos a los usuarios finales ya que al utilizar este tipo de herramientas es fácil obtener información geoespacial de forma muy rápida.

Palabras clave. Infraestructura de Datos Espaciales, Sistema de Información Geográfica, Geoportal, Pmapper, MapServer

Autor de correspondencia:
Pablo Landeta; palandeta@utn.edu.ec

Introduction

The advancement of internet technologies allows for the rapid growth of GIS (Geo- graphic Information Systems), which has then allowed a collection of information to be disseminated around the globe. [1].

It is in thus that learning the location and characteristics of places and regions on a map is an activity made possible thanks to the comparison and visualization of information and geospatial data. This has now become an important aspect in the deci- sion making at the local, regional and national level.

To make geographical decisions, spatial analysis is needed to understand the envi- ronment through the use of analytic and visualization tools that synthesize the refer- enced information. These tasks are very complex because they must perform an exam- ination of patterns and processes; including the interaction between space and time. This is one of many examples of the advantages of the use of GIS in the sciences. [2]

The integration of spatial data and GIS should be applied to a wide frame so that these could be useful to a diversity of users (individuals, groups and organizations, at national and international levels). One of the requirements posed by the Spatial Data Infrastructure (SDI) consist of the capacity to work with spatial data produced by others and look beyond the data models and technological dimensions. In this respect, the SDIs have proved to be innovative and many governments have launched important initiatives in this field. [3].

The following article is oriented towards the comparison of geospatial information of Ecuador and all its provinces. Therefore, it constitutes a significant tool to understand the basic aspects of the development in the territory regarding economic, social, cul- tural, demographic issues, among others.

The main goal of the present study is the development of a Geoportal in Universidad Técnica del Norte with the support of students and teachers of the university and with the use of free software that will be used for the analysis of geographic information that allows local and regional.

FOUNDATION

Spatial Data Infrastructure (SDI)

The Spatial Data Infrastructure (SDI) consists of a system comprised of a gamut of resources of varying nature (data, software, hardware, metadata, services, standards, personal, organizations, legal framework, agreements, policies, users, etc.), established with the intention of sharing Geospatial Information (GI) through the web as efficiently and simple as possible. [4]

The SDI, sometimes called Geographic Information Infrastructure (GII), consists of a virtual structure in the integrated network comprised of data and geographic infor- mation services (described through their metadata). Access to this infrastructure occurs through the internet following standards and agreements (mutually shared) which reg- ulate and guarantee the interoperability of the geographic information [5]. Fig 1 shows the elements of an SDI.

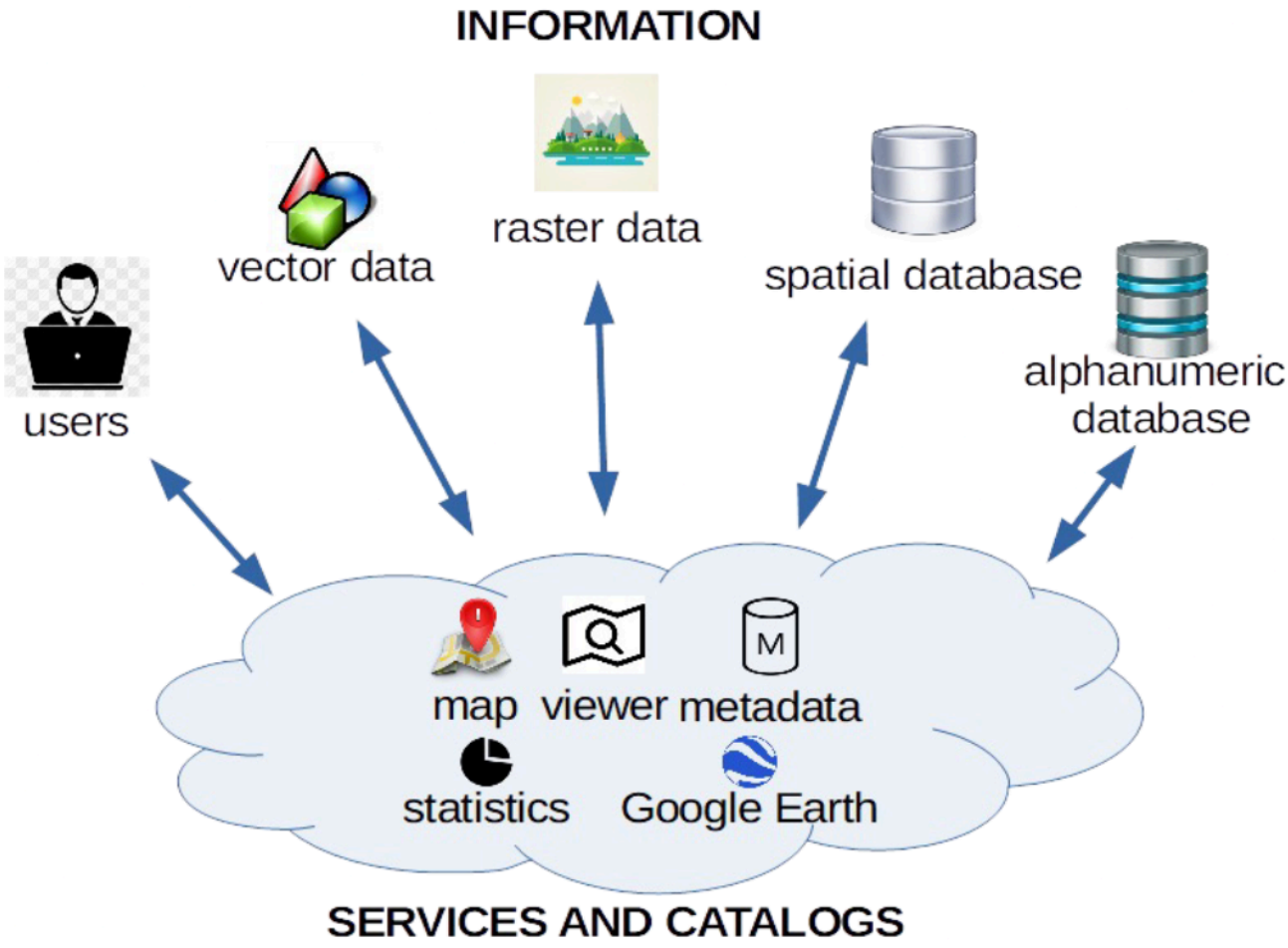


Fig. 1. Elements of an SDI [5]

Spatial Database

The Geographic Information Systems are designed with the purpose of managing and analyzing the spatial data presented in graphic form. This data is presented in layers and can be presented over a map for better visualization. [6]

The Metadata

The data over data are known as geospatial metadata, which describe the content, quality and origins of the geospatial data. The presentation of metadata is fundamental to the process of submitting data online as it allows the users to find, understand and reuse sets of data produced by others. [7]

Geoservices of an SDI

Open Geospatial Consortium (OGC) is an international organism that establishes the standards for SIGs (Spanish acronym for Graphical Information Systems) with the goal of ensuring that the special data is more interchangeable across the web. [8].

OWS (OCG Web Services) are standards created by OCG and used in web applica- tions. The proper distribution of the data is ensured by OWS via the HTTP protocol and request-response sending methods commonly using XML. The most significant stand- ards in this context are [9]:

Web Map Services (WMS): Used to create maps dynamically and which are generally presented in raster format (JPEG, PNG, etc.).

Web Feature Services (WFS): They are interfaces for the data access operations.

Catalogue Services (CSW): They are services used for geo data publication and search based on available metadata.

MATERIALS AND METHODS

For the development of this project, applied research has been used, since the geoportal is intended to be matured to be used with layers that show the reality from the local and regional geographic scope.

Tools

Free open source tools were used for the implementation of this research. They are briefly presented below:

1. Server Operating System: The Centos 7 operating system was installed in the server [10].

2. Database: PostgreSQL 9.5 was the database engine used [11] and the PostGIS 9.2 module was used for the support of geographical objects for the object-relation database PostgreSQL [12]

3. Spatial data management software: The free to use software QGIS 2.14.5 was used to create the maps. It also includes a plugin to export information to map format. It should be noted that the connection from the database to this manager was config- ured in a way that allows the spatial and alphanumeric data to be available directly from the database.

4. Map and spatial data web publication platform: Mapserver 7.0.1[13] was selected as the main map server.

5. Map visualization framework: Pmapper 5[14] was used. This is a framework that fuses perfectly with Mapserver and that is based in the PHP programming language and also in MapScript.

6. Programming language for portal development: The main portal was developed us- ing the PHP language and the MVC (Model View Controller) architecture. The improved presentation for the portal module was made with the Bootstrap frame- work with the goal of integrating the HTML5 technology.

7. Administrative module framework: The development of the administrative module was done using the Yii object-oriented framework which works in the MVC archi- tecture and allows the automatic generation of code for the CRUD (Create, Read, Update and Delete) applications needed for the administration of layers for the UTN Geoportal.

Map visualizer architecture development

MapServer is the center of the architecture for map visualization which connects with Pmapper with the goal of coordinating the presentation of maps obtained from Postgis, OpenStreetMap, and Google. The geospatial information is presented using the Apache server via the Mapscript module for the PHP language. The information is presented to the user via a web browser. Fig. 2 shows the map visualization architecture.

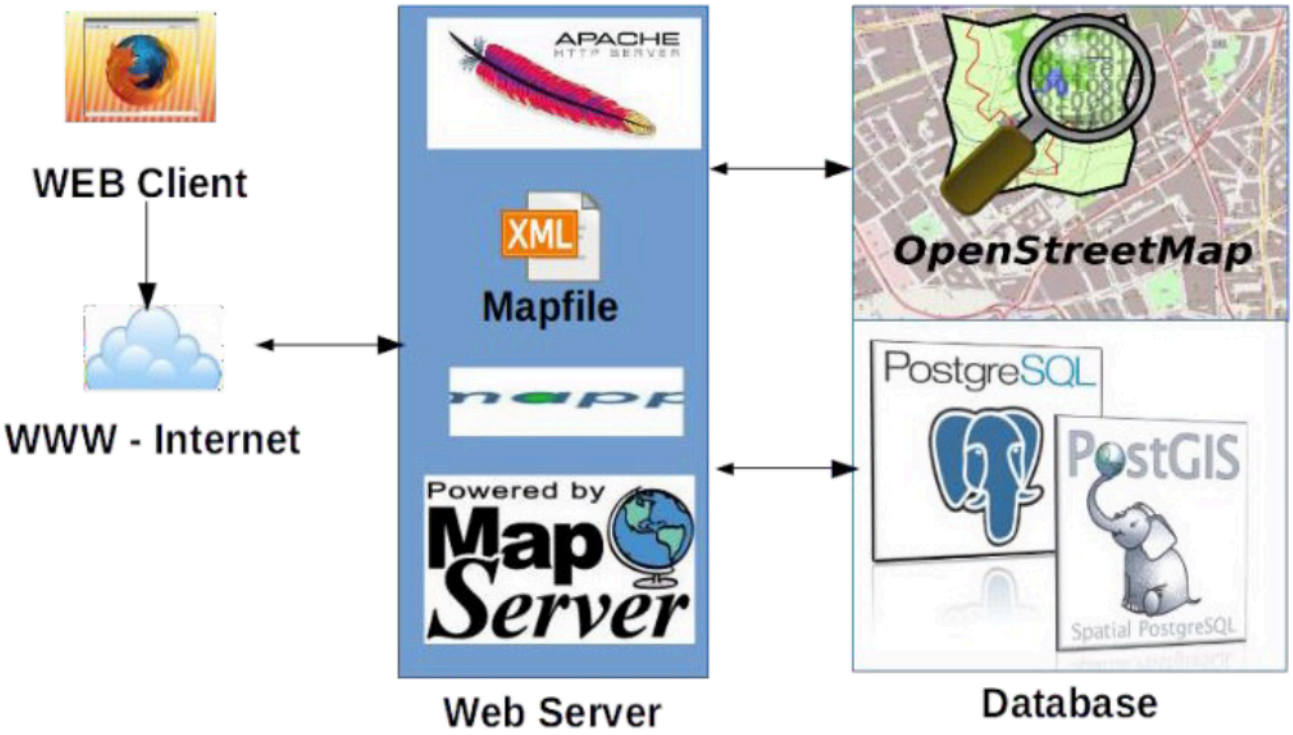


Fig. 2. Map visualization architecture

3.3 Geoportal architecture design

The architecture used to implement the Geoportal is MVC. The user makes a request using a web browser and communicates with MVC. This Controller then calls the Model looking for entities that are obtained directly from the Database. The information is returned to the Controller which processes the response and sends the data to the Viewer giving the user the requested information. Fig. 3 shows the Geoportal Archi- tecture.

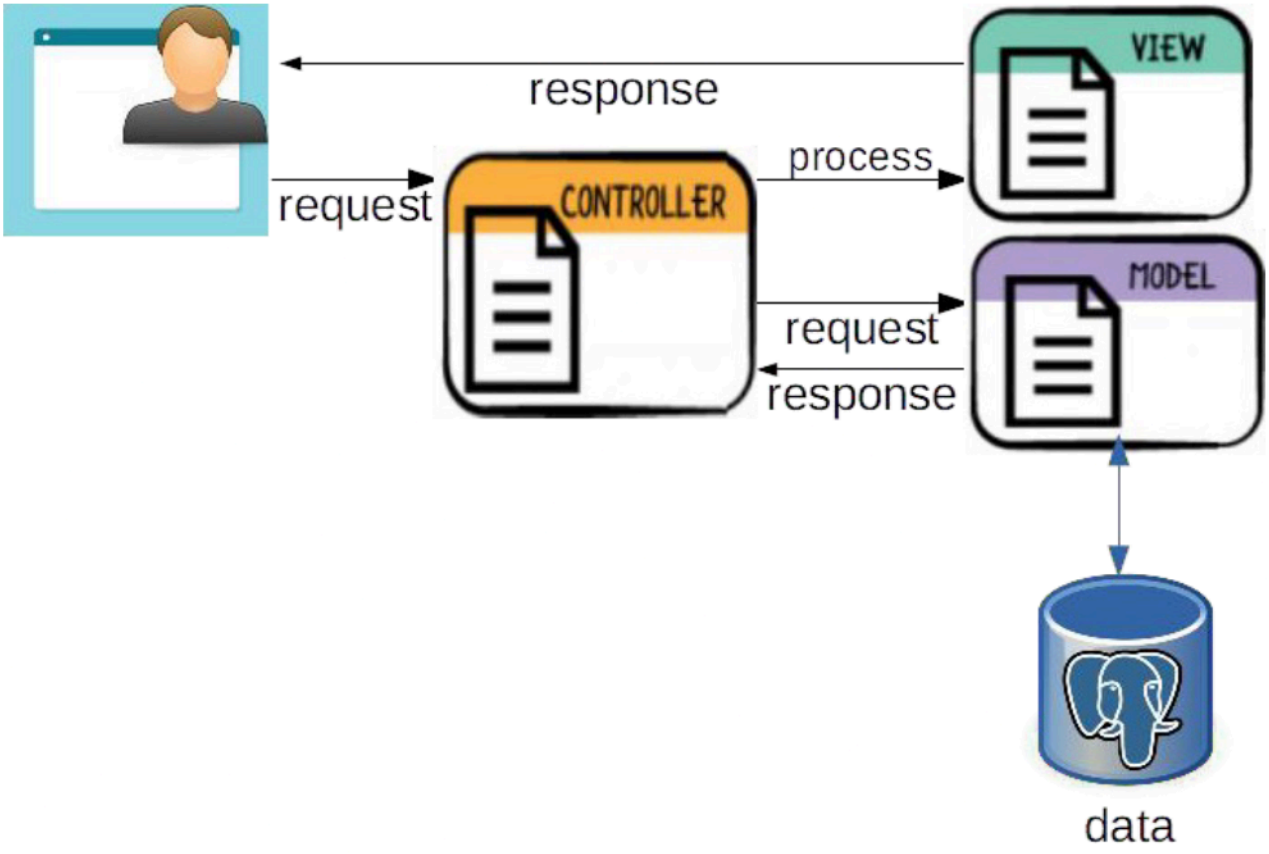


Fig. 3. Geoportal Architecture

Data model design

The catalog module allows the storage of information of spatial layers to allow for the automatic generation of the XML files conforming with the menu that each user con- tains. The generation takes place via stored processes. Fig. 4 shows the model for cat- alog database. This model allows the creation of geographic catalogs to organize infor- mation in an orderly manner by themes and categories.

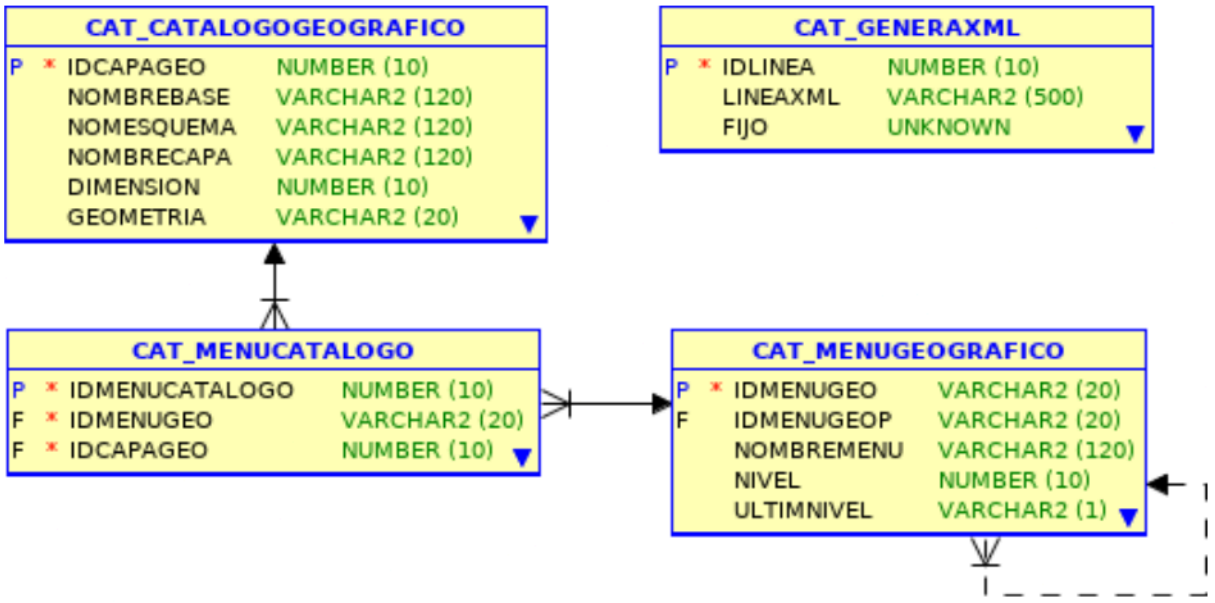


Fig. 4. Model for the Catalog Database

The linking model for the imported geographic layers to the database was also designed in contrast with the standardized alphanumeric information. Fig 5 shows the model used to deploy the layers of Ecuador with a political division by provinces.

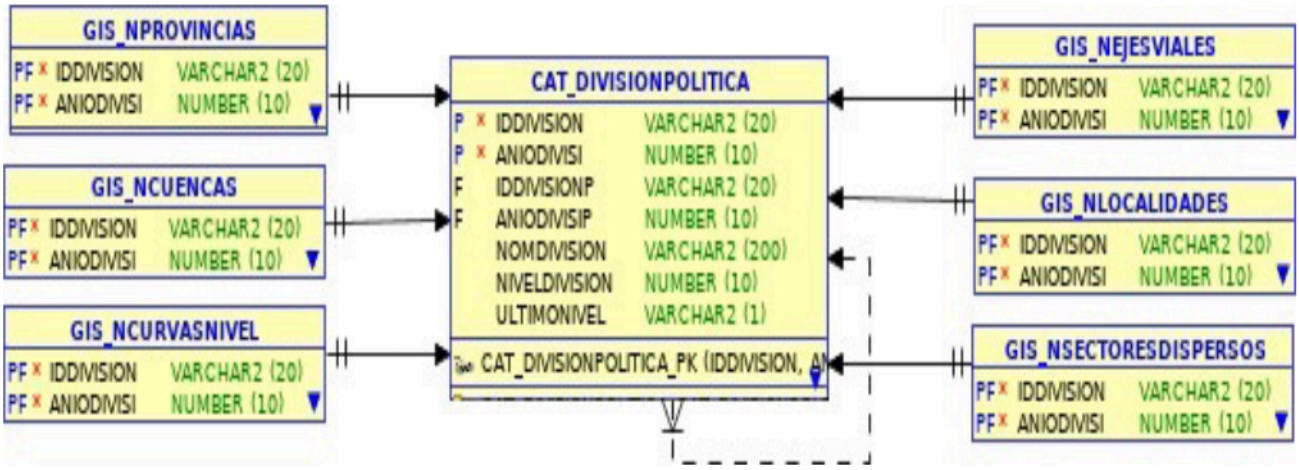


Fig. 5. Model Database for National Layer

Platform implementation

The next procedure was used during testing: i) installation of Linux Centos 7 in a server,

ii) installation and configuration of the Apache server, iii) installation and configuration of PostgreSQL and PostGIS, iv) database creation in PostgreSQL, v) loading of infor- mation to the database from Quantum GIS, vi) installation and configuration of MapS- erver, vii) installation and configuration of Pmapper, viii) development of the Geoportal on the PHP language.

RESULTS

Verification of the visualizer operation

When the configuration of the map visualization platform was completed, its proper operation is then tested. In Fig. 6 below, the options menu can be observed with the different layers stored in the database and the layers based on Google and Open- StreetMaps. The map is located in the center of the visualizer.

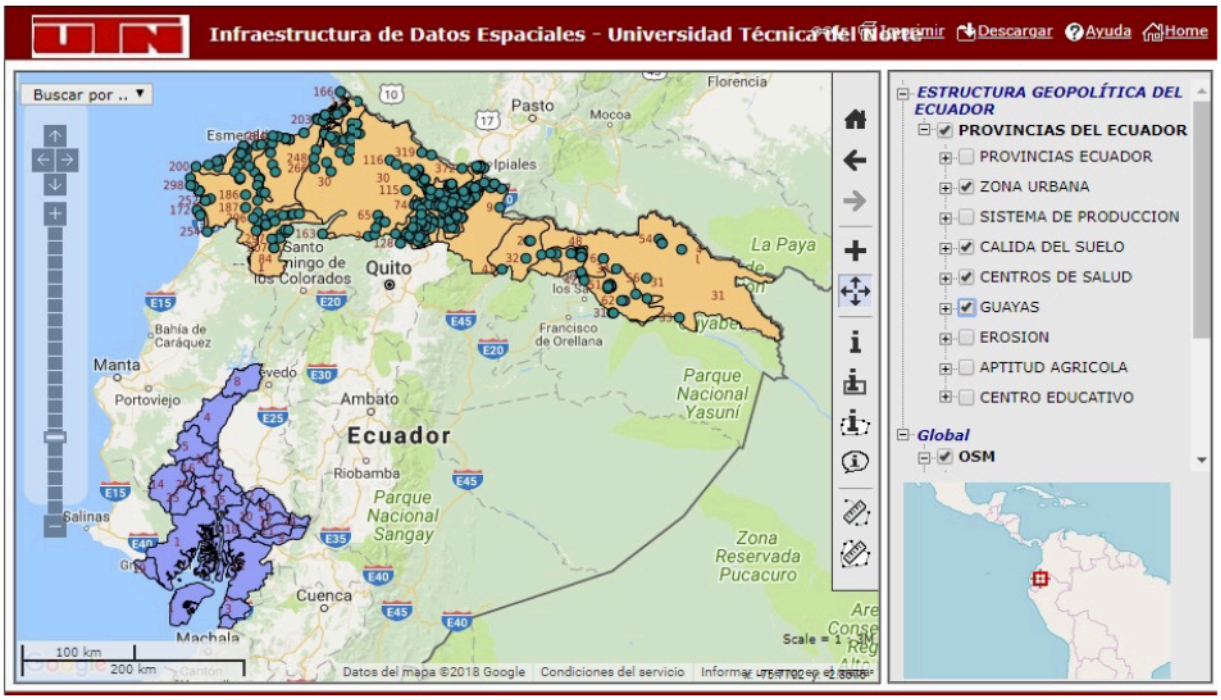


Fig. 6. SDI UTN Visualizer

Verification of the Geoportal operation

Once the Geoportal was developed with the MVC architecture, its verification then follows which determines the completion of the automatization required for the topical maps. This achieves that the application configures the file config_default.xml with the layers desired by the user. Fig. 7 shows the structure of a geographic catalog ordered by topics where it is possible to choose the layers to be visualized.

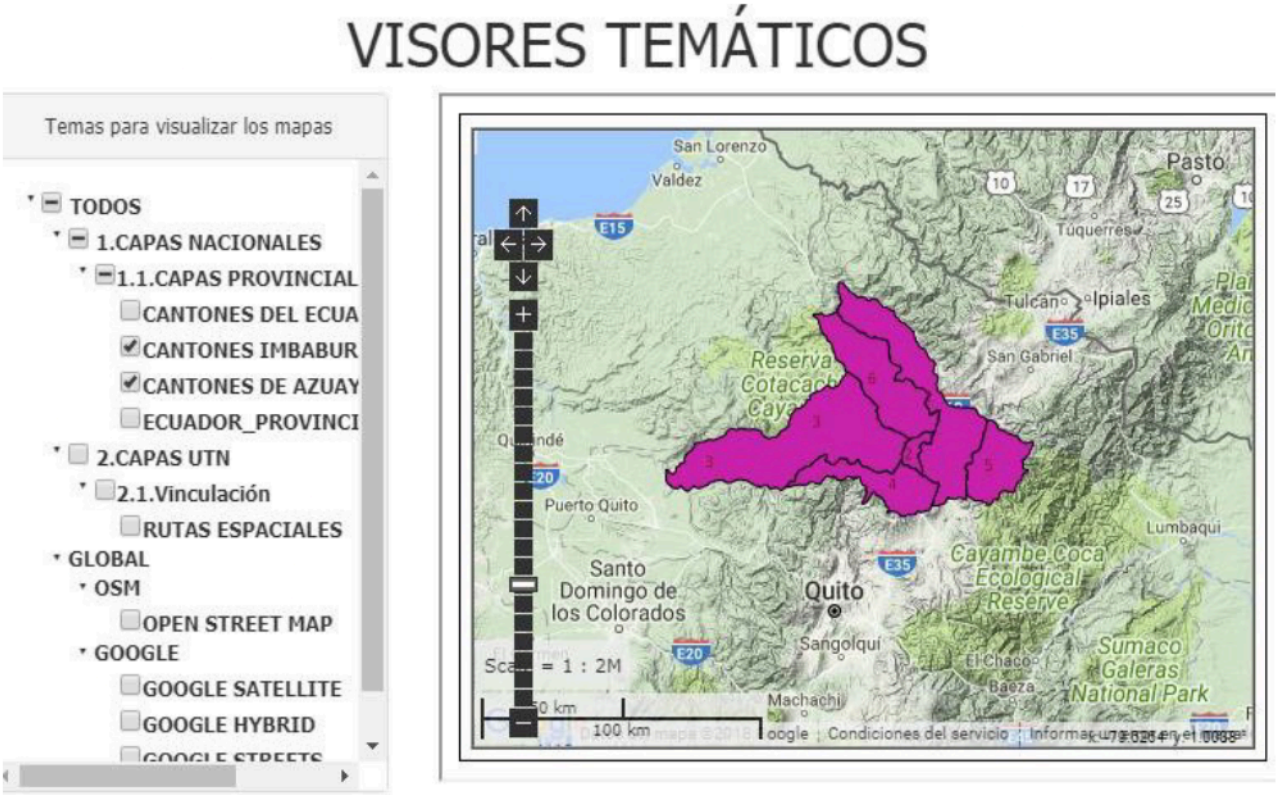


Fig. 7. SDI UTN Geoportal

Verification of the Geoportal Administration Module

Finally, the corresponding administrative module tests are run to manage the layers in a centralized manner without the need of the spatial data manager QGIS. Fig. 8 shows part of the administrative module, which allows the management of geographic cata- logs.

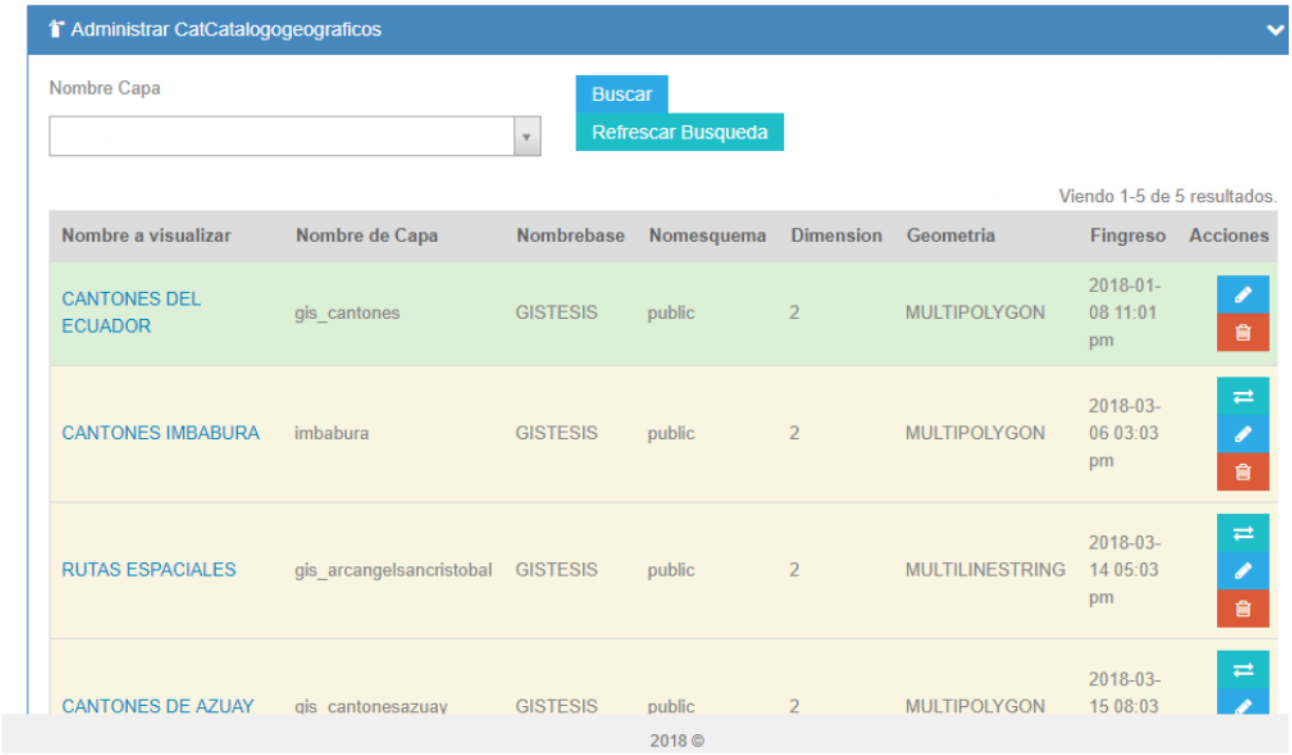


Fig. 8. UTN Geoportal Administrative Module.

DISCUSSION

Based on the obtained results, it can be observed that this tool has a significant impact in information acquisition because reality is reflected in a visual form rather than in text form. A fundamental factor of the research corresponds to the automation of the gener- ation of the XML and MAP files based on the layers that a user uploads to the database. The xml file allows to display geographic catalogs in an orderly way, while the MAP file allows you to save data from the geographical layers that have been uploaded to the platform. This allows to automate the platform, because to update the catalogs it is not necessary to directly manipulate the information in the database, to do this, from the administrative tool these catalogs can be updated. In the same way, the layers that are uploaded to the platform update the MAP file automatically and the layers can be dis- played in a correct way.

Finally, it is noted that the map server MapServer and the visualizer based on Pmap- per performed in acceptable way against the parameters with which they were config- ured.

RELATED WORKS

In the academic and scientific communities there exists a great deal of interest in creat- ing projects that publicly expose the geographical information of the different localities. A work worth mentioning is one done in the Bari Polytechnic [15]. In it, Mapserver is used along with Pmapper to demonstrate the map visualizer, show pollution infor- mation, and monitor the weather in the Puglia region in Italy.

Another research paper that brings value is one proposed by researchers in India [16]. They utilize an open source GIS system with agricultural purposes such that the population can determine with detail how the plantations are distributed as well as the climate parameters needed for their crops.

A comparable work is the research presented by a team in Nagarjuna, India [17], who uses MapServer and Pmapper to show maps regarding the quality of underground water and its contaminants which allows for the proposal of future solutions to this problem.

In the work proposed by professionals in the Zhongzhou University in China [1]. They have created an SDI to expose information regarding the education system of the area so that the education centers can be clearly identified.

7 CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

Through this research, it is shown that the automatic generation of XML and MAP files is possible using stored processes. Likewise, the visualization of the topical maps al- lows the user to choose the desired information to be viewed from the set of stored topics.

Another aspect to be considered is that the technologies OpenStreetMap and Google Street Maps can recreate the maps in a more user-friendly form.

This paper proposes, for future research, the analysis required to be able to incorpo- rate layers with georeferenced points with the goal of learning the exact location of specific sites in Ecuador which is part of this study. This way, these layers can be shown in the UTN Geoportal and contribute to research in different subjects.

Additionally, it is recommended that another investigation is performed which would consist of incorporating raster type images raised and shown in vector form. To obtain a better resolution for these types of images along with lower cost, unmanned aerial vehicles (UAV) or drones can be used.

Another investigation needed in the future is the incorporation of additional detailed standards in the OCG such as WMS (Web Map Service), WFS (Web Feature Service), etc. This in order to add value to the platform and provide new services for local and regional development and benefit.

REFERENCES

1. M. Duan, Y. Yang, H. Yang, and F. Zhao, "Educational Geographic Information System Based on WebGIS," in 2013 International Conference on Information Science and Cloud Computing Companion (ISCC-C), 2013, pp. 161–166.

2. T. J. Oyana and F. Margai, Spatial Analysis: Statistics, Visualization, and Computational Methods. CRC Press, 2015.

3. P. H. J. Hendriks, E. Dessers, and G. van Hootegem, "Reconsidering the definition of a spatial data infrastructure," Int. J. Geogr. Inf. Sci., vol. 26, no. 8, pp. 1479–1494, Aug. 2012.

4. C. López and M. Bernabé, Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Madrid: UPM Press, 2012.

5. J. Valencia Martínez de Antoñana, "Pasado, presente y futuro de las infraestructuras de datos espaciales," 13-Feb-2013. [Online]. Available: http://gredos.usal.es/xmlui/han- dle/10366/120023?show=full. [Accessed: 23-Nov-2016].

6. A. Marquez, PostGIS Essentials. Packt Publishing Ltd, 2015.

7. B. S. Poore and E. B. Wolf, "Metadata Squared: Enhancing Its Usability for Volunteered Geographic Information and the GeoWeb," in Crowdsourcing Geographic Knowledge, D. Sui, S. Elwood, and M. Goodchild, Eds. Springer Netherlands, 2013, pp. 43–64.

8. P. A. Burrough, R. A. McDonnell, and C. D. Lloyd, Principles of Geographical Information Systems, Third edition. Oxford: Oxford University Press, 2015.

9. T. Laosuwan and S. Ritjareonwattu, "An Innovative Approach to the Development of Spa- tial Data Infrastructures and Web 2.0 Technologies," Int. J. Geoinformatics, vol. 8, no. 2, pp. 53–61, Jun. 2012.

10. "CentOS Project," 2018. [Online]. Available: https://www.centos.org/. [Accessed: 26-May- 2018].

11. "PostgreSQL," 2018. [Online]. Available: https://www.postgresql.org/. [Accessed: 26-May- 2018].

12. "PostGIS — Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL," 2018. [Online]. Available: http://www.postgis.net/. [Accessed: 26-May-2018].

13. "MapServer," 2018. [Online]. Available: http://www.mapserver.org/. [Accessed: 26-May- 2018].

14. "p.mapper - a MapServer PHP/MapScript Framework," 2018. [Online]. Available: http://www.pmapper.net/. [Accessed: 26-May-2018].

15. G. Caradonna, B. Figorito, and E. Tarantino, "Sharing Environmental Geospatial Data Through an Open Source WebGIS," in Computational Science and Its Applications -- ICCSA 2015, O. Gervasi, B. Murgante, S. Misra, M. L. Gavrilova, A. M. A. C. Rocha, C. Torre, D. Taniar, and B. O. Apduhan, Eds. Springer International Publishing, 2015, pp. 556– 565.

16. K. Golhani, A. S. Rao, and J. C. Dagar, "Utilization of Open-Source Web GIS to Strengthen Climate Change Informatics for Agriculture," in Climate Change Modelling, Planning and Policy for Agriculture, A. K. Singh, J. C. Dagar, A. Arunachalam, G. R, and K. N. Shelat, Eds. Springer India, 2015, pp. 87–91.

17. A. K. Das, P. Prakash, C. V. S. Sandilya, and S. Subhani, "Development of Web-Based Application for Generating and Publishing Groundwater Quality Maps Using RS/GIS Tech- nology and P. Mapper in Sattenapalle, Mandal, Guntur District, Andhra Pradesh," in ICT and Critical Infrastructure: Proceedings of the 48th Annual Convention of Computer Society of India- Vol II, S. C. Satapathy, P. S. Avadhani, S. K. Udgata, and S. Lakshminarayana, Eds. Springer International Pu



http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ideas

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
IBARRA - ECUADOR

EDITORIAL UTN
IBARRA - ECUADOR