



UNANCHAY

REVISTA CIENTÍFICA

ISSN 2953 6707

04

Educación, innovación Y SOSTENIBILIDAD

VOLUMEN 03
Nº. 01

Enero - Junio 2024

Contacto:
infounanchay@istte.edu.ec

<https://tecnoecuatoriano.edu.ec/revistaunanchay/index.php/RCU/index>

Revista Científica Unanchay (ISSN 2953-6707)

Volumen 3. Número 1. Año 2024.

La Revista Científica Unanchay, es un espacio editorializado por el Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, que tiene el propósito de difundir la producción científica en el área de ciencias de la ingeniería constituyéndose como un espacio de referencia para la socialización de investigaciones y producciones técnicas aplicadas a las líneas de investigación de la revista.

Tabla de Contenidos

Artículos Originales

	pp.
Higiene postural y su relación con las patologías ergonómicas de columna vertebral Jessica Estefanía Alarcón Figueroa, Haydee Alexandra Gallardo Arizaga, Richard Andrés Cabrera Armijos	1-13
Estabilidad de sistemas lineales en tiempo continuo Argenis Alexander Ángel Sáez	14-30
Diseño de un molde de corte para arandelas automotrices Jairo Edison Guasumba Maila, Diego Andrés Calero Torres, Luis Patricio Criollo Yanchatipan, Víctor Alfonso Garay Cisneros	31-42
Estrategias de eficiencia energética en edificaciones, mediante tratamiento estadístico de datos en la parroquia Tanicuchi Carlos Miguel López Rivas, Edwin Roberto Chancusig Chicaiza, Diego Marcelo López Guzmán, Franklin Israel Sánchez Gamboa	43-57

Artículos de Revisión

	pp.
VoIP simplificado: Una visión clara para implementación y beneficios empresariales Amalia Patricia Bernal Arce	58-77

Higiene postural y su relación con las patologías ergonómicas de columna vertebral

Postural hygiene and its relationship with ergonomic spinal column pathologies

Jessica Estefanía Alarcón Figueroa¹, Haydee Alexandra Gallardo Arizaga², Richard Andrés Cabrera Armijos³

Resumen:

Los trabajadores se ven ampliamente expuesto a enfermedades ergonómicas de predominio aquellas relacionadas con dolor de espalda, sea lumbar, cervical, dorsal o combinadas, se a evaluado una amplia relación entre el nivel de conocimiento sobre higiene postural y la prevención de aparición de enfermedades relacionadas con posturas forzadas, por lo que se implementa una investigación observacional aplicando encuesta sobre el nivel de conocimiento de higiene postural y una encuesta sociodemográfica y sobre dolores de espalda, mismas que al aplicarse a una población de 56 empleados de We Go Global Solution como empresa se identifica que dentro de los participantes el 59% son mujeres, respecto al nivel de conocimiento en higiene postural, el 56% de la población demostró un nivel medio de conocimiento, seguido por un 30% con un nivel alto y un 14% con un nivel bajo. En cuanto a la aparición del dolor el 89% manifiesta presencia de dolor de. Se observó que aquellos con un nivel de conocimiento bajo presentaron principalmente dolor en la columna completa (12.5%), mientras que los de nivel medio tuvieron mayormente dolor lumbar (58.06%), al igual que aquellos con un nivel alto (52.94%). El predominio del dolor lumbar, especialmente en empleados con conocimientos medios, sugiere una falta de aplicación adecuada de posturas ergonómicas, posiblemente debido a factores como el mobiliario, el estrés o el sedentarismo. Es importante destacar que aquellos sin dolor lumbar presentaron niveles equitativos de conocimiento medio y alto en higiene postural (10.7%).

Palabras clave: Enfermedades Ergonómicas, higiene postural, nivel de conocimiento, dolor lumbar

¹ Universidad Iberoamericana del Ecuador, <https://orcid.org/0009-0001-3981-1623>

² Universidad Iberoamericana del Ecuador, <https://orcid.org/0009-0001-0444-3250>

³ Universidad Iberoamericana del Ecuador, Magister en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial, <https://orcid.org/0000-0001-9480-885X>

Abstract:

Workers are widely exposed to ergonomic diseases, predominantly those related to back pain, whether lumbar, cervical, dorsal or combined. A broad relationship has been evaluated between the level of knowledge about postural hygiene and the prevention of the appearance of diseases related to back pain. forced postures, so an observational investigation is implemented by applying a survey on the level of knowledge of postural hygiene and a sociodemographic survey and on back pain, which when applied to a population of 56 employees of We Go Global Solution as a company is identified that among the participants 59% are women, regarding the level of knowledge in postural hygiene, 56% of the population demonstrated a medium level of knowledge, followed by 30% with a high level and 14% with a low level . Regarding the appearance of pain, 89% manifest the presence of pain. It was observed that those with a low level of knowledge mainly presented pain in the entire spine (12.5%), while those with a medium level had mostly low back pain (58.06%), as did those with a high level (52.94%). The prevalence of low back pain, especially in employees with average knowledge, suggests a lack of adequate application of ergonomic postures, possibly due to factors such as furniture, stress or sedentary lifestyle. It is important to highlight that those without low back pain presented equal levels of medium and high knowledge in postural hygiene (10.7%).

Keywords: *Ergonomic diseases, postural hygiene, level of knowledge, lumbar pain*

Introducción

La higiene postural abarca la enseñanza de posturas eficientes y hábitos saludables para prevenir lesiones y daños en la columna vertebral (Chacón et al., 2018). Esto implica educar a las personas sobre cómo mantener una postura adecuada mientras están sentadas, de pie o realizando actividades físicas, con el fin de evitar lesiones, mejorar la función respiratoria y promover la salud y productividad en general (Borrero, 2019; Galindo et al., 2010; Ike et al., 2009).

El conocimiento sobre higiene postural es crucial para prevenir trastornos musculoesqueléticos, ya que permite identificar y reducir la carga postural, disminuyendo así el riesgo de lesiones relacionadas con el trabajo. Estas lesiones pueden derivar de una ergonomía inadecuada, movimientos repetitivos, exceso de fuerza, estrés y otros factores (Alexandre, 2007; Montoya, 2020). Según Colombini y Occhipinti (2006); Fabrizio (2009); Mansoor et al. (2022), los trastornos musculoesqueléticos (TME) son las patologías ergonómicas más comunes, afectando principalmente a las extremidades superiores, cuello y espalda. Estos trastornos afectan a trabajadores de diferentes sectores, como fabricación, trabajo con computadoras, personal de salud y laboratorio. Los TME tienen un impacto significativo en el ámbito laboral, reduciendo la productividad debido al absentismo, presentismo y bajas por enfermedad. Esto resulta en una disminución de la calidad de vida de los empleados que necesitan intervenciones fisioterapéuticas, así como en pérdidas de ingresos para los empleadores debido a los costos de compensación (Erick et al., 2022; Soriano et al., 2022). Por lo tanto, representan un serio problema de salud pública y laboral con consecuencias sanitarias, sociales y económicas que afectan la calidad de vida y el desempeño de los trabajadores.

Es crucial comprender la relación entre el conocimiento de los trabajadores sobre higiene postural y la presencia de patologías ergonómicas. Minghelli et al., (2021); Munaga et al. (2013) sugieren que un mayor conocimiento en este ámbito puede conducir a una mejora en las posturas y, por ende, a una reducción del dolor. Sin embargo, también se observa que este conocimiento no siempre se aplica en algunos entornos laborales (Evelyn y Jain, 2020), lo que indica que este campo aún no está completamente definido. Por lo tanto, se requiere realizar más investigaciones que profundicen en el análisis de la relación entre el conocimiento de los trabajadores sobre higiene postural y la presencia de patologías ergonómicas, especialmente en los sectores, ocupaciones y contextos laborales más afectados por estas enfermedades. Además, es fundamental considerar posibles factores que puedan influir en esta relación. En este estudio, se busca diagnosticar el grado de conocimiento de los trabajadores sobre higiene postural y su relación con la aparición de patologías ergonómicas en una muestra de empleados de la empresa WE-GO Global Solution, así como examinar los factores que intervienen en esta relación.

Metodología

La metodología empleada en este estudio se caracterizó por un enfoque cuantitativo, ya que se recolectaron y analizaron datos numéricos obtenidos mediante instrumentos de medición. El énfasis de la investigación se centró en la resolución práctica de problemas relacionados con la higiene postural y la manifestación de enfermedades ergonómicas, como el dolor de espalda. Esta investigación se clasifica como relacional-transversal, ya que busca establecer relaciones entre variables en un momento específico.

El diseño del estudio fue no experimental u observacional, lo que significa que no se manipularon las variables del fenómeno estudiado. Además, se consideró transversal y prospectivo, ya que se llevó a cabo en un momento determinado y se buscó establecer relaciones de causa y efecto entre las variables.

Se aplicó una encuesta a 56 empleados de la empresa We Go Global Solution en la ciudad de Quito, Ecuador, que cumplieron con criterios de inclusión como ser parte fija o rotativa de la empresa y aceptar previamente el uso de sus datos mediante consentimiento informado. Los empleados que no dieron su consentimiento fueron excluidos.

Para medir las variables del estudio, se utilizó un cuestionario validado sobre higiene postural, adaptado previamente a partir de estudios previos. Este cuestionario constaba de 31 ítems y se complementó con una encuesta de 8 preguntas sobre datos sociodemográficos y la aplicación de conocimientos sobre higiene postural en la actividad laboral o cotidiana.

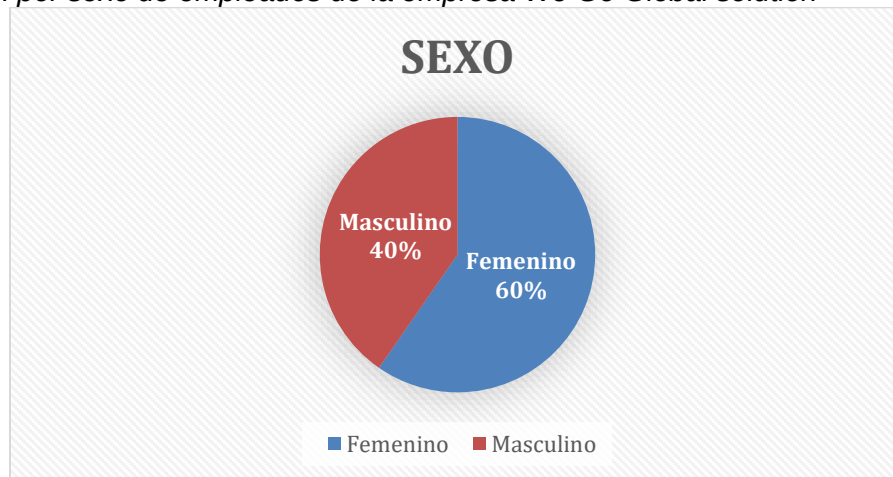
La aplicación de los cuestionarios se llevó a cabo a través de la plataforma JotForm, utilizando encuestas en línea. Posteriormente, los datos recopilados se exportaron a Excel para su validación y tabulación. Se explicó claramente el objetivo del estudio y se obtuvo el consentimiento voluntario de los participantes. Todos los 56 empleados aceptaron participar en la encuesta.

Resultados y discusión

Para la obtención de los resultados se analizó las variables como dolor de espalda, conocimiento de higiene postural y aplicación de conocimientos donde los resultados obtenidos mediante la encuesta aplicada a un total de 56 empleados que trabajan en turnos rotativos en todos los servicios de la empresa We Go Global solution de los cuales el 60% representan el sexo femenino y el 40% el sexo masculino, figura 1

Figura 1

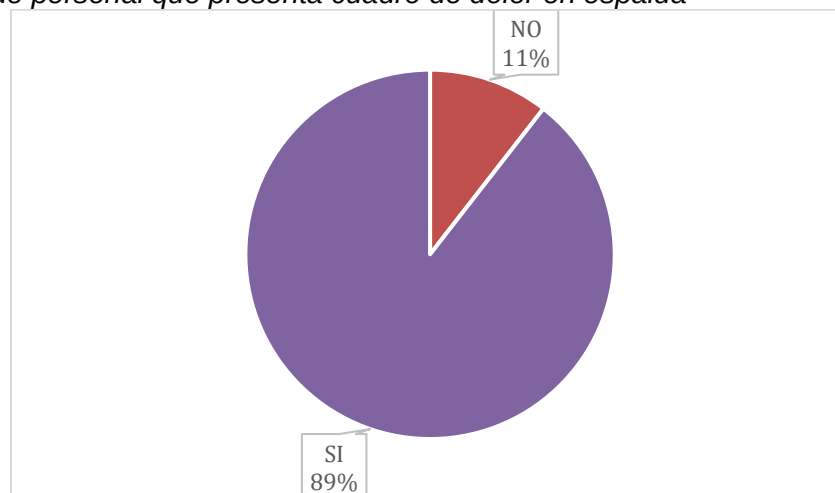
Distribución por sexo de empleados de la empresa We Go Global solution



Respecto a cuantos empleados han sufrido al menos un episodio de dolor agudo en el último mes, 50 personas comentan que han presentado cuadros de dolor de espalda en dicho periodo lo que indica a frecuencia de 89% de servidores con afectaciones ergonómicas y un factor de riesgo elevado para padecer alteraciones de columna lumbar, figura 2

Figura 2

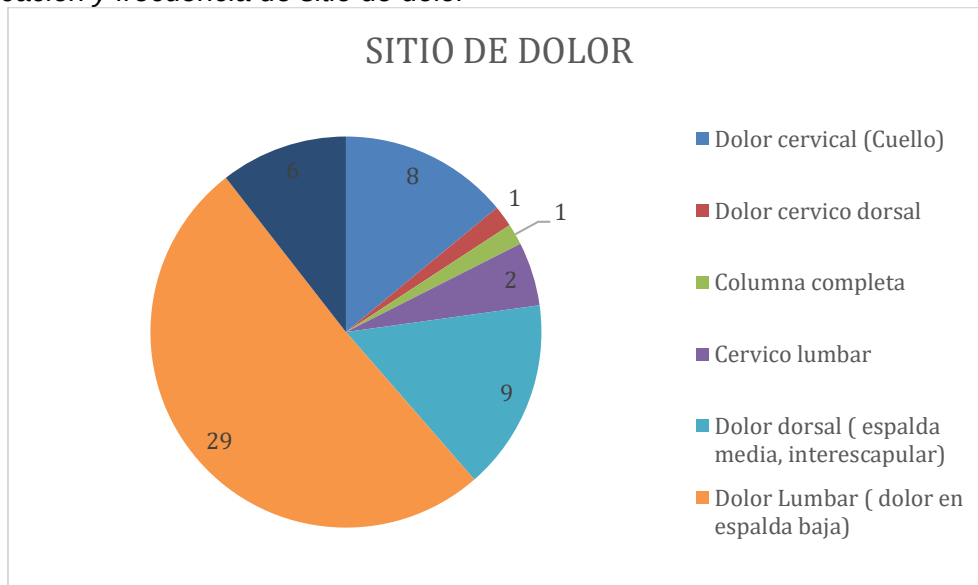
Distribución de personal que presenta cuadro de dolor en espalda



Donde el sitio de manifestación clínica de dolor el 50,8% presenta cuadro de dolor lumbar único seguido del 14% de empleados con manifestaciones de dolor en región cervical y únicamente el 10,5% no ha presentado ningún cuadro de dolor en columna vertebral, figura 3

Figura 3

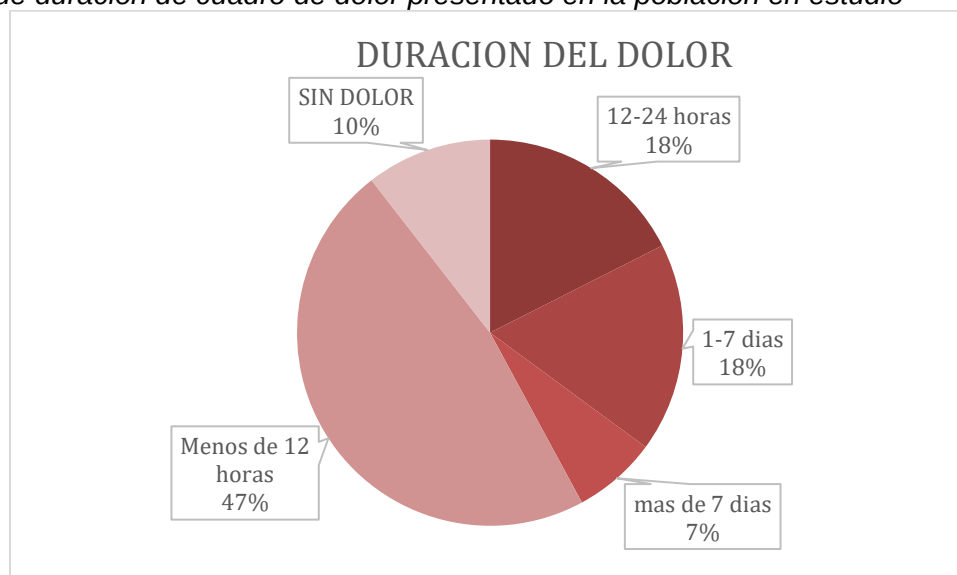
Especificación y frecuencia de sitio de dolor



Entre los empleadores encuestados, se observa que 28 de ellos han experimentado episodios dolorosos que duran menos de 12 horas y que cesan espontáneamente, lo que sugiere un dolor agudo probablemente asociado con mala higiene postural. Por otro lado, solo 6 empleadores no han reportado ningún episodio de dolor. Además, solo el 7% de los encuestados manifiesta episodios crónicos de dolor con una duración de más de 7 días. Figura 4

Figura 4

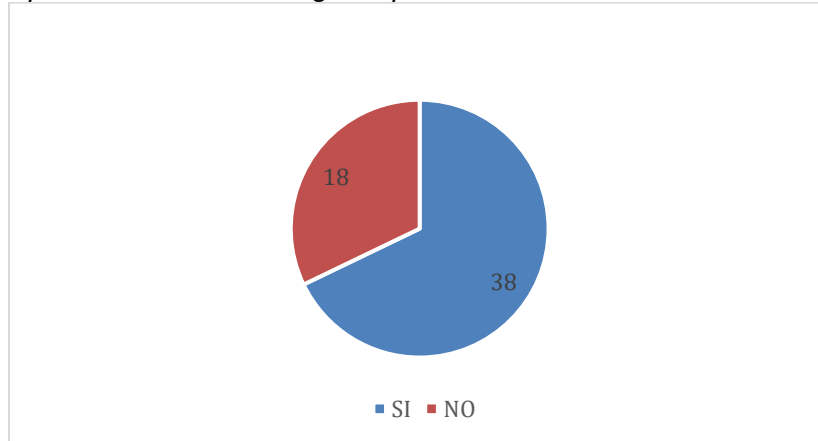
Tiempo de duración de cuadro de dolor presentado en la población en estudio



A pesar de identificar que al menos 38 personas del grupo de estudio consideran seguir las normas de higiene postural y mantener una adecuada postura ergonómica al realizar actividades cotidianas y laborales, figura 5.

Figura 5

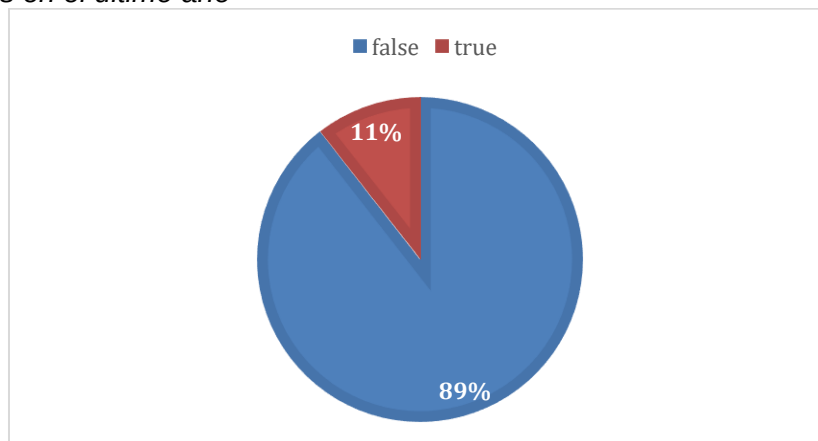
Población que aplica las normas de higiene postural



Tomando en cuenta que únicamente el 11 % de la población en estudio a sido diagnosticada previamente de enfermedades ergonómicas o han sido cometidos a intervenciones quirúrgicas en columna vertebral los últimos años, figura 6.

Figura 6

Identificación de personas sometidas a intervenciones quirúrgicas o con enfermedades diagnosticadas en el último año

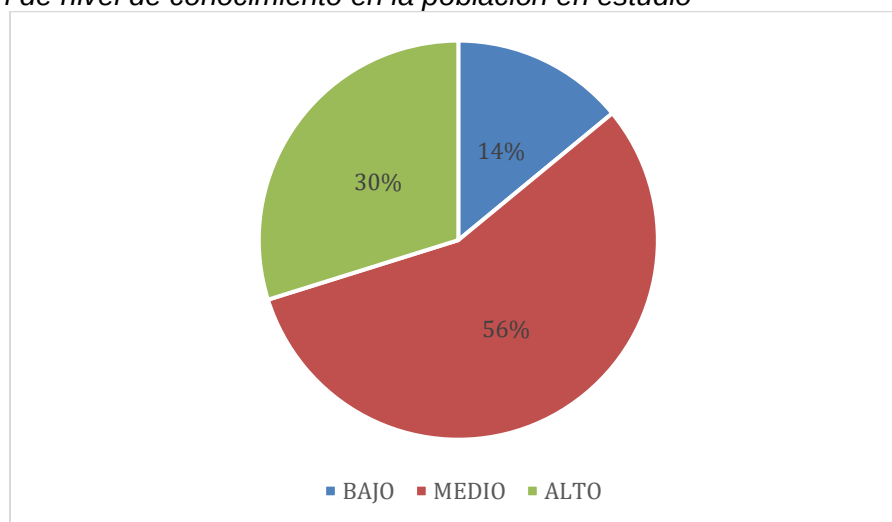


En relación con los resultados de la encuesta, donde clasificamos el nivel de conocimiento como bajo para aquellos que obtuvieron de 0 a 16 puntos, medio para aquellos que obtuvieron entre 17 y 23 puntos, y alto para aquellos que obtuvieron entre 24 y 31 puntos, podemos observar que el 56% de la población evaluada posee un nivel medio de conocimiento sobre higiene postural y su correcta aplicación. Por

otro lado, el 14% representa a aquellos con un alto nivel de conocimiento, mientras que aproximadamente el 30% no cuenta con un nivel suficiente de conocimiento sobre higiene postural. Esta falta de conocimiento puede aumentar la propensión a sufrir patologías de tipo ergonómicas asociadas a malas posturas tanto en el lugar de trabajo como en las actividades cotidianas, figura 7

Figura 7

Distribución de nivel de conocimiento en la población en estudio



La relación entre el nivel de conocimiento y el sexo muestra que aproximadamente 20 personas del sexo femenino y 11 personas del sexo masculino tienen conocimiento medio sobre higiene postural. En cuanto al nivel de conocimiento bajo, de las 8 personas, 5 son de sexo masculino. Por otro lado, en el grupo con un nivel alto de conocimiento, de las 17 personas, 10 son del género femenino y 7 son del género masculino, tabla 1.

Tabla 1

Correlación de nivel de conocimiento y sexo

Sexo	Nivel de conocimiento			
	Alto	Bajo	Medio	Total, general
Femenino	10	3	20	33
Masculino	7	5	11	23
Total, general	17	8	31	56

Se observa que el 56% de las personas, que representan el grupo con un nivel medio de conocimiento sobre higiene postural (31 personas), experimentan episodios de dolor en la columna lumbar en un 58.06% de los casos. Además, el 16.13% reporta episodios equitativos de dolor cervical y dorsal, mientras que solo el 9.68% no ha presentado ningún episodio de dolor. Dentro del grupo con un nivel alto de

conocimiento en higiene postural, que comprende al 30% de la población (17 personas), el 5.88% no presenta ningún episodio de dolor. Sin embargo, el 52.94% experimenta dolor en la región lumbar, el 11.76% presenta dolor en la región cervical y cervicolumbar, y solo el 5.88% sufre de dolor cervicodorsal.

Tabla 2

Correlación de nivel de conocimiento y sitio de dolor

Nivel de conocimiento	Sitio del dolor							Total, general
	Dolor cervical	Dolor cervico dorsal	Columna completa	Dolor cervico lumbar	Dolor dorsal	Dolor Lumbar	ningún dolor	
Alto	2	1		2		9	3	17
Bajo	1		1		4	2		8
Medio	5				5	18	3	31
Total, general	8	1	1	2	9	29	6	56

Por otro lado, entre el 14% de la población (8 personas) que posee un bajo nivel de conocimiento sobre higiene postural, solo el 25% muestra cuadros de dolor lumbar, el 50% experimenta episodios de dolor dorsal y en igual proporción, el 12.5%, presenta dolor cervical y en toda la columna.

Tabla 3

Correlación de nivel de conocimiento y aplicación de higiene postural en la vida cotidiana

Alto	17
No	3
Si	14
Bajo	8
No	6
Si	2
Medio	31
No	9
Si	22
Total, general	56

Entre la población con un nivel alto de conocimiento en higiene postural, solo el 17.65% manifiesta no aplicar estas normas ni en su actividad laboral ni en su vida cotidiana, mientras que el 82.35% sí las practica de manera regular.

En el caso de aquellos con un bajo nivel de conocimiento, que representan el 14% de la muestra, el 75% indica no llevar a cabo prácticas adecuadas de higiene postural,

mientras que solo el 25% sí lo hace a pesar de su limitado conocimiento en este aspecto.

Por otro lado, dentro del grupo con un nivel medio de conocimiento, que comprende al 56% de la población estudiada, el 71% manifiesta realizar buenas prácticas de higiene postural, mientras que el 29% restante no las lleva a cabo.

Tabla 4

Correlación de nivel de conocimiento y duración del dolor en columna

Duración del dolor	Nivel de conocimiento			
	Alto	Bajo	Medio	Total, general
12-24 horas	4	2	4	10
1-7 días	3	2	5	10
más de 7 días	2		2	4
Menos de 12 horas	5	4	17	26
Ningún dolor	3		3	6
Total	17	8	31	56

De una población de 56 empleados de la empresa We Go Global Solution, se evidencia que el 46,43% han presentado episodios de dolor en columna vertebral con una curación menor a las 12 horas, únicamente 7,14% han pasado a fase subaguda con dolor de más de 7 días de duración, el 10,71% no ha manifestado episodios de dolor y de forma equitativa el dolor vario de 12 a 24 horas y de 1 a 7 días.

El propósito del estudio fue establecer la relación entre el nivel de conocimiento de higiene postural y la aparición de dolor lumbar, considerado como una manifestación clínica de enfermedad ergonómica en la columna vertebral. Inicialmente, se examinó la frecuencia de ambas variables, observando que la mayoría de los participantes eran mujeres (59%). Respecto al nivel de conocimiento en higiene postural, el 56% de la población demostró un nivel medio de conocimiento, seguido por un 30% con un nivel alto y un 14% con un nivel bajo. En cuanto al dolor de espalda, el 89.3% de los empleados reportaron esta manifestación. Se observó que aquellos con un nivel de conocimiento bajo presentaron principalmente dolor en la columna completa (12.5%), mientras que los de nivel medio tuvieron mayormente dolor lumbar (58.06%), al igual que aquellos con un nivel alto (52.94%). El predominio del dolor lumbar, especialmente en empleados con conocimientos medios, sugiere una falta de aplicación adecuada de posturas ergonómicas, posiblemente debido a factores como el mobiliario, el estrés o el sedentarismo. Es importante destacar que aquellos sin dolor lumbar presentaron niveles equitativos de conocimiento medio y alto en higiene postural (10.7%).

Conclusiones

Se confirma una estrecha relación entre el nivel de conocimiento de higiene postural y la presencia de dolor de espalda en los empleados de We Go Global Solution. Esto destaca la importancia de la formación en higiene postural como una medida preventiva para mitigar el riesgo de dolor de espalda en el ámbito laboral.

La distribución equilibrada de género en la muestra estudiada sugiere que tanto hombres como mujeres están igualmente expuestos al riesgo de desarrollar dolor de espalda debido a la falta de conocimientos sobre higiene postural.

La mayoría de los empleados (56%) poseen un nivel medio de conocimiento en higiene postural, lo que indica una base sólida de comprensión en este aspecto. Sin embargo, aún queda un porcentaje significativo que requiere fortalecer sus conocimientos para mejorar la prevención del dolor de espalda.

Los resultados revelan que, aunque los empleados con un nivel de conocimiento alto tienen una menor incidencia de no aplicar las normas de higiene postural, aún hay una proporción significativa que no las sigue adecuadamente. Esto subraya la necesidad de implementar estrategias efectivas para fomentar la aplicación práctica de estos conocimientos en el entorno laboral.

Referencias

- Alexandre, N. M. C. (2007). Aspectos ergonômicos e posturais e o trabalhador da área de saúde. *Semina: Ciências Biológicas e da Saúde*, 28(2), Article 2. <https://doi.org/10.5433/1679-0367.2007v28n2p109>
- Borrero Gutiérrez, M. (2019). *Formulación del manual de higiene postural en la empresa ingeniería JOULES M.E.C. LTDA*. [Informe Final de Práctica Social Empresarial y Solidaria como requisito para optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL]. UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA.
- Chacón Borrego, F., Ubago Jiménez, J. L., Guardia García, J. J. la, Padial Ruz, R., & Cepero González, M. (2018). *Educación e higiene postural en el ámbito de la Educación Física: Papel del maestro en la prevención de lesiones: revisión sistemática*. <https://idus.us.es/handle/11441/80483>
- Colombini, D., & Occhipinti, E. (2006). Preventing upper limb work-related musculoskeletal disorders (UL-WMSDs): New approaches in job (re)design and current trends in standardization. *Applied Ergonomics*, 37(4), 441–450. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.04.008>
- Erick, P., Tumoyagae, T., Masupe, T., Erick, P., Tumoyagae, T., & Masupe, T. (2022). Musculoskeletal Disorders in the Teaching Profession. En *Ergonomics—New Insights*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.103916>
- Evelyn, R. N., & Jain, R. (2020). Work-Related Musculoskeletal Disorders and Ergonomic Practices among Dentists in Ludhiana. *CHRISMED Journal of Health and Research*, 7(2), 100. https://doi.org/10.4103/cjhr.cjhr_42_19
- Fabrizio, P. (2009). Ergonomic intervention in the treatment of a patient with upper extremity and neck pain. *Physical Therapy*, 89(4), 351–360. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080209>
- Galindo Morales, G., Lalana Josa, M. P., Sola Martínez, M. B., & Sola Antón, J. (2010). The learning of healthy postural habits and physical exercise in children with slight problems of the vertebral column. *Pediatría Atención Primaria*, 12(46), 215–225.
- Ike, D., Di Lorenzo, V. A. P., Costa, D., & Jamami, M. (2009). Drenagem postural: Prática e evidência. *Fisioter. mov*, 11–17.
- Mansoor, S. N., Al Arabia, D. H., & Rathore, F. A. (2022). Ergonomics and musculoskeletal disorders among health care professionals: Prevention is better than cure. *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*, 72(6), 1243–1245. <https://doi.org/10.47391/JPMA.22-76>
- Minghelli, B., Nunes, C., & Oliveira, R. (2021). Effectiveness of a Back School and Postural Education Program on the improvement of literacy about postures and low back pain in adolescents: A 1-year follow-up study. *Journal of Orthopaedic Science: Official Journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 26(4), 543–547. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2020.05.014>
- Montoya-Gómez, D. A. (2020). *La actividad física como estrategia de intervención para el fomento de la higiene postural en los mineros de socavón del municipio de Caicedo Antioquia* [Bachelor thesis, Universidad Católica de Oriente]. <https://repositorio.uco.edu.co/jspui/handle/20.500.13064/394>
- Munaga, S., Rawtiya, M., Khan, S., Chitumalla, R., Kubagiri, S. K. R., & Sajjan, P. (2013). Assessment of knowledge, practices, and work place condition related to ergonomics among dental students of Bhopal city—A questionnaire study.

Journal of Orofacial Sciences, 5(2), 109. <https://doi.org/10.4103/0975-8844.124254>

Soriano-Porras, D. M., Clila-Luna, A. B., Gómez Garcia, P., & Díaz Hernández, A. (2022). Musculoskeletal disorders and ergonomic risks in the administrative staff of an IES. *Revista de Fisioterapia y Tecnología Médica*, 20–26. <https://doi.org/10.35429/JP.2022.16.6.20.26>

Estabilidad de sistemas lineales en tiempo continuo Stability of Linear Systems in Continuous Time

Argenis Alexander Ángel Sáez ¹

Resumen:

El presente trabajo tiene como propósito analizar la estabilidad absoluta de sistemas de control lineales en tiempo continuo que se basan en el criterio de estabilidad de Routh y de la ganancia límite. Para esto se proporcionan las teorías asociadas de estabilidad en función a las raíces de ecuación característica (polos en lazo cerrado), así como el efecto de la variación de un parámetro de ganancia cuando se entona un controlador PID de forma analítica, es decir, si se conocen los modelos matemáticos de la planta y utilizando las relaciones dadas por Ziegler-Nichols. Se emplea Simulink de Matlab para observar de forma gráfica las respuestas de sistemas que son estables o no y cómo influye el controlador PID diseñado por el método de la ganancia límite en la trayectoria de lazo cerrado de un sistema de control.

Palabras clave: Criterio de estabilidad, ecuación característica, estabilidad absoluta, ganancia límite, sistema de control

Abstract:

The aim of this work is the analysis of the absolute stability of linear control systems in continuous time, based on the criterion of Routh's stability and the ultimate gain. To achieve this, we reviewed the theories associated to stability as a function of the roots of the system characteristic equation (closed-loop poles), as well as the effect on the variation of a gain parameter when a PID controller is analytically tuned by Ziegler-Nichols's relations, once mathematical models of the plant are known. The application of Matlab Simulink was used to graphically observe whether the shape of the systems response is stable or not and to observe as well how the PID controller, tuned by the ultimate gain method, influences on the closed-loop trajectory in a control system.

Keywords: Criterion of stability, characteristic equation, absolute stability, ultimate gain, control system

¹ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Ingeniero Electrónico, <https://orcid.org/0009-0004-0274-0333>
Autor de correspondencia: aalexangelsaez@gmail.com

Introducción

El criterio de estabilidad de Routh proporciona una prueba satisfactoria a la estabilidad absoluta. Sin embargo, dicho teorema presenta limitaciones para el análisis de un sistema de control lineal, “sobre todo porque no sugiere cómo mejorar la estabilidad relativa ni cómo estabilizar un sistema inestable. Sin embargo, es posible determinar los efectos de cambiar uno o dos parámetros de un sistema si se examinan los valores que producen inestabilidad” (Ogata, 2003, p. 237)

Lo ideal es conseguir un modelo matemático de la planta, con el cual, podría ser posible diseñar diversas técnicas y aplicarlas en el sistema, con la finalidad de establecer parámetros del controlador cumpliendo las especificaciones del estado transitorio y del estado estacionario del sistema en lazo cerrado (Ogata, 2003)

El método de la ganancia límite permite obtener un valor K_U en el cual las oscilaciones de la respuesta de un sistema son de amplitud constante o sostenidas y es aquí donde dicha metodología tiene relación con el criterio de estabilidad de Routh, dado que esto se produce cuando existen polos de lazo cerrado sobre el eje imaginario del plano s , lo que se traduce en un valor ‘cero’ en la columna principal del arreglo de Routh. En el análisis de los sistemas lineales suelen utilizarse funciones de transferencia como modelos matemáticos que generalmente se obtienen de las ecuaciones diferenciales dinámicas que describen el comportamiento del sistema, haciendo énfasis en las entradas y salidas del proceso en estudio.

La función de transferencia de un sistema $G(s)$ descrito mediante una ecuación diferencial lineal e invariante con el tiempo se define como el cociente entre la transformada de Laplace de la salida (función de respuesta) y la transformada de Laplace de la entrada (función de excitación) bajo la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero Ogata, K. (2003).

$$G(s) = \left(\frac{L\{Salida\}}{L\{Entrada\}} \right) | C.I. = 0 \quad (1)$$

Considere el sistema lineal e invariante con el tiempo descrito mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$\overset{(n)}{a_n}y + \overset{(n-1)}{a_{n-1}}y + \dots + \overset{(1)}{a_1}\dot{y} + a_0y = \overset{(m)}{b_m}x + \overset{(m-1)}{b_{m-1}}x + \dots + b_1\dot{x} + b_0x \quad (2)$$

En donde y es la salida del sistema y x es la entrada. La función de transferencia de este sistema se obtiene tomando la transformada de Laplace de ambos miembros de la ecuación (1) en forma independiente, con la suposición de que todas las condiciones iniciales son cero y se obtiene:

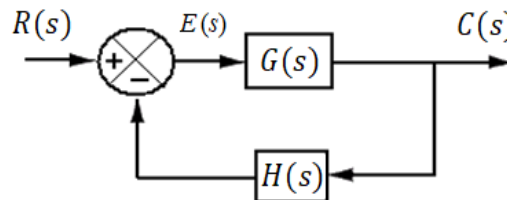
$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_ms^m + b_{m-1}s^{m-1} + \dots + b_1s + b_0}{a_ns^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_1s + a_0} \quad (3)$$

Utilizando este concepto de función de transferencia se puede representar la dinámica de un sistema por ecuaciones algebraicas en s . Si la potencia más alta de s en el denominador de (2) es n se dice que el sistema es de orden n .

Considere el sistema de lazo cerrado de la figura1

Figura 1

Diagrama de control de lazo cerrado



La función de transferencia en lazo cerrado es

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \quad (4)$$

Siendo la ecuación característica del sistema

$$1 + G(s)H(s) = 0 \quad (5)$$

Por otro lado, la señal de error se obtiene mediante

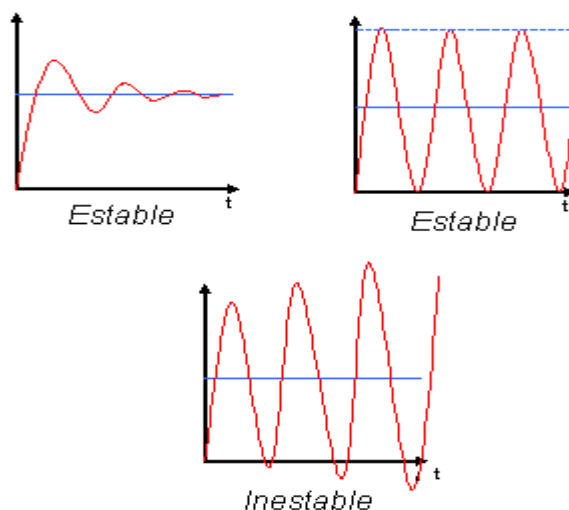
$$E(s) = R(s) - C(s)H(s) \quad (6)$$

Estabilidad

Un sistema es estable si responde en forma limitada a una excitación limitada tal como un impulso unitario (Llata y Gonzalez, 2021). Un sistema estable es aquel en que los transitorios decaen, es decir, la respuesta transitoria desaparece para valores crecientes del tiempo.

Figura 2

Respuestas transitorias



Para esto sólo es necesario calcular las raíces del denominador de la función de transferencia del sistema (ecuación característica), y comprobar su posición en el plano complejo s , para saber si el sistema es estable y cómo afecta cada una de las raíces.

En este sentido se sugiere que los coeficientes de t en los términos exponenciales de la respuesta transitoria (soluciones de la ecuación diferencial en el dominio del tiempo que caracteriza al sistema) sean números reales negativos o números complejos con parte real negativa. Esto implica que para que un sistema sea estable las raíces de la ecuación característica deben ser negativas o con parte real negativa. Esto es ya que la ecuación característica representa la parte transitoria (homogénea) de la ecuación que rige el sistema. De lo anterior se puede decir que la estabilidad no depende de la entrada, sino que es una característica propia del sistema.

Metodología

El presente estudio corresponde al tipo de investigación descriptiva – analítica, debido a que se realiza según el análisis y alcance de los resultados obtenidos y metodología de enfoque cuantitativo donde los resultados se obtienen mediante cálculos y simulaciones sustentadas en las teorías existentes del tema. El estudio aplica los métodos del criterio de estabilidad de Routh y de la ganancia límite.

Criterio de Estabilidad Routh

Es un método que se emplea para determinar si la ecuación característica tiene o no raíces con parte real positiva sin necesidad de determinar el valor preciso de

estas raíces Smith, C. (2008). Como casi todos los sistemas lineales en lazo cerrado tienen funciones de transferencia para $n \geq m$ de la forma dada en la ecuación (2)

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$

La ecuación característica de este sistema viene dada mediante:

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0 \quad (6)$$

El criterio de estabilidad de Routh, permite determinar la cantidad de polos en lazo cerrado que se encuentran en el semiplano derecho del plano s . El procedimiento en el criterio de estabilidad de Routh es el siguiente:

1. Si alguno de los coeficientes de la ecuación característica es cero o negativo, ante la presencia de al menos un coeficiente positivo, hay una raíz, o raíces imaginarias o que tiene partes reales positivas. En tal caso, el sistema no es estable. Si sólo interesa la estabilidad absoluta, no es necesario continuar con el procedimiento.
2. Si todos los coeficientes son positivos, se ordenan los coeficientes del polinomio en renglones y columnas de acuerdo con el patrón o arreglo siguiente que se muestra en la tabla 1:

Figura 3

Arreglo de Routh

s^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}	$\dots$
s^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}	$\dots$
s^{n-3}	b_1	b_2	b_3	$\dots$
s^{n-4}	c_1	c_2	c_3	$\dots$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$
s^0	a_0	0	0	0

Donde: $a_n, a_{n-1}, \dots, a_0$: son los coeficientes de la ecuación característica. El resto de los coeficientes se obtienen mediante las relaciones:

$$b_1 = \frac{a_{n-1}a_{n-2} - a_n a_{n-3}}{a_{n-1}}$$

$$b_2 = \frac{a_{n-1}a_{n-4} - a_n a_{n-5}}{a_{n-1}}$$

$$b_3 = \frac{a_{n-1}a_{n-6} - a_n a_{n-7}}{a_{n-1}}$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_{n-3} - a_{n-1} b_2}{b_1}$$

$$c_2 = \frac{b_1 a_{n-5} - a_{n-1} b_3}{b_1}$$

La tabla se continúa horizontal y verticalmente hasta que solo se obtengan ceros. El criterio de Routh dice que:

- Todas las raíces de la ecuación característica tienen partes reales negativas si todos los elementos de la primera columna de la tabla de Routh tienen el mismo signo.
- De lo contrario el número de raíces con partes reales positivas es igual al número de cambios de signo.
- Si existe un cero no terminal el sistema tiene un par de raíces imaginarias puras.
- Si existen ceros terminales implica una raíz cero.

El criterio de estabilidad de Routh no sugiere cómo mejorar la estabilidad relativa ni cómo estabilizar un sistema inestable. Sin embargo, es posible determinar los efectos de cambiar uno o dos parámetros de un sistema si se examinan los valores que producen inestabilidad.

Método de la Ganancia Límite

Si se conoce la función de transferencia de la planta, se puede calcular la respuesta escalón unitario o la ganancia límite K_U y el periodo límite T_U . Para esta regla se establece que $T_i = \infty$ y $T_d = 0$, usando sólo la acción de control proporcional. Se incrementa el valor de K_p de 0 a un valor crítico K_U en donde la salida exhiba primero oscilaciones sostenidas. (Si la salida no presenta oscilaciones sostenidas para cualquier valor que pueda tomar K_p , no se aplica este método).

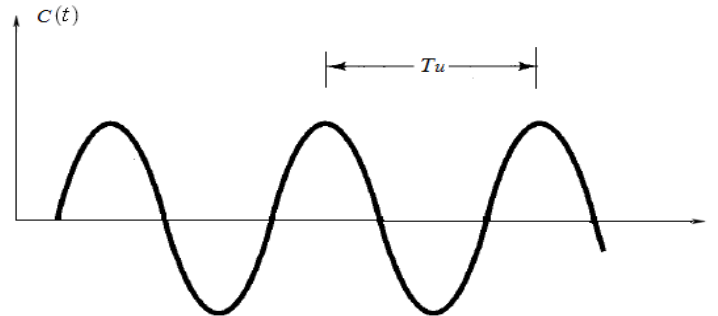
En la práctica con el controlador en automático (lazo cerrado), se incrementa la ganancia proporcional (o se reduce la banda proporcional), hasta que el sistema oscila con amplitud constante; se registra el valor de la ganancia con que se produce la oscilación sostenida como K_U . Este paso se debe efectuar con incrementos discretos de la ganancia, alterando el sistema con la aplicación de pequeños cambios en el punto de control (consigna a cada cambio en el establecimiento de la ganancia).

Los incrementos de la ganancia deben ser menores conforme ésta se aproxime a la ganancia límite.

Por tanto, la ganancia límite K_U y el periodo T_U correspondiente se determinan también experimentalmente

Figura 4

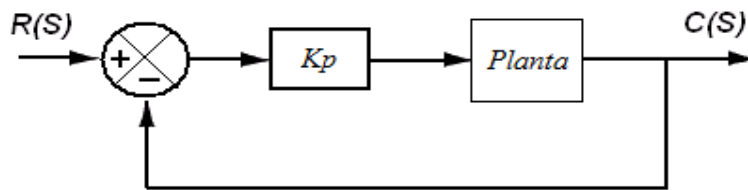
Salida con oscilaciones sostenidas



Esquema de flujo para el calculo de la onda tomando en cuenta la constante y el proceso descrito.

Figura 5

Sistema de control sólo proporcional con realimentación unitaria



Acción de control proporcional – integral – derivativa (PID).

Viene dada como la combinación de una acción de control proporcional, una acción de control integral y una acción de control derivativa (la salida del controlador es proporcional al error, a su derivada y a su integral). Esta acción combinada tiene las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. Ogata, K. (2003). Si $e(t)$ es la señal de error en el dominio del tiempo, la ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{d}{dt}(e(t)) \quad (7)$$

O bien

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt}(e(t)) \quad (8)$$

Donde T_i y T_d corresponden a los tiempos integral y derivativo, mientras que K_p , K_i y K_d son las ganancias Proporcional, Integral y Derivativa respectivamente.

Conocidos los parámetros T_u y K_u bien sea experimentalmente o por medio del análisis de la ecuación característica del sistema en conjunto con el estudio de la estabilidad en lazo cerrado, se emplean las ecuaciones dadas en la tabla 2 por Ziegler-Nichols para el ajuste del controlador.

Tabla 6.

Ecuaciones de Ziegler-Nichols

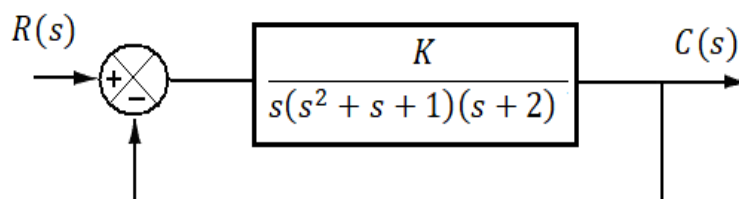
	K_p	T_i	T_d
P	$0.5 K_u$		
PI	$0.45 K_u$	$\frac{T_u}{1.2}$	
PID	$0.6 K_u$	$\frac{T_u}{2}$	$\frac{T_u}{8}$

Resultados y discusión

Aplicación del criterio de estabilidad de Routh al análisis de un sistema de control.

Figura 7

Considerando el sistema con realimentación unitaria de la figura



Debe existir un rango de valores de K para la estabilidad de dicho sistema. En este sentido la función de transferencia en lazo cerrado es

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{s(s^2 + s + 1)(s + 2) + K}$$

Siendo la ecuación característica del sistema

$$1 + \frac{K}{s(s^2 + s + 1)(s + 2)} = 0$$

O bien

$$s^4 + 3s^3 + 3s^2 + 2s + K = 0$$

El arreglo de coeficientes para el criterio de estabilidad de Routh es como sigue

s^4	1	3	K
s^3	3	2	0
s^2	$7/3$	K	
s^1	$2 - 9/7K$		
s^0	K		

Para la estabilidad

$$K > 0, \quad 2 - 9/7K > 0$$

Donde

$$0 < K < 14/9$$

Con este análisis se puede determinar que los valores de la ganancia K que garantizan una respuesta amortiguada o de oscilaciones sostenidas se encuentran en el intervalo $(0, 14/9)$

Empleo de simulink de matlab para el estudio de la estabilidad en un sistema de control

Simulink es una toolbox especial de matlab que se emplea para simular el comportamiento de los sistemas dinámicos tanto lineales como no lineales, modelos en tiempo continuo, tiempo discreto y sistemas híbridos. Es un entorno gráfico en el cual el modelo a simular se construye tomando los elementos disponibles en las librerías de simulink y arrastrando los diferentes bloques que lo constituyen. Los modelos simulink se guardan en ficheros con extensión *.mdl.

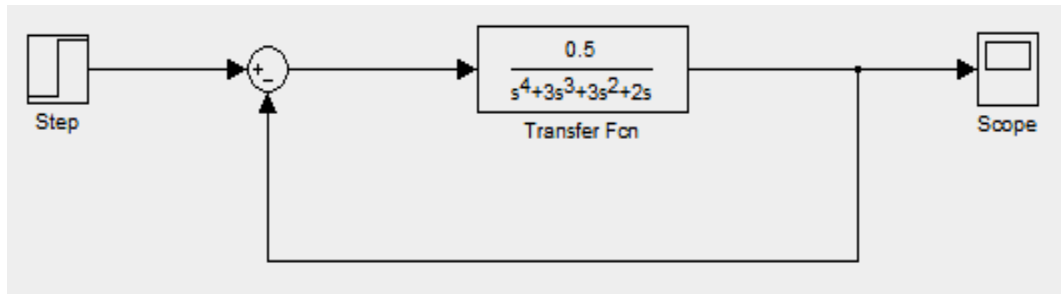
Tomando el ejemplo anterior donde la estabilidad se logra para valores de la ganancia entre 0 y $14/9$; además teniendo en cuenta que

$$s(s^2+s+1)(s+2) = s^4 + 3s^3 + 3s^2 + 2s$$

Se implementan los módulos que simulan el comportamiento del sistema para $K = 0.5$

Figura 8

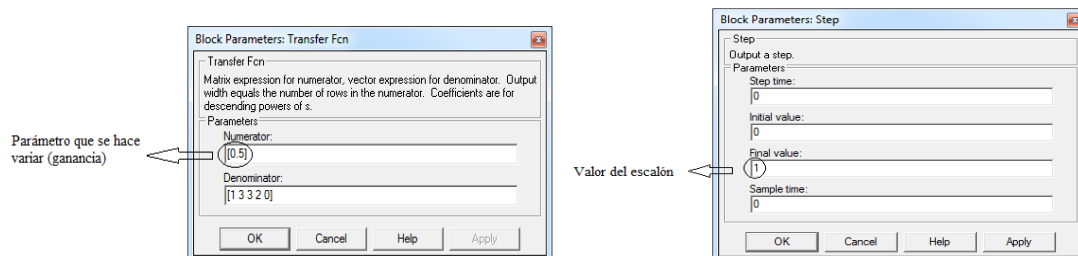
Diagrama de función



En el módulo Transfer Fcn se ejecuta la función de transferencia de lazo abierto del presente sistema de cuarto orden, cuyos parámetros de entrada se introducen como se muestra en la siguiente figura. Se usa como referencia un escalón unitario dado que es la señal por excelencia en este tipo de pruebas, y a la salida se conecta el osciloscopio virtual que permite observar la señal de salida o respuesta del sistema al escalón

Figura 9

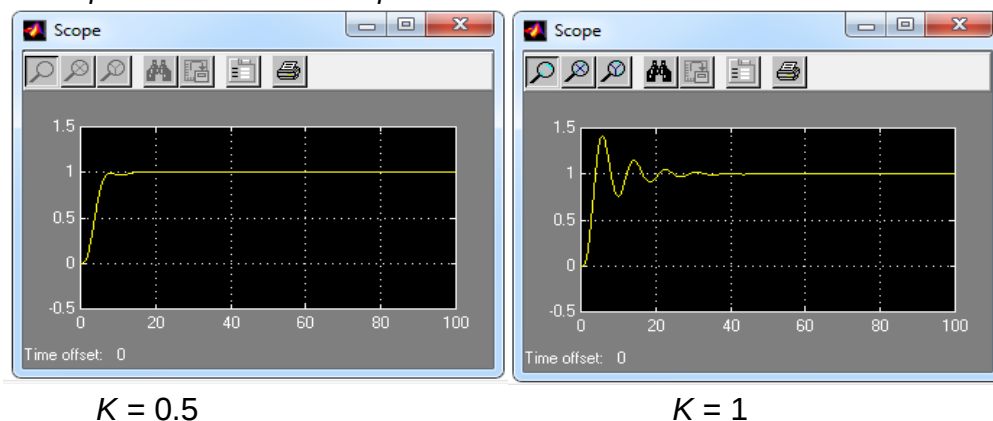
Rangos de programación



Cambiando ahora K para un par de valores que se encuentran en el rango de estabilidad resulta la siguiente grafica que se puede observar en la figura 10

Figura 10

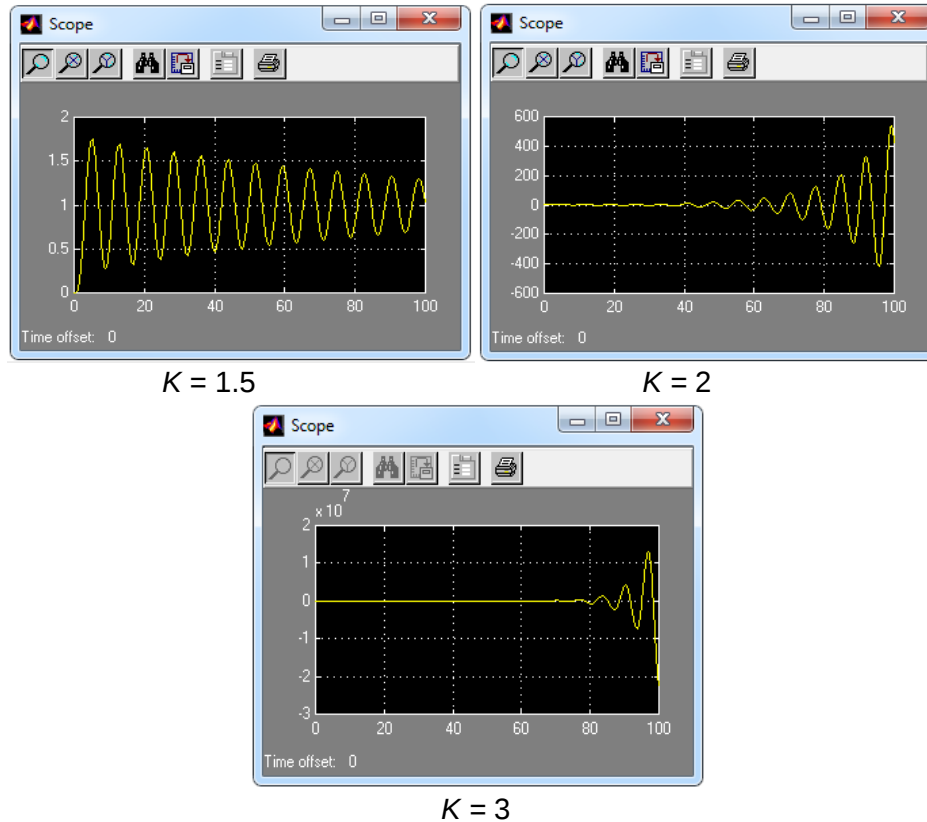
Vista de la respuesta en el osciloscopio virtual de Simulink



Al utilizar ahora valores de la ganancia fuera del rango estable se obtiene, en ambos casos las oscilaciones aumentan su amplitud conforme crece el tiempo, por lo tanto, el sistema se vuelve inestable, como se puede observar en la figura 11.

Figura 11

Simulación con valores fuera de rango

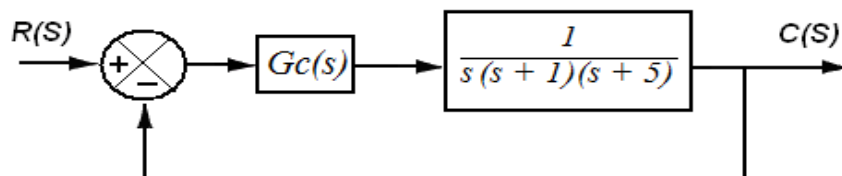


Determinación de la ganancia límite y entonación del controlador PID

En el sistema de la figura se tiene realimentación unitaria

Figura 12

Ecuación y diagrama



El proceso (Actuador – Planta) viene representado por la función de transferencia

$$G(s) = \frac{1}{s(s+1)(s+5)}$$

Haciendo $G_c(s) = K_p$, la función de transferencia en lazo cerrado del sistema se escribe como

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K_p}{s(s+1)(s+5) + K_p}$$

Donde la ecuación característica es

$$1 + G_c(s)G(s) = 0$$

Resultando la ecuación de tercer orden

$$s^3 + 6s^2 + 5s + K_p = 0$$

Aplicando el arreglo de Routh se obtiene

s^3	1	5
s^2	6	K_p
s^1	$(30 - K_p)/6$	
s^0	K_p	

De la primera columna del arreglo se deduce que la **ganancia límite** para la oscilación sostenida es

$$K_p = K_U = 30$$

Con esto la ecuación característica se convierte en

$$s^3 + 6s^2 + 5s + 30 = 0$$

Para encontrar la frecuencia de la oscilación sostenida (frecuencia límite), se sustituye $s = j\omega$ en la ecuación característica:

$$(j\omega)^3 + 6(j\omega)^2 + 5(j\omega) + 30 = 0$$

Separando las partes real e imaginaria resulta

$$(30 - 6\omega^2) + (5 - \omega^2)j\omega = 0$$

Por lo tanto se tiene que $\omega^2 = 5$ o bien $\omega = 2.24$, El período de la oscilación sostenida (período límite) se obtiene mediante

$$T_u = 2\pi/\omega = 2\pi/2.24 = 2.8$$

En cuanto a los parámetros del controlador PID se emplean las ecuaciones dadas por Ziegler-Nichols para el método de ganancia límite

$$\begin{aligned}
 K_p &= 0.6 K_u = 18 \\
 T_i &= 0.5 T_u = 1.4 \\
 T_d &= 0.125 T_u = 0.35
 \end{aligned}$$

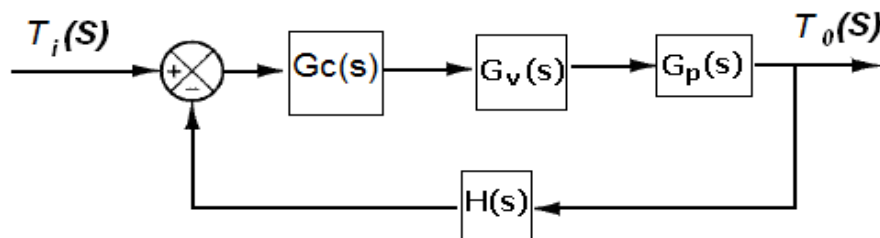
Suponga que se desea determinar la ganancia límite de un controlador de temperatura para un intercambiador de calor si el sistema presenta las siguientes características en los elementos de lazo cerrado:

Planta (Intercambiador)	Válvula	Sensor – Transmisor
$G_p(s) = \frac{50}{30s + 1}$	$G_v(s) = \frac{0.016}{3s + 1}$	$H(s) = \frac{1}{10s + 1}$

Considerando la disposición básica de los elementos en un bucle de control se tiene el sistema real

Figura 13

Proceso de calculo



Para este sistema, se escribe la ecuación característica en la forma

$$1 + G_c(s)G_v(s)G_p(s)H(s) = 0$$

Haciendo $G_c(s) = K_p$ y sustituyendo el resto de los elementos se obtiene

$$1 + K_p \cdot \frac{0.016}{3s + 1} \cdot \frac{50}{30s + 1} \cdot \frac{1}{10s + 1} = 0$$

Al efectuar los productos y simplificar resulta

$$900s^3 + 420s^2 + 43s + 1 + 0.8K_p = 0$$

El arreglo de Routh es el siguiente

s^3	900	43
s^2	420	$1 + 0.8 K_p$
s^1	b_1	
s^0	$1 + 0.8 K_p$	

Donde

$$b_1 = \frac{(420)(43) - 900(1 + 0.8 K_p)}{420} = \frac{17160 - 720 K_p}{420}$$

Para la estabilidad se requiere:

$$K_p \geq -1.25$$

$$17160 - 720 K_p \geq 0 \text{ siendo } K_p \leq 23.8$$

Dado que la primera condición no satisface el criterio (una ganancia negativa significa que la acción del controlador no es la correcta), se toma la segunda condición esto es:

$$K_p = K_U = 23.8$$

Se hace $s = j\omega$ en la ecuación característica para encontrar la frecuencia de la oscilación sostenida

$$900(j\omega)^3 + 420(j\omega)^2 + 43(j\omega) + 1 + 0.8 K_p = 0$$

Lo cual conduce al siguiente sistema

$$-420\omega^2 + 1 + 0.8 K_p = 0$$

$$-900\omega^3 + 43\omega = 0$$

Con soluciones:

Para $\omega = 0$ se obtiene $K_U = -1.25$

Para $\omega = 0.218$ se obtiene $K_U = 23.8$

La primera solución implica que el sistema no oscila, si no que se mueve de forma monótona en una dirección u otra, por lo tanto el valor que interesa es $\omega = 0.218$

El período de la oscilación sostenida es entonces

$$T_u = 2\pi/\omega = 2\pi/0.2186 = 28.7$$

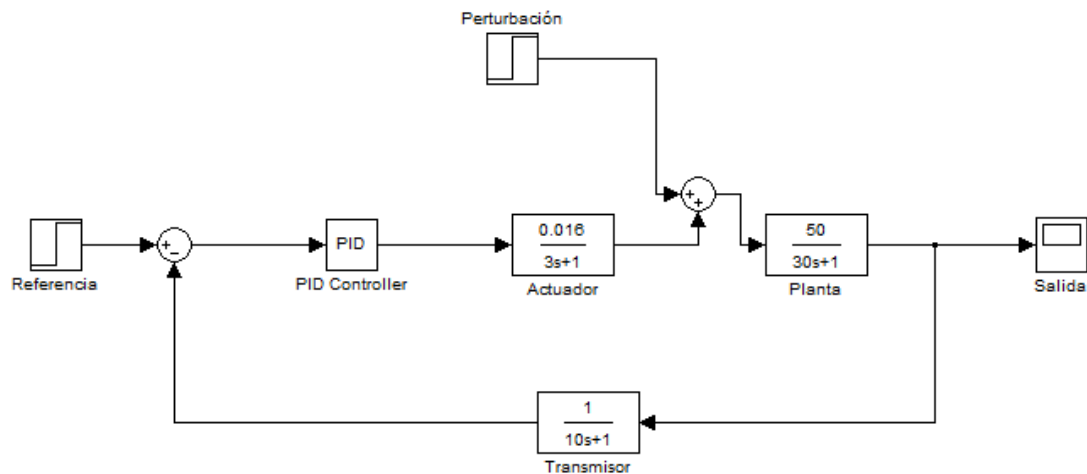
Finalmente, los parámetros del controlador de temperatura (PID) son

$$K_p = 0.6 \quad K_u = 14.28; \quad T_i = 0.5 \quad T_u = 14.35; \quad T_d = 0.125 \quad T_u = 3.59$$

La implementación de este sistema en simulink de Matlab puede hacerse como

Figura 14

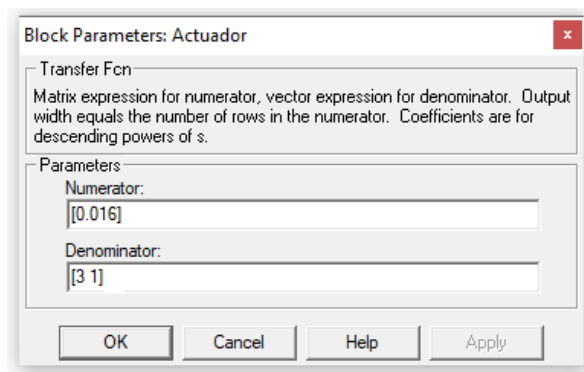
Diagrama de calculo



Aquí se utiliza la función escalón de 5 unidades tanto para la señal de referencia como para la perturbación. En el caso del actuador se emplea el módulo:

Figura 15

Ecuaciones de salida



De forma análoga se procede en los bloques de la planta y el transmisor. Por otro lado, simulink contiene un módulo para simular controladores PID, donde los parámetros que se solicitan son las ganancias Proporcional, Integral y Derivativa, en este sentido:

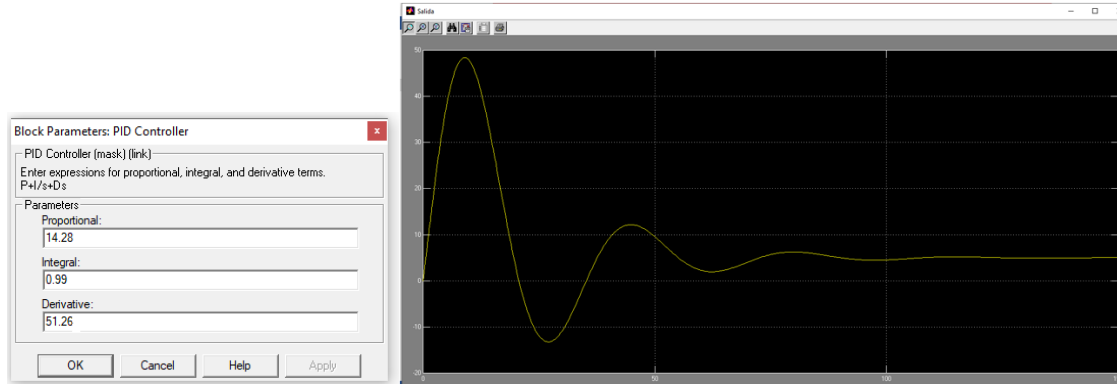
$$K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{14.28}{14.35} = 0.99$$

$$K_d = K_p T_d = (14.28)(3.59) = 51.26$$

La ecuación presenta el proceso de cálculo, mientras que la figura 16 presenta el resultado y la grafica simulada en el programa, Una vez aplicados los valores de las ganancias.

Figura 16

Resultado de simulación



Se observa oscilaciones iniciales que son amortiguadas aproximadamente después de 100 segundos, llegando a estabilizarse en el valor 5 que corresponde a la referencia.

La variación de los niveles de ganancia en el intervalo válido para la estabilidad obtenido a partir del criterio de Routh, permitirá determinar el efecto positivo o negativo de dicha variación lo cual suele considerarse en aplicaciones de diseño de sistemas de control de forma general; así mismo conocidos los valores de la ganancia límite, el período y frecuencia límites se puede ajustar un controlador PID por medio de las ecuaciones de Ziegler-Nichols que permita mantener regulado el sistema para un valor de referencia establecido.

La implementación de los sistemas lineales en simulink de matlab permiten observar respuestas condicionadas a valores de la ganancia considerada y estimar la duración los transitorios, así como el tiempo en que se produce el régimen permanente en respuestas subamortiguadas. Así mismo se pueden apreciar las salidas con oscilaciones obtenidas (sinusoides no amortiguadas) que ocurren en la ganancia límite y que a partir de la misma el sistema se vuelve inestable exhibiendo oscilaciones crecientes en amplitud.

Cabe destacar que la utilización del *PID Controller* de simulink permite verificar el comportamiento del sistema introduciendo correctamente en el bloque virtual los valores de las ganancias proporcional, integral y derivativa obtenidas en los cálculos manuales. Para valores correctos el controlador mantendrá los niveles de la salida en valores convergentes a la señal de referencia que para efectos de simulación se usó un escalón de amplitud constante.

Conclusiones

Cuando se tienen sistemas lineales representados mediante diagramas de bloque y funciones de transferencia, la presencia de un parámetro de ganancia en la trayectoria principal de lazo cerrado determina en gran medida la estabilidad absoluta del sistema. A través del criterio de estabilidad de Routh se puede conocer el rango de valores que debe tener esta ganancia para que el sistema exhiba en su salida respuestas amortiguadas o en su defecto con oscilaciones sostenidas.

El método de la ganancia límite usa básicamente el criterio de Routh, siempre y cuando se tenga información de los modelos matemáticos de los elementos del sistema, para encontrar la ganancia que produce la estabilidad marginal (máximo valor de la ganancia) en la cual tienen lugar las oscilaciones sostenidas. Esto se obtiene de suponer una expresión que contenga a la ganancia igualada a cero en la primera columna del arreglo de Routh.

En simulink de matlab se puede evaluar esta condición implementado el sistema mediante bloques funcionales donde se cargan los elementos del sistema de control a partir de sus respectivas funciones de transferencia, generadores de funciones para introducir la señal de referencia o perturbaciones y graficadores como osciloscopios virtuales propios del software para observar las respuestas o salidas del sistema.

Referencias

- Ogata, K. (2003) ***“Ingeniería de Control Moderna”***. Pearson Educación. Madrid, España.
- Ogata, K. (2003) ***“Ingeniería de Control Utilizando Matlab”***. Un enfoque práctico. Prentice Hall. Madrid, España.
- Smith, C. (2008) ***“Control Automático de Procesos”***. Editorial Limusa. México.
- Kuo, B. (1996) ***“Sistemas de Control Automático”***. Pearson Prentice Hall. Séptima Edición.
- Dorf, R. y Bishop R (2005) ***“Sistemas de Control Moderno”***. Pearson Prentice Hall. Décima Edición.

Diseño de un molde de corte para arandelas automotrices **Design of a cutting mold for automotive washers**

Jairo Edison Guasumba Maila¹, Diego Andres Calero Torres², Luis Patricio Criollo Yanchatipan³, Victor Alfonso Garay Cisneros⁴.

Resumen:

En la industria automotriz, la fabricación de componentes de precisión, como las arandelas, requiere moldes de corte de alta calidad y precisión. Este estudio analiza el diseño de un molde de corte utilizando SolidWorks 2018, una herramienta de modelado 3D ampliamente utilizada en ingeniería. La matricería es una técnica de manufacturación en frío que permite obtener elementos mediante el uso de una prensa, logrando fabricar varias piezas a la vez por corte o deformación. Los materiales más utilizados para la fabricación de moldes son el Acero K100, el AISI 1045 y el 4340, seleccionados por su tenacidad, resistencia y capacidad para soportar altas temperaturas. Utilizando el Método de Elementos Finitos (MEF), se aplica una fuerza de corte de 50.26 KN para el diámetro menor de la arandela y 80.52 KN para el diámetro mayor. El diseño de la matriz de corte es aceptado con un factor de seguridad de 3.7, dentro del rango recomendado de 2.5 a 4 según Robert Mott. Las partes que conforman la matriz incluyen la placa inferior y superior, la placa porta matriz, punzones, columnas de Ø25 y Ø45 mm, prensas chapas, topes, guías y matrices de corte.

Palabras clave: Matricería, Cizallamiento, Método de Elementos Finitos, Fuerza de corte, Matriz.

Abstract:

In the automotive industry, the manufacturing of precision components, such as washers, requires high quality and precision cutting molds. This study analyzes designing a cutting mold using SolidWorks 2018, a tool 3D modeling widely used in engineering. Die-casting is a technique of cold manufacturing that allows elements to be obtained through the use of a

¹ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Diseño Mecánico con Mención en Fabricación de Autopartes, <https://orcid.org/0000-0002-0533-0397>

² Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Energías Renovables, <https://orcid.org/0000-0003-4754-4251>

³ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Educación Mención en Gestión del Aprendizaje Mediado por TIC, <https://orcid.org/0000-0003-3647-2918>

⁴ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Magister en Educación Mención en Gestión del Aprendizaje Mediado por TIC, <https://orcid.org/0000-0001-6739-9309>

Autor de correspondencia: jguasumba@istte.edu.ec

press, managing to manufacture several pieces at the same time by cutting or deformation. The most used materials for the manufacture of molds are K100 Steel, AISI 1045 and 4340, selected for their toughness, resistance and ability to withstand high temperatures. Using the Finite Element Method (MEF), a cutting force of 50.26 KN is applied for the smallest diameter of the washer and 80.52 KN for the largest diameter. The design of the cutting die is accepted with a safety factor of 3.7, within the recommended range of 2.5 to 4 according to Robert Mott. The parts that make up the matrix include the bottom plate and upper, the matrix holder plate, punches, Ø25 and Ø45 mm columns, presses plates, stops, guides and cutting matrices.

Keywords: Tooling, Shearing, Finite Element Method, Cutting force, Matrix.

Introducción

La industria ecuatoriana ha desarrollado nuevos procedimientos de trabajo, los cuales obtuvieron gran énfasis, a partir de la inclusión de producción que se dio en el país, destacando la producción de elementos en serie los mismos que se originan por la matricería, obteniendo una diversidad de productos.

La matricería es una técnica de manufacturación en frío que permite obtener un determinado elemento mediante el uso de una prensa, pudiendo producir varias piezas a la vez a través de corte o deformación, conservando el espesor inicial. Este proceso implica el uso de dispositivos mecánicos formados por un punzón y una matriz, donde se aplica una fuerza de compresión sobre la chapa, comenzando con una deformación, seguido de un cizallamiento y la rotura del material, y finalizando con la expulsión de la pieza cortada (García et al., 2018).

Las arandelas son componentes esenciales en la industria automotriz, utilizadas en múltiples aplicaciones para distribuir la carga de roscas de tornillo, reducir la fricción y prevenir el desgaste. La calidad de estas piezas depende en gran medida de la precisión del molde de corte utilizado en su fabricación. El objetivo de este estudio es analizar el diseño de un molde de corte para arandelas automotrices utilizando SolidWorks 2018, y evaluar cómo el modelado 3D puede optimizar el proceso de diseño y fabricación. Según Alvarado, Hernández y Montes (2014), una matriz generalmente está compuesta por el punzón y la matriz de corte. El punzón está fijado a una placa llamada porta punzones, que a su vez cuenta con un vástago sujeto a un cabezal. La matriz de corte, por otro lado, está asegurada a una placa porta matriz y puede incluir o no un extractor. Esta configuración incluye también una base matriz con un expulsor.

La matricería es un proceso de manufactura en frío que implica el uso de una prensa para cortar o deformar material, generalmente metal, para obtener piezas de formas específicas. Este proceso se realiza mediante dispositivos mecánicos compuestos por punzones y matrices. La técnica de corte mediante matricería conserva el espesor inicial del material y consta de varias etapas: aplicación de una fuerza de compresión, deformación inicial, cizallamiento y ruptura del material, y finalmente, la expulsión de la pieza cortada.

Las fuerzas de corte actuantes según Archundia, 2015 en el proceso de corte son:

- Fuerza horizontales y verticales de corte actuantes en el punzón
- Fuerzas de fricción horizontales y verticales actuantes en el punzón.
- Fuerza de reacción de la matriz
- Fuerzas horizontales y verticales actuantes en la matriz.
- Fuerzas de fricción horizontales y verticales actuantes en la matriz.
- Momentos actuantes en la tira.
- Momentos internos en la pieza troquelada.

La trayectoria de la fuerza de corte está especificada como se detalla a continuación.

Figura 1

Trayectoria de la Fuerza de Corte



Nota: Archundia, 2015

La selección de materiales para estos componentes es crucial, y comúnmente se utilizan aceros como K100, AISI 1045 y 4340 debido a sus propiedades de tenacidad, resistencia y capacidad para soportar altas temperaturas.

Acero K 100

Se trata de un acero de tipo ledeburíticos de alta resistencia al desgaste y poca resistencia a la tenacidad, con un 12% de cromo, útiles para aumentar la vida de sus herramientas. (BÖHLER, 2013)

Figura 2

Parámetros del Acero K100

Parámetros	Unidades
Densidad (kg/dm ³)	7.70
Conductividad térmica (W/(mK))	20
Calor específico (J/(Kg*K))	460
Resistencia Eléctrica Específica (ohm*mm ² /m)	0.65
Módulo de elasticidad (N/mm ²)	210x10 ³

Nota. BÖHLER, (2013)

El modelado se realiza con una herramienta llamada SolidWorks 2018 que es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que permite la creación de modelos 3D precisos de componentes y ensamblajes mecánicos. Entre sus características destacadas se encuentran:

- **Modelado Paramétrico:** Permite la creación y modificación de modelos a través de parámetros definidos, facilitando cambios y ajustes rápidos.

- **Ensamblajes Complejos:** Capacidad para diseñar y ensamblar múltiples componentes, garantizando que las piezas encajen y funcionen correctamente.
- **Simulación y Análisis:** Herramientas integradas para simular y analizar el comportamiento de los diseños bajo diversas condiciones de carga y operativas, utilizando el Método de Elementos Finitos (MEF).
- **Optimización del Diseño:** Identificación de áreas de alta tensión y posibles puntos de fallo, permitiendo ajustes antes de la fabricación del molde.

El diseño de moldes de corte debe considerar factores de seguridad para garantizar la durabilidad y fiabilidad del molde. Según Robert Mott, un factor de seguridad recomendado para este tipo de aplicaciones es de 2.5 a 4. Este rango asegura que el molde puede soportar las cargas operativas sin fallar prematuramente.

El uso de herramientas de modelado digital como SolidWorks 2018 en el diseño de moldes de corte ofrece múltiples ventajas:

- **Precisión:** Mejora la precisión del diseño, reduciendo errores y retrabajos.
- **Eficiencia:** Acelera el proceso de diseño y permite iteraciones rápidas.
- **Costos:** Reduce los costos asociados con prototipos físicos y pruebas, al permitir simulaciones detalladas en el entorno digital.

CAD se define como Diseño Asistido por computadora o Dibujo Asistido por Computadora, siendo un conjunto de aplicaciones que permiten al ingeniero “definir” un producto a producir, pudiendo representar en 2D y 3D, donde la información analítica incluye relaciones geométricas, algebraicas y restricciones, que pueden ser determinadas, mediante superficies cerradas o extrusiones de sólidos, partiéndose de un boceto inicial que colabore con una idea general de lo que se requiere, permitiendo procesar imágenes, archivos de tipo fotográficos, pudiendo rediseñar productos, mediante el uso de sistemas informáticos de tipo hardware y software, donde el SolidWorks han podido establecer referencias en un mercado educativo mundial. (La Cruz & Casariego, 2007).

Metodología

Esta investigación se enfoca en un estudio descriptivo que explica paso a paso el proceso teórico de análisis de la estructura. También se basa en una técnica de investigación acción participativa, cuyo propósito es conectar el enfoque metodológico con el proceso computacional desarrollado por los participantes, incluyendo tanto a especialistas como a técnicos en el área. Esta integración busca superar la tradicional separación entre sujeto y objeto de estudio (Bernal, 2010).

Aunque esta técnica no es científica en el sentido estricto, los resultados se interpretarán desde un punto de vista técnico mecánico utilizando un enfoque de prueba y error. A lo largo del estudio, se monitoreará detalladamente cada paso del procedimiento para identificar el diseño más adecuado para el molde. Este enfoque colaborativo permite formar un equipo de trabajo cohesionado, que evaluará el proceso de análisis de la estructura mediante la comparación de los resultados computacionales y los obtenidos a través de cálculos.

Para llevar a cabo este análisis, se sigue un enfoque sistemático que incluye las siguientes etapas:

Tabla 1

Proceso de modelado

Etapas	Descripción
Especificaciones de la Arandela	Se establecen las dimensiones, tolerancias y materiales específicos de las arandelas automotrices que se fabricarán
Modelado del Molde de Corte en SolidWorks 2018	Utilizando SolidWorks 2018, se modela el molde de corte, considerando todos los componentes y mecanismos necesarios para el proceso de estampado
Análisis y Optimización del Diseño	Se realiza un análisis del diseño del molde utilizando las herramientas de simulación de SolidWorks, evaluando aspectos como el flujo de material, las tensiones en el molde y el desgaste potencial
Validación del Diseño	Se valida el diseño del molde mediante el Método de Elementos Finitos, en función de los resultados obtenidos en el estudio investigativo

Resultados y discusión

El modelado en SolidWorks permitió visualizar y ajustar detalles críticos del diseño del molde, tales como:

- **Distribución de Fuerzas:** La simulación del flujo de material K – 100 seleccionado y la distribución de fuerzas reveló áreas de alta tensión que fueron reforzadas para prevenir el desgaste prematuro del molde.
- **Precisión Dimensional:** El uso de herramientas de medición y tolerancia en SolidWorks garantizó que las dimensiones del molde cumplieran estrictamente con las especificaciones de las arandelas.
- **Optimización del Proceso de Estampado:** Se identificaron y corrigieron posibles problemas de alineación y funcionamiento de los mecanismos del molde, mejorando la eficiencia del proceso de estampado.

Diseño del ensamble de la matriz

Una vez diseñada las piezas de manera individual se procede a realizar un ensamble, utilizando relaciones de posición coincidentes, concéntricas, entre otras, las cuales son de tipo estándar, avanzadas y mecánicas
Obteniendo finalmente como resultado:

Figura 3

Despiece de la Matriz de Corte de Arandela de $\varnothing_{\text{interior}} 40 \text{ mm}$



Nota. Autores, (2024)

Al analizar la matriz, las placas a troquelar tienen las siguientes dimensiones:

- Diámetro exterior: 66.5 mm
- Diámetro interior: 40 mm
- Espesor de la pieza: 1 mm

Inicialmente se determina:

La fuerza de corte del diámetro menor de la arandela.

Donde:

- e = Espesor: 1 mm
- τ = Límite de Tracción: 400 MPa Material de la Platina – Acero.
- p = Perímetro: 125.66 mm
- F_{c1} = Fuerza de Corte 1

Por lo que la fuerza aplicar es:

$$F_{c1} = \tau * p * e \quad (1)$$

$$F_{c1} = 400 \frac{N}{mm^2} * 125.66 \text{ mm} * 1 \text{ mm} = 50264 \text{ N} = 50.26 \text{ KN} \quad (2)$$

A continuación, se determina la fuerza de corte del diámetro mayor de la arandela.

Donde:

- e = Espesor: 1 mm
- τ = Límite de Tracción: 400 MPa Material de la Platina – Acero.
- p = Perímetro: 208.82 mm
- Fc1 = Fuerza de Corte 2

Por lo que la fuerza aplicar es:

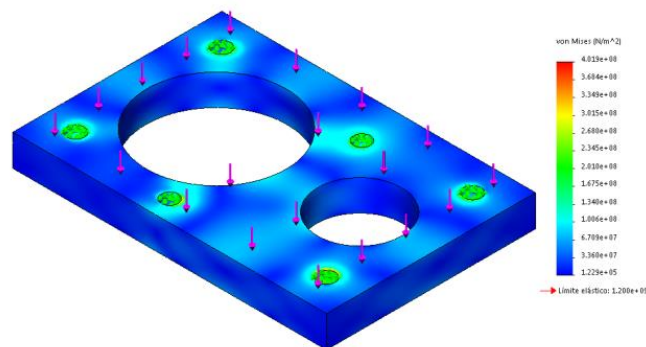
$$Fc2 = \tau * p * e = 400 \frac{N}{mm^2} * 208.82 \text{ mm} * 1 \text{ mm} = 83528 \text{ N} = 83.52 \text{ KN}$$

Una vez definida la Fuerza se procede a analizar por el Método de Elementos Finitos. Por lo que los resultados y discusión originados son:

Los resultados obtenidos son aceptables, por lo que se puede identificar que en la sección donde genera mayor tensión, según el código de colores es celeste, con un valor promedio de 6.709e+007 (N/m²), el cual es despreciable.

Figura 4

Análisis de tensiones de la matriz de corte

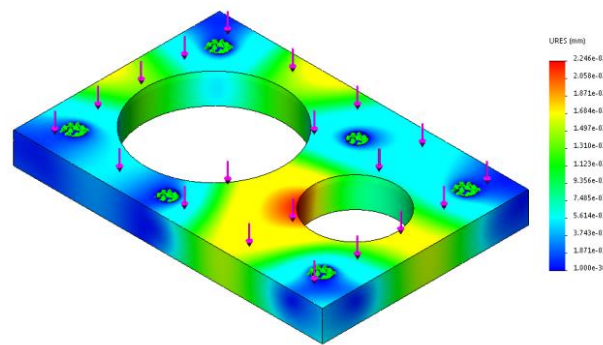


Nota. Autores, (2024)

Los resultados obtenidos son aceptables, por lo que se puede identificar que el mayor desplazamiento originado es de 0.02246 mm.

Figura 5

Análisis de desplazamiento de la matriz de corte

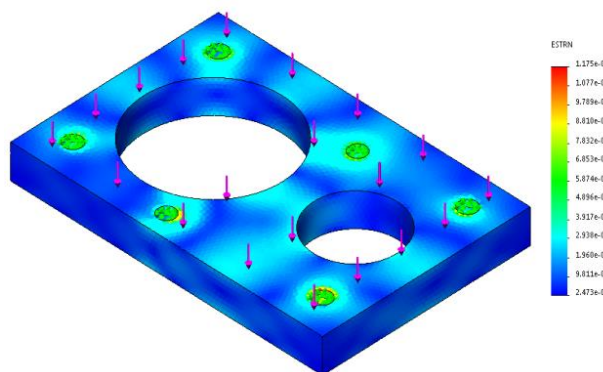


Nota. Autores, (2024)

Los resultados obtenidos al igual que las tensiones son aceptables, por lo que se puede identificar que en la sección donde genera mayor deformación, según el código de colores es celeste, con un valor promedio de 0.0002938.

Figura 6

Análisis de deformaciones de la matriz de corte

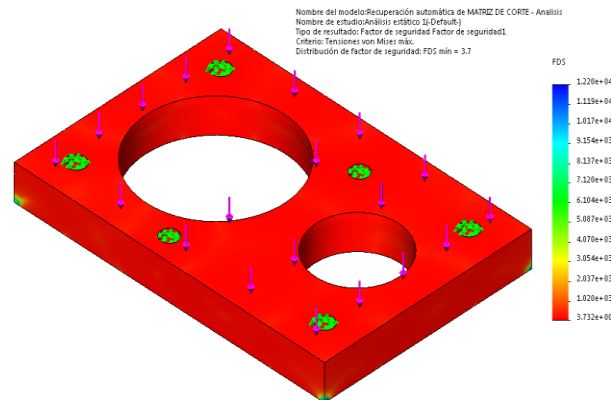


Nota. Autores, (2024)

El factor de seguridad mínimo es de 3.7, el cual según Robert Mott (2006) es útil para diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, el cual recomienda que sea 2.5 a 4, por lo que se da por aceptado el diseño de la matriz de corte.

Figura 7

Análisis del Factor de Seguridad de la matriz de corte



Nota. Autores, 2024

El uso de SolidWorks 2018 en el diseño de moldes de corte para arandelas automotrices demostró ser una herramienta poderosa para mejorar la precisión y eficiencia del proceso de fabricación. La capacidad de simular el comportamiento del molde bajo condiciones reales de uso permite realizar ajustes precisos antes de la producción, reduciendo costos y tiempo de desarrollo.

Conclusiones

La definición precisa de las dimensiones, tolerancias y materiales específicos para las arandelas automotrices es esencial para garantizar la calidad y funcionalidad de los componentes finales. Esta fase inicial permite establecer los parámetros críticos que guiarán el diseño y la fabricación del molde de corte, asegurando que las arandelas cumplan con los requisitos de rendimiento y durabilidad establecidos por la industria automotriz.

El uso de SolidWorks 2018 para modelar el molde de corte ha demostrado ser una herramienta eficaz para visualizar y diseñar cada componente del molde con alta precisión. Este software permite crear modelos detallados que consideran todos los mecanismos necesarios para el proceso de estampado, facilitando la identificación y solución de posibles problemas en la fase de diseño. La capacidad de SolidWorks para manejar ensamblajes complejos asegura que todas las partes del molde encajen y funcionen correctamente desde el inicio.

El análisis del diseño del molde mediante las herramientas de simulación de SolidWorks proporciona una comprensión profunda del comportamiento del molde

bajo condiciones de operación reales. Evaluando el flujo de material, las tensiones en el molde y el desgaste potencial, se pueden realizar ajustes precisos para optimizar el diseño. Esto no solo mejora la eficiencia del proceso de estampado, sino que también prolonga la vida útil del molde, reduciendo costos y tiempos de mantenimiento.

La validación del diseño mediante la comparación con moldes de corte existentes y pruebas de prototipos confirma la precisión y eficiencia del diseño propuesto. Este proceso es crucial para verificar que el molde diseñado en SolidWorks cumpla con los estándares de calidad requeridos y funcione correctamente en un entorno de producción real. La validación también permite identificar y corregir cualquier discrepancia antes de la fabricación en masa, asegurando que las arandelas producidas sean consistentes y de alta calidad.

Analizando el factor de seguridad obtenido para asegurar tanto la durabilidad como la fiabilidad del molde y tomando en cuenta las recomendaciones de Robert Mott, se ha utilizado un factor de seguridad dentro del rango de 2.5 a 4, lo que garantiza que el molde puede soportar las cargas operativas sin fallar prematuramente.

Referencias

- Alvarado, C., Hernández, E., & Montes, A. (2014). *Diseño y fabricación de un troquel progresivo para elaborar una arandela por golpe, Norma DIN 125*. Azcapotzalco: Autor - Editor.
- Archundia, M. (2015). *DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN TROQUEL DE CORTE CON FINES DIDÁCTICOS*. Universitaria: Autor - Editor.
- Alvarado, J., Hernández, P., & Montes, R. (2014). *Fundamentos de la matricería en la industria automotriz*. Editorial Técnica.
- Bernal, C. (2010). *Metodología de la investigación: Administración, economía, humanidades y ciencias sociales* (3ª ed.). Pearson Educación.
- BÖHLER. (2013). *K100*.
- Cía. General de Aceros S.A. (2013). *SAE 1020 Y SAE 1045*. Barranquilla.
- Cruz, J. (2015). *AUTOMATIZACIÓN DE UNA TROQUELADORA Y DISEÑO DE UN TROQUEL PARA ARANDELAS DE COBRE*. Riobamba: Autor - Editor.
- IBCA. (2018). *CATÁLOGO DE PRODUCTOS*. Quito: Autor - Editor.
- Meza, G. (2017). *Diseño de una troqueladora para corte de perfiles de aluminio en la empresa OSPINA SAC-HUANCAYO*. Huancayo: Autor- Editor.
- Robert Mott. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. Naucalpan: PEARSON EDUCACION.

- Saúl, B. (2007). *Dimensionamiento y construcción de una roladora manual para laboratorio*. Quito: Autor - Editor.
- Shigley, Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. Mexico. D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES. S.A. DE C.V.
- García, L., Pérez, J., & Ramírez, M. (2018). *Fundamentos de la Matricería y su Aplicación en la Industria Automotriz*. Editorial Técnica Industrial.
- García, L., Pérez, J., & Ramírez, M. (2018). *Fundamentos de la matricería y su aplicación en la industria automotriz*. Editorial Técnica Industrial.
- Mott, R. (2017). *Machine Elements in Mechanical Design* (6ª ed.). Pearson.
- Smith, J., & Brown, A. (2016). Advances in 3D modeling for automotive manufacturing. *International Journal of Automotive Engineering*, 34(2), 123-135.
<https://doi.org/10.1016/j.ijae.2016.02.003>
- Dassault Systèmes. (2018). *SolidWorks 2018: Fundamentals of 3D Design and Engineering*. Dassault Systèmes.
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 2768-1: General tolerances - Part 1: Tolerances for linear and angular dimensions without individual tolerance indications*. ISO.
- Rodríguez, M. (2019). *Diseño de moldes de corte para arandelas automotrices utilizando SolidWorks* (Tesis de maestría). Universidad Tecnológica de Monterrey, México.
- Society of Automotive Engineers. (2020). *Standards and Publications*. Recuperado de <https://www.sae.org/standards>

Estrategias de eficiencia energética en edificaciones, mediante tratamiento estadístico de datos en la parroquia Tanicuchi

Energy Efficiency Strategies in Buildings through Statistical Data Analysis in the Tanicuchi Parish

Carlos Miguel López Rivas ¹, Franklin Israel Sánchez Gamboa ², Diego Marcelo López Guzmán ³, Edwin Roberto Chancusig Chicaiza ⁴.

Resumen:

El cambio climático es un hecho, y las nuevas tecnologías enfocadas a la eficiencia energética desempeñan un papel fundamental en la mitigación de efectos adversos. La eficiencia energética en edificaciones típicas, es un área innovadora de estudio a nivel mundial, teniendo poca acogida a nivel local, con mínimos estudios en proyectos que involucren esta área de estudio. El objetivo de este estudio es presentar una estrategia de eficiencia energética mediante el uso de energía renovable, esto se lleva a cabo mediante tratamiento estadístico de datos, se recopila información in situ, se aplica fórmulas de proyección y se determina la viabilidad técnica, finalmente Los resultados verifican que la población tiene un porcentaje elevado de afectaciones en su vivienda por uso ineficiente de la energía, como alternativa se presenta un estudio para implementar tecnología solar enfrentando esta problemática.

Palabras clave: Eficiencia energética, edificaciones típicas, energía renovable.

Abstract:

Climate change is a fact, and new technologies focused on energy efficiency play a fundamental role in mitigating adverse effects. Energy efficiency in typical buildings is an innovative area of study worldwide, having little acceptance locally, with minimum studies in projects involving this area of study. The objective of this study is to present an energy efficiency strategy through the use of renewable energy, this is carried out through statistical treatment of data, in situ information is collected, projection formulas are applied and technical viability is determined, finally The results verify that the population has a high percentage of effects on their housing due to inefficient use of energy, as an alternative a study is presented to implement solar technology facing this problem.

Keywords: Energy efficiency, typical buildings, renewable energy.

¹ Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, <https://orcid.org/0009-0005-7513-9845>, Cuarto nivel

² Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, <https://orcid.org/0009-0006-8768-8590>, Cuarto nivel

³ Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, <https://orcid.org/0009-0001-8390-6200>, Cuarto nivel

⁴ Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi, <https://orcid.org/0009-0003-0053-008X>, Cuarto nivel

Autor de correspondencia: Ing. Carlos López

Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como principal prioridad el estudio de factibilidad para la implementación de estrategias tecnológicas de eficiencia energética en edificaciones típicas.

El panel intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) ha señalado que ha superado un aumento de 1.0° C en las temperaturas globales respecto a los niveles preindustriales y existe la posibilidad de alcanzar un umbral crítico de 1.5°C entre los años 2030 y 2052 si no se toman medidas urgentes. Ante esta situación, se plantea la necesidad de implementar estrategias que promuevan la eficiencia energética en las edificaciones.

La investigación se realizó en la parroquia de Tanicuchí, y se han recopilado datos in situ mediante tratamiento estadístico. Se han aplicado fórmulas de proyección y se ha llevado a cabo un análisis estadístico de los datos recolectados en el sector. Como resultado de este estudio, se ha generado tablas de datos de radiación que respaldan la factibilidad técnica de implementar tecnología solar como una alternativa para abordar la problemática del uso ineficiente de la energía en las viviendas del sector.

La problemática identificada es que un porcentaje elevado (30%) de la población en la parroquia de Tanicuchí presenta afectaciones en sus viviendas debido al uso ineficiente de la energía. Para enfrentar esta problemática, se plantea la implementación de tecnología solar como una solución viable y eficiente.

El contexto de la investigación se basa en la necesidad de abordar el cambio climático y promover la eficiencia energética. La problemática identificada es el uso ineficiente de la energía en las viviendas de la parroquia de Tanicuchí y los alcances de la investigación se centran en determinar la viabilidad técnica de implementar tecnología solar como alternativa. El objetivo del estudio se basa en evaluar los datos recopilados, analizar la viabilidad técnica y proponer estrategias de eficiencia energética mediante el uso de tecnología solar. Evaluar el consumo energético actual en las edificaciones de la parroquia de Tanicuchí mediante el tratamiento estadístico de datos. Identificar las principales fuentes de pérdida de energía en las edificaciones de la parroquia de Tanicuchí. Proponer estrategias de eficiencia energética adecuadas para las edificaciones de la parroquia de Tanicuchí, basadas en los resultados del tratamiento estadístico de datos.

Metodología

La investigación se enfoca en el diseño de estrategias de eficiencia energética para viviendas en el sector de Tanicuchí. El enfoque principal es abordar el problema del consumo ineficiente de energía en las viviendas y proponer soluciones basadas en la eficiencia energética.

El tipo de estudio realizado en esta investigación es de carácter exploratorio y descriptivo. Se exploran las características del consumo energético en las viviendas del sector y se describen las posibles estrategias de eficiencia energética que podrían implementarse.

La técnica utilizada para la recolección de información incluye encuestas realizadas en el sector de Tanicuchí, éstas encuestas se utilizan para obtener datos sobre el consumo energético en las viviendas, las prácticas actuales de eficiencia

energética y las necesidades de los residentes. Además, se recopilan datos desde la estación meteorológica más cercana para tener información sobre las condiciones climáticas del área.

En cuanto a un posible modelo matemático, no se menciona específicamente en el texto proporcionado, sin embargo, en este tipo de investigación, es posible que se utilicen modelos matemáticos o estadísticos para analizar los datos recopilados, realizar proyecciones o evaluar el impacto de las estrategias propuestas en eficiencia energética de las viviendas.

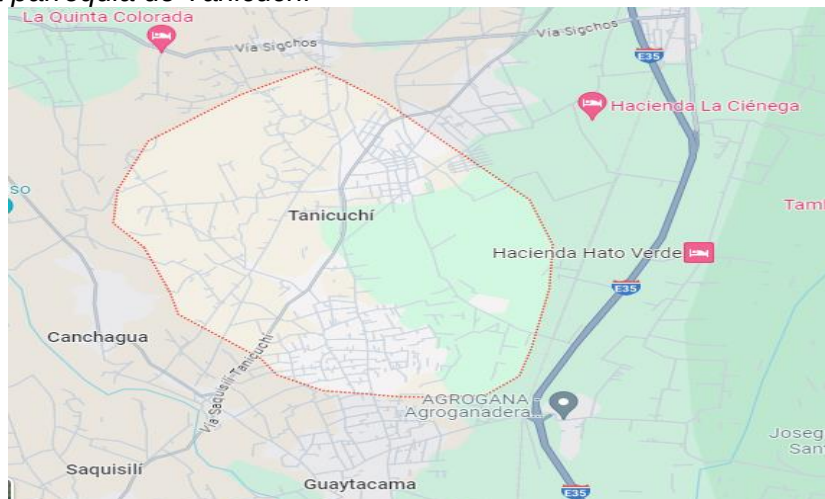
El resultado de realizar este estudio basado en una investigación mediante una encuesta depende de varios factores, como el diseño de la encuesta, la calidad de las preguntas, el tamaño y representatividad de la muestra, y la forma en que se analizan e interpretan los datos recopilados.

La población objetivo corresponde a los 15145 habitantes de la parroquia de Tanicuchí, se decidió utilizar un nivel de confianza del 95% lo que implica un margen aceptable del 5%. Según los registros municipales, la vivienda del sector es de aproximadamente 5170 casas.(Byron Villacís, 2021)

En la figura siguiente se aprecia la ubicación de la Parroquia de Tanicuchí, sitio que se encuentra en la parte central del callejón interandino del Ecuador, entre las cordilleras central y occidental a 22 kilómetros del noroccidente del casco urbano de la ciudad de Latacunga con una altitud de 2920 msnm.(Edison Quinatoa, 2023)

Figura 1

Ubicación de la parroquia de Tanicuchí



Nota. Autores, (2024)

Mediante tratamiento estadístico de datos en la parroquia de Tanicuchi, en la investigación se recopila datos mediante encuestas utilizando la plataforma Google forms, como se ve en la figura 2.

Figura 2

Encuesta sobre aislamiento térmico de las viviendas del sector

Encuesta sobre calidad de aislamiento térmico

Gracias por dedicar su tiempo a participar en esta encuesta. Su opinión es importante para nosotros y poder determinar cual es el nivel de confort en cuanto al aislamiento térmico en viviendas del sector. La información que brinde servirá solamente para ese fin.

¿La temperatura de la vivienda es constante durante el día? *

☐ Si

☐ No

¿En su vivienda tiene equipos para confort térmico (calefactor o aire acondicionado) en el ambiente? *

☐ Si

Nota. Autores, (2024)

Luego de haber determinado una muestra de estadística sobre la calidad de aislamiento térmico en las viviendas de sector, seguidamente se realiza un análisis de radiación térmica que se tiene en el lugar con datos que se obtienen desde el punto más cercano de medición, información obtenida desde los datos de la Estación meteorológica del INAMHI.(INAMHI, 2021)

El análisis indica que los paneles fotovoltaicos tienen una eficiencia de alrededor del 20%, esto significa que pueden convertir aproximadamente el 20% de la energía solar incidente en electricidad utilizable, ésta cifra es una estimación promedio y puede variar según el tipo y la calidad de los paneles que se utilicen.

Según la eficiencia mencionada anteriormente, se calcula que se pueden obtener alrededor de 25 Kwh/mes de electricidad a partir de dos metros cuadrados de paneles solares instalados, este cálculo se basa en la cantidad promedio de energía solar disponible en el área donde se instalarían los paneles.

Para proporcionar una referencia comprensible, es básico mencionar que 25 Kwh/mes de electricidad que se puede generar por el uso de paneles fotovoltaicos, es aproximadamente equivalente al consumo de una ducha eléctrica y al de alrededor 20 bombillas LED, éstos ejemplos ilustran como se podría utilizar la energía generada por los paneles solares en términos prácticos.

En relación con los calentadores solares de agua, se menciona que tiene una eficiencia mucho más alta, alrededor del 60%, esto indica que pueden aprovechar una mayor proporción de la energía solar para calentar el agua en comparación con los paneles fotovoltaicos.(Vega Gaxiola, 2018)

Si se utiliza un sistema de tubos concéntricos adecuado, se señala que se puede satisfacer las necesidades de agua caliente sanitaria en un hogar sin problemas, puesto que la alta eficiencia de los calentadores solares de agua permite aprovechar de manera efectiva la energía solar térmica para calentar el agua necesaria en el hogar.(Belén & León, 2021)

Se destaca la importancia de trabajar en los hábitos de consumo y uso de la energía eléctrica en los hogares, se sugiere que se puedan implementar charlas informativas y utilizar sistemas como sensores de movimiento para fomentar el aprovechamiento eficiente de la energía en cada hogar. Estos enfoques buscan concienciar sobre el consumo responsable y maximizar la eficiencia energética en el hogar. (Bo Dahlbom, 2021)

Se aplica fórmulas de proyección y se determina la viabilidad técnica, posteriormente mediante el análisis estadístico de datos recolectados en el sector y se genera tablas de datos de radiación.

Análisis de Datos

El análisis de recolección de información está basada en una encuesta que posteriormente implica en el procesamiento y la interpretación de los datos recopilados a través de un cuestionario estructurado, tomando en cuenta que se procede del siguiente análisis.

El diseño de la encuesta se lo realizó con preguntas claras y relevantes que abordan el objetivo de la investigación, determinando las variables de interés y estableciendo las opciones de respuesta adecuada, dotando de preguntas de opción múltiple.

La recopilación de datos, se la realizó en línea mediante formulario electrónico, en la que los encuestados proporcionan sus respuestas a las preguntas planteadas de acuerdo con las instrucciones proporcionadas. (Alelú et al., 2020). Posteriormente, se realizó una preparación de los datos, esto implica revisar y limpiar los datos para eliminar cualquier error o inconsistencia, como respuestas incompletas o valores atípicos, además, se pueden codificar las respuestas en variables numéricas para facilitar el análisis posterior.

El análisis de la encuesta estuvo basado en un proceso descriptivo, esto implica calcular estadísticas básicas, como frecuencias y porcentajes, para cada pregunta y opción de respuesta, estas estadísticas proporcionan una visión general de las respuestas y permiten identificar patrones y tendencias en los datos obtenidos.

Una vez completo el análisis, se interpretó y se extrajo conclusiones de los resultados obtenidos, esto implica analizar las estadísticas y los hallazgos clave, identificando patrones o relaciones significativas y relacionarlos con los objetivos de investigación planteados inicialmente, se generó gráficos o tablas para visualizar los resultados de manera más efectiva. Finalmente, se elaboró un informe final que resume los resultados del análisis de la encuesta, este informe incluye una descripción detallada de la metodología utilizada, los hallazgos clave, las conclusiones y las recomendaciones basadas en los resultados, el informe es presentado de manera clara y concisa, utilizando gráficos o visualizaciones apropiadas para facilitar la comprensión del lector.

Utilidad de la Encuesta

La aplicabilidad de la encuesta se basa en poder ayudar a identificar las áreas o procesos específicos donde se está utilizando más energía de la necesaria o donde hay oportunidades para mejorar la eficiencia energética, esto incluye el uso de equipos obsoletos, prácticas ineficientes o el consumo excesivo de energía en ciertas áreas. Además, se evalúa el nivel de conocimiento y la adopción de prácticas de eficiencia energética en el sector, esto permite comprender si existe conciencia sobre la importancia de la eficiencia energética y si se están implementando medidas adecuadas para reducir el consumo de energía.

El análisis de los resultados de la encuesta ayuda a identificar las barreras y desafíos que impiden la implementación de medidas de eficiencia energética en la parroquia, determinando factores como limitaciones financieras, falta de conocimiento técnico, falta de incentivos o barreras culturales. Comprender estas barreras permite desarrollar estrategias para superarlas y promover la eficiencia energética. Finalmente, los resultados de la encuesta ayudan a identificar las áreas donde se requiere capacitación adicional en eficiencia energética, esto permitirá diseñar programas de capacitación específicos para el sector de Tanicuchí, con el objetivo de mejorar las habilidades y el conocimiento de la población en relación con la eficiencia energética. Realizar una encuesta posterior servirá como línea base para monitorear y evaluar el progreso en materia de eficiencia energética a lo largo del tiempo, realizando encuestas periódicas, se logrará un seguimiento de las mejoras realizadas e identificar cualquier retroceso y así poder ajustar las estrategias según sea necesario.

Justificación de la encuesta

La encuesta sobre eficiencia energética se realizó en la parroquia de Tanicuchí con el objetivo de obtener información y datos clave relacionados con el consumo, las prácticas y el conocimiento sobre el uso de la energía en el sector, la misma permitió recopilar datos sobre el consumo de energía en los hogares y comercios de la parroquia, proporcionando una imagen clara de la cantidad de energía que se utiliza y ayuda a identificar áreas de alto consumo.

Al recopilar información detallada sobre las prácticas de uso de energía, la encuesta ayuda a identificar oportunidades de mejora en términos de eficiencia energética, incluyendo la identificación de áreas donde se puede reducir el consumo, implementar medidas de ahorro energético y promover el uso de fuentes de energía renovable. La encuesta también tiene como objetivo crear conciencia sobre la importancia de la eficiencia energética en la parroquia de Tanicuhí, al involucrar a los residentes y obtener sus opiniones, la encuesta puede ayudar a educar prácticas más sostenibles y fomentar un cambio de comportamiento hacia un uso más eficiente de la energía.

Los resultados de la encuesta proporcionan una base sólida para el desarrollo de planes y políticas energéticas específicas para la parroquia, estos planes incluyen proyectos de eficiencia energética, incentivos para el uso de energías renovables y medidas para reducir la huella de carbono en el sector. La encuesta establece una

línea de base para el monitoreo y seguimiento del progreso en términos de eficiencia energética en la parroquia de Tanicuchí, al repetir la encuesta en el futuro, será posible evaluar los avances realizados, identificar áreas que requieren atención adicional y ajustar las estrategias según sea necesario.

En el presente estudio, se desarrolló un modelo matemático para evaluar la viabilidad técnica de implementar tecnología solar en las edificaciones de la parroquia de Tanicuchi, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética. Este modelo se basa en la recopilación y análisis estadístico de datos climáticos y de consumo energético de la región.

Se utilizaron datos de radiación solar obtenidos de la estación meteorológica del INAMHI más cercana a Tanicuchi, ubicada a aproximadamente 7 km de distancia. Estos datos proporcionan información sobre la radiación solar incidente en la región.

Se realizaron encuestas a 120 residentes de Tanicuchi para obtener información detallada sobre el consumo energético en sus viviendas y las prácticas actuales de eficiencia energética.

Para determinar el valor I_b que corresponde a la porción de radiación directa y se calcula de basando en la definición de que la radiación total es la suma de la radiación directa, la radiación difusa y la radiación reflejada; si se considera despreciable a la radiación reflejada la radiación directa se puede calcular con la expresión.

$$I_b = I - I_d \quad (1)$$

$$f(x) = \begin{cases} 1 - 0.09 kt, & \text{si } kt < 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604 kt + 4.388kt^2 - 16.638kt^3 + 12.336kt^4, & \text{si } 0.22 < kt < 0.8 \\ 0.165, & \text{si } kt > 0.8 \end{cases}$$

$$kt = \frac{I}{I_o}$$

Se asumió una eficiencia promedio del 20%, lo que implica que los paneles pueden convertir el 20% de la energía solar incidente en electricidad utilizable.

Se estimó que dos metros cuadrados de paneles solares pueden generar aproximadamente 25 kWh/mes de electricidad, basado en la radiación solar promedio de la región.

La eficiencia de los calentadores solares de agua se consideró en un 60%, lo que permite un uso más efectivo de la energía solar para satisfacer las necesidades de agua caliente sanitaria en los hogares.

Los datos de las encuestas se analizaron para identificar patrones de consumo energético y evaluar la efectividad de las prácticas actuales de eficiencia energética. Se generaron gráficos y tablas para visualizar los resultados y facilitar la interpretación de los datos.

Se identificaron los meses con mayor y menor cantidad de radiación solar, lo que permite optimizar la instalación y uso de paneles solares.

Los resultados de las encuestas revelaron que un 30% de las viviendas presenta afectaciones debido al uso ineficiente de la energía. La implementación de tecnología solar se mostró como una solución viable para reducir estas afectaciones.

Resultados

Los paneles fotovoltaicos tienen una eficiencia de alrededor de un 20%, lo que indica que se podrían tener alrededor de 25 kWh/mes de electricidad de fuente fotovoltaica para dos metros cuadrados de paneles instalados. Esto equivale al consumo de una ducha eléctrica y alrededor de 20 bombillas led.

El otro elemento para tomar en consideración es el tema de los calentadores solares de agua. La eficiencia de los paneles solares térmicos es mucho más elevada; alrededor de 60%. Si se aprovecha de manera adecuada un sistema de tubos concéntricos puede suplir las necesidades de agua caliente sanitaria en un hogar sin ningún inconveniente. Por último, se debe trabajar en los hábitos de consumo y uso de la energía eléctrica en los hogares ya sea con charlas informativas o con sistemas como sensores de movimiento para motivar al aprovechamiento del recurso energético en cada hogar.

Resultados de la encuesta.

La encuesta sobre eficiencia energética en el sector de Tanicuchí tiene como propósito obtener información relevante y datos específicos que permiten evaluar y mejorar la gestión energética en esta área en particular. Se busca recopilar información sobre el consumo de energía en los hogares, esto proporciona una visión general de la cantidad de energía que se utiliza y ayuda a identificar áreas de alto consumo o ineficiencias energéticas.

La encuesta permite identificar áreas específicas donde se pueden implementar medidas de eficiencia energética para reducir el consumo y mejorar el uso de la energía, esto incluye identificar equipos o procesos ineficientes, así como identificar prácticas y comportamientos que puedan ser modificados para lograr un uso más eficiente de la energía. Generar conciencia y educar a la comunidad de Tanicuchí sobre la importancia de la eficiencia energética, al participar en la encuesta, los residentes pueden aprender más sobre las prácticas y medidas que pueden tomar para reducir su consumo de energía y minimizar su impacto ambiental.

Análisis e interpretación de encuestas

Análisis e interpretación de la encuesta realizada a 120 personas residentes en la parroquia de Tanicuchí.

1. ¿La temperatura de la vivienda es constante durante el día?



Tabla 1

Temperatura de la vivienda

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
SI	66	54.7
NO	54	45.3
TOTALES	120	100

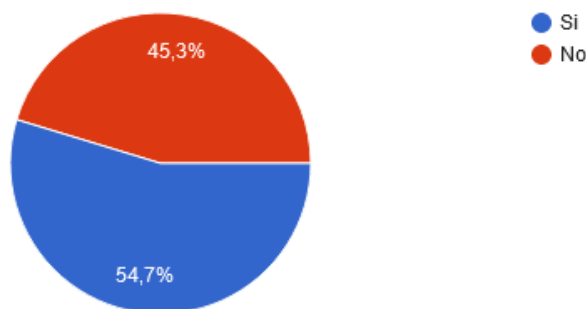
Nota. Autores, (2024)

Análisis: Esta información proporciona pistas sobre posibles problemas de aislamiento o de calefacción, y ayuda a identificar oportunidades para mejorar la eficiencia energética de la vivienda. Además, también es útil para evaluar la comodidad y bienestar de los ocupantes de la vivienda, ya que las fluctuaciones de temperatura pueden afectar negativamente a su confort y salud.

Interpretación: Esta leve característica positiva en las respuestas determina que siendo un lugar con una temperatura que en promedio está entre los 12° C y los 20° C, este es una temperatura relativamente baja y por ende en el interior de las viviendas se tendrá un ambiente fresco durante el día y frío en la noche.

Figura 3

Tabulación de encuesta



Nota. Autores, (2024)

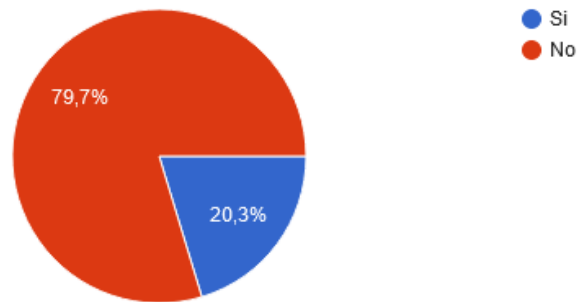
La siguiente pregunta ¿Ha notado una disminución o aumento en los costos desde que se instaló el equipo para confort térmico?, genero las siguientes reacciones.

Análisis: Esto es relevante porque ayuda a determinar si el equipo está funcionando de manera eficiente o no. Si los costos han aumentado significativamente, podría indicar que el equipo es ineficiente o que tiene problemas que requieren solución.

Interpretación: Esta característica negativa es lógicamente una subsecuente respuesta a la pregunta anterior, dado que la mayoría de los encuestados respondieron que no tienen un sistema de calefacción para mitigar las temperaturas bajas.

Figura 4

Confort térmico



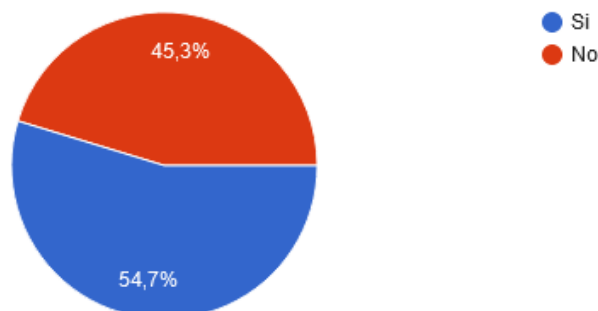
¿Las paredes y techos están fríos o húmedos al tacto?

Análisis: Esto es relevante para poder detectar signos de condensación o humedad excesiva que pueda conducir a moho o daño estructural. Las paredes y techos húmedos o con goteras pueden ser indicativos de fugas, filtraciones o aislamiento deficiente

Interpretación: Esta característica positiva identifica zonas que puedan necesitar aislación térmica adicional. Las superficies frías, especialmente en técnicas, pueden ser indicativas de pérdida de calor y baja eficiencia energética.

Figura 5

Respuestas de nivel de frio



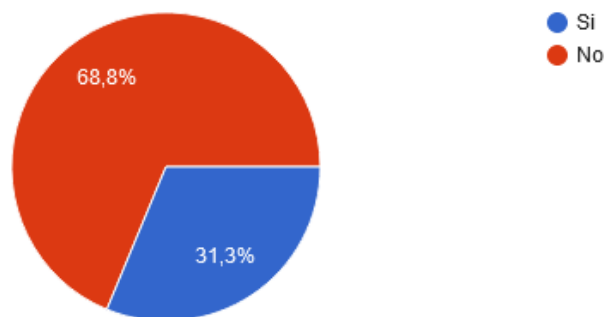
¿Ha notado alguna condensación en las ventanas o paredes?

Análisis: Esto es relevante para poder Identificar la presencia de condensación lo que es importante porque el exceso de humedad en el ambiente puede tener consecuencias negativas en la salud de las personas, así como en la estructura del edificio.

Interpretación: La respuesta mayoritariamente negativa con el 68.8%, define que debido al clima del sector siendo poco húmedo bastante frío, por lo general no se tiene presencia de humedad en las paredes.

Figura 6

Sensación de humedad en el ambiente



¿Ha tenido problemas con la humedad en la vivienda?

Tabla 2.

Humedad

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
SI	64	53.1
NO	56	46.9
TOTALES	120	100

Nota. Encuesta a habitantes

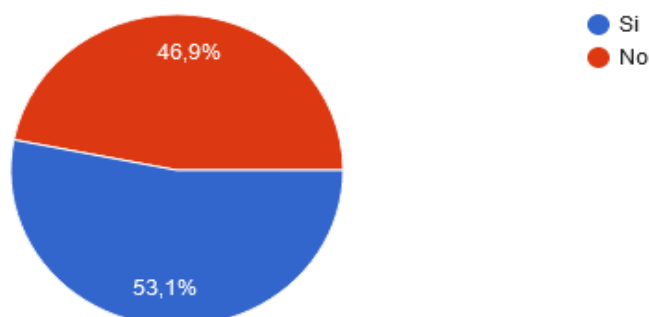
Análisis: Se puede identificar si hay una necesidad de tomar medidas para controlar la humedad en la vivienda, como la instalación de sistemas de ventilación mecánica o la utilización de deshumidificadores.

Interpretación: La respuesta levemente positiva de esta pregunta con el 53.1% define que se debe prever estrategias para evitar la humedad en las viviendas, posiblemente mantener una buena ventilación en la vivienda es esencial para evitar la acumulación de humedad, abrir las ventanas y puertas durante el día para permitir

la entrada de aire fresco y seco y cerrarlas durante la noche o en días de lluvia para evitar la entrada de aire húmedo.

Figura 7

Humedad



2. ¿Ha notado algún ruido exterior que se filtra en la vivienda?

Tabla3

Ruido

ALTERNATIVAS	FRECUENCIA	PORCENTAJE (%)
SI	23	18.8
NO	97	81.3
TOTALES	120	100

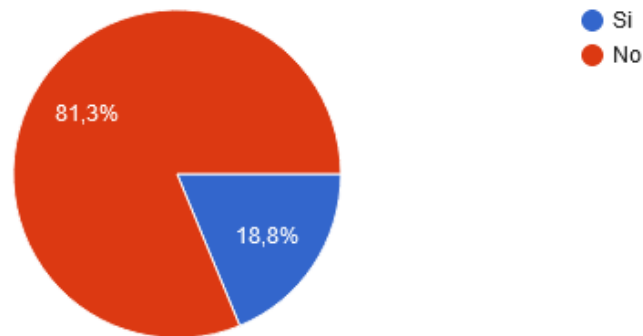
Nota. Encuesta a habitantes

Análisis: El ruido exterior que se filtra por una vivienda puede ser muy molesto y afectar la calidad de vida de las personas, siendo este problema el análisis para algunas estrategias para eliminar o reducir el nivel de ruido exterior en la vivienda.

Interpretación: Siendo una respuesta mayoritariamente negativa con el 81.3%, se desprende que las construcciones de las viviendas en el sector tienen un buen aislamiento acústico, debido principalmente a los materiales de construcción típicos en el sector y también a la poca incidencia acústica de la parroquia en general.

Figura 8

Ruido



Discusión

Como resultado importante en la investigación se revela que existen áreas específicas dentro de las edificaciones típicas del sector, como las principales responsables del consumo de energía, éstas se presentan generalmente en la iluminación, climatización y equipos que se utilizan para diferentes procesos. De este modo se analiza diferentes estrategias de eficiencia energética aplicadas en las edificaciones típicas de Tanicuchí, para posteriormente evaluar su impacto en la reducción del consumo de energía, esto podría incluir el uso de iluminación eficiente, sistemas de climatización y aislamiento térmico, debido a factores climáticos del sector.

Como hallazgo importante en el proceso de investigación realizada, se puede mencionar que se identificó los factores que influyen en el consumo de energía en las edificaciones, sobre todo en el análisis de características específicas como el tamaño del edificio, el tipo de actividad que se lleva a cabo en cada vivienda. Comprender estos factores permite desarrollar estrategias más precisas y adaptadas a las necesidades de las viviendas típicas en Tanicuchí.

En la investigación denominada “Análisis del impacto de estrategias de eficiencia energética en el consumo de energía de viviendas unifamiliares” (Donoso, 2022), se utilizó simulaciones computacionales y análisis estadístico para evaluar el impacto de diferentes estrategias de eficiencia energética en el consumo de energía de 50 viviendas unifamiliares en clima templado. Las estrategias evaluadas incluyeron, la mejora del aislamiento térmico, sustitución de ventanas por modelos de alta eficiencia, instalación de sistemas de calefacción y refrigeración eficientes, implementación de sistemas de control inteligente y el uso de electrodomésticos eficientes.

En el que el resultado a contrastar se encuentra respaldado por investigaciones recientes que demuestra que la iluminación, la climatización y los equipos son áreas de alto consumo de energía en las viviendas unifamiliares.

La implementación de estrategias de eficiencia energética en estas áreas puede tener un impacto significativo en la reducción del consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Conclusiones

La implementación de prácticas y tecnologías energéticamente eficientes puede llevar a una disminución significativa en el consumo de energía en el sector seleccionado. Esto resulta en ahorros económicos directos para los usuarios y contribuye a la sostenibilidad a largo plazo al reducir la demanda de energía de fuentes no renovables.

La eficiencia energética conlleva beneficios ambientales significativos. Al reducir el consumo de energía, se disminuye la emisión de gases de efecto invernadero y se contribuye a la mitigación del cambio climático. Además, la eficiencia energética puede ayudar a preservar los recursos naturales al disminuir la extracción y el consumo de combustibles fósiles.

La aplicación de medidas de eficiencia energética puede ayudar a reducir los costos operativos y de mantenimiento en el sector de Tanicuchí. Al mejorar la eficiencia de los equipos y sistemas, se pueden reducir los gastos relacionados con el consumo de energía, como la electricidad y el combustible. Esto permite a las empresas y a los individuos destinar recursos económicos a otras áreas de inversión o ahorro.

Agradecimientos

Un profundo agradecimiento al Instituto Superior Universitario Cotopaxi, de parte de todos quienes estuvimos involucrados en ese proyecto de Investigación, debido al valioso apoyo y al compromiso de la Institución, que fue fundamental para acceder a la bibliografía especializada, además de la asesoría y orientación que recibimos en cada etapa del proyecto.

Referencias

- Alelú, M., Sandra, H., García, C., Zazo, M. R., & Especial, E. (2020). Estudio De Encuestas.
- Belén, V., & León, M. (2021). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE COMBUSTIÓN DEL DIESEL 2 [Tesis]. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO .
- Bo Dahlbom. (2021). CAMBIANDO LOS HÁBITOS DE CONSUMO ENERGÉTICO.
- Byron Villacís. (2021). Nueva cara demográfica de Ecuador. ANALÍTICA, 30–35.
- Donoso, C. T. (2022). Estudio de las medidas de Eficiencia Energética de una vivienda unifamiliar en Quito, Sector Itchimbía [Universidad Técnica Indoamérica].
<https://repositorio.uti.edu.ec/bitstream/123456789/6275/1/TOLEDO%20DONOSO%20CLAUDIA%20FRANCISCA.pdf>
- Edison Quinatoa. (2023). Plan de desarrollo territorial.
- INAMHI. (2021). REPORTE INAMHI 2021-01.
- Vega Gaxiola, C. (2018). Diseño de un calentador solar de agua.
<https://www.researchgate.net/publication/326160566>
- Balcells, J. (2012). Eficiencia en el uso de la energía eléctrica. Barcelona: Lexus.
- Mazorra Soto, J. (2012). Calidad de la Energía Eléctrica Incidencia Técnico - Económica - Energética y Ambiental en Empresa Industriales y de Servicios. Madrid.

VoIP simplificado: Una visión clara para implementación y beneficios empresariales

VoIP simplified: A clear vision for implementation and business benefits

Amalia Patricia Bernal Arce¹

Resumen:

A través de una metodología de investigación integral que comprende una revisión de literatura especializada, se ha desarrollado el presente estudio con el objetivo de ofrecer una visión simplificada pero relevante de la tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet. Se abordan aspectos como su definición, funcionamiento, arquitectura para una implementación exitosa y los beneficios que aporta a empresas y organizaciones. La investigación se ha simplificado para presentar la información más relevante de manera accesible y comprensible, dirigida tanto a profesionales técnicos como no técnicos para que todos puedan obtener valor de este conocimiento.

El artículo comienza con una introducción sobre el procesamiento de voz, los fundamentos de las redes telefónicas tradicionales e Internet. Este contexto inicial proporciona los conocimientos necesarios para comprender a fondo los hallazgos de la investigación, que profundiza en diversos aspectos de la tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet, incluyendo el Protocolo de Inicio de Sesión, su arquitectura y la interacción entre sus componentes. Se continúa con un análisis detallado sobre la integración de las redes de voz convencionales con Internet, examinando los componentes tecnológicos clave que posibilitan esta integración, como son, el Signaling Gateway, el Media Gateway Controller, el Media Gateway, entre otros.

Finalmente, el artículo explora los beneficios de un sistema de Voz sobre Protocolo de Internet, en términos de calidad de servicio, optimización de recursos, escalabilidad de servicios y reducción de costos, resaltando su relevancia en el ámbito empresarial y organizacional.

Palabras clave: Arquitectura SIP, Beneficios de VoIP, Integración de redes de voz con Internet, Protocolo SIP, Sistemas VoIP.

¹ Instituto Superior Tecnológico Guayaquil, Magister en Telecomunicaciones, <https://orcid.org/0009-0002-1650-867X>

Autor de correspondencia: apbernal@istg.edu.ec

Abstract:

Through a comprehensive research methodology that includes a review of specialized literature, the present study has been developed with the aim of offering a simplified yet relevant insight into Voice over Internet Protocol technology. It addresses aspects such as its definition, functioning, architecture for successful implementation, and the benefits it brings to companies and organizations. The research has been streamlined to present the most relevant information in an accessible and understandable manner, aimed at both technical and non-technical professionals so that everyone can derive value from this knowledge.

The article begins with an introduction to voice processing, the fundamentals of traditional telephone networks, and the Internet. This initial context provides the necessary knowledge to thoroughly understand the research findings, which delve into various aspects of Voice over Internet Protocol technology, including the Session Initiation Protocol, its architecture, and the interaction among its components. It continues with a detailed analysis of the integration of conventional voice networks with the Internet, examining key technological components that enable this integration, such as the Signaling Gateway, the Media Gateway Controller, the Media Gateway, among others.

Finally, the article explores the benefits of a Voice over Internet Protocol system in terms of service quality, resource optimization, service scalability, and cost reduction, highlighting its relevance in the business and organizational sphere.

Keywords: *SIP architecture, VoIP benefits, Integration of voice networks with the Internet, SIP protocol, VoIP systems.*

Introducción

A lo largo del tiempo, el campo de las telecomunicaciones ha experimentado una constante evolución, en este proceso, ha surgido la tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP: Voice over Internet Protocol), que permite realizar llamadas telefónicas utilizando redes IP, ampliando significativamente el alcance y las capacidades de los servicios de comunicación. Esta innovación proporciona una gama de oportunidades al permitir la escalabilidad de los servicios ofrecidos por un sistema VoIP, además de optimizar recursos y reducir costos en las llamadas telefónicas. Estos beneficios destacados han posicionado a la tecnología VoIP como una opción altamente demandada por empresas de todos los tamaños.

En este contexto, es esencial comprender el funcionamiento de un sistema VoIP, desde sus fundamentos técnicos, arquitectura de implementación y los beneficios asociados que ofrece a las organizaciones. Para lograr esta comprensión integral, es necesario introducir conceptos fundamentales, como el proceso de digitalización de señales de voz analógicas para su transmisión a través de canales digitales, la evolución de las redes telefónicas tradicionales incluyendo sus protocolos de señalización, y los conceptos básicos de Internet.

Una vez que se adquieren estos conocimientos fundamentales, se facilita la comprensión del funcionamiento y la operatividad de un sistema de telecomunicaciones VoIP, lo que incluye su arquitectura, las tecnologías implicadas y su interacción en conjunto. Este entendimiento sienta las bases para una implementación exitosa y el aprovechamiento pleno de los beneficios que ofrece la tecnología VoIP en el contexto empresarial.

Para transportar la voz a través de un sistema de telecomunicaciones, como las redes telefónicas, es necesario digitalizarla, considerando que la mayoría de los canales de transmisión en la actualidad son digitales. El proceso de digitalización y transmisión de la voz comprende los siguientes pasos, tabla 1

Tabla 1

Proceso de digitalización y transmisión de voz

Fases	Descripción
Muestreo	La técnica de muestreo implica capturar muestras de la señal de voz analógica en momentos específicos y de forma regular en el tiempo. La frecuencia de muestreo es de 8 kHz, lo que significa que se toman 8000 muestras por segundo para representar la forma de onda de la señal de voz analógica para su posterior digitalización
Cuantización	Es el proceso mediante el cual se asignan valores discretos, representados por bits, a las muestras de la señal de voz analógica. La cantidad de bits empleados para representar cada muestra es esencial para la calidad de la digitalización: más bits significan más niveles discretos disponibles y por lo tanto mejor calidad de la señal de voz digital resultante
Codificación	Las muestras cuantizadas se expresan mediante una secuencia de bits
Compresión	Su objetivo es minimizar la cantidad de datos necesarios para representar la señal de voz digitalizada sin pérdida significativa de calidad. La compresión es esencial cuando se pretende transmitir la señal de voz digital a través de canales con un ancho de banda limitado

Transmisión	La señal digital resultante se envía a través de canales digitales en una red telefónica
Decodificación	En el lado receptor, se realiza el proceso inverso. La información binaria se convierte nuevamente en una señal analógica, permitiendo la reproducción de la señal de voz original

Nota. Gupta et al., (2018)

Este procedimiento es llevado a cabo mediante el uso de códecs de voz. Un códec de voz es un codificador-decodificador que varía en términos de ancho de banda, velocidad de bits, complejidad de algoritmo, retraso y otros factores que influyen en la capacidad y la calidad del servicio (Gupta et al., 2018).

Los códecs de audio estandarizados y más utilizados en un sistema VoIP son los siguientes: G.711 con una tasa de 64 kbps utilizado principalmente en telefonía; G.723.1 con una tasa de 5.3 kbps y 6.3 kbps, este es un códec de voz de doble velocidad, ideal para canales de transmisión con un ancho de banda reducido; G.726 que ofrece múltiples tasas de bits de 16, 24 y 32 kbps; G.729 utilizado principalmente en aplicaciones de VoIP por su requerimiento de bajo ancho de banda, opera a una tasa de 8 kbps (Huerta et al., 2013).

Existen otros códecs como el Opus que es un códec de código abierto, ofrece tasas de bits variables desde 6 hasta 510 kbps, compatible con una amplia gama de aplicaciones de comunicaciones de voz y ofrece una óptima calidad de voz; y el códec Adaptive Multi-Rate (AMR), un códec utilizado en redes móviles para la transmisión de voz en tiempo real, ofrece tasas de bits de 4.75 a 12.2 kbps y es compatible con una amplia gama de dispositivos móviles (Suárez, 2023).

La telefonía tradicional se denomina Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN: Public Switched Telephone Network) y facilita la conectividad y comunicación entre teléfonos o abonados.

En la PSTN, la interconexión de teléfonos se realiza mediante conmutadores también llamados centrales. Existen tres elementos en una red PSTN, los terminales, las centrales locales y las centrales centrales. La línea que conecta el dispositivo telefónico del usuario con la central local se denomina bucle de abonado y permite la transmisión de señales entre el dispositivo del usuario y la red telefónica; la línea que conecta las centrales locales con las centrales centrales se llama troncal y puede manejar múltiples llamadas simultáneas facilitando el tráfico entre distintas áreas o sistemas telefónicos.

La PSTN funciona principalmente como una red de conmutación de circuitos, estableciendo una conexión dedicada entre el abonado que llama y el abonado receptor de la llamada, asegurando una calidad de voz consistente, pero con menor eficiencia en términos de utilización de recursos de la red. La PSTN ha sido utilizada para la transmisión de voz analógica durante muchos años, no obstante, conforme las tecnologías de comunicación han experimentado mejoras gracias a la era de la digitalización, se ha efectuado una transición hacia redes digitales que transportan la señal de voz a través de canales digitales, con el fin de aprovechar los beneficios que ofrece, tales como la óptima utilización de los recursos de la red y la capacidad de integración con servicios de datos y multimedia.

La señalización representa un elemento funcional crucial en cualquier estructura de telecomunicaciones, ya que habilita todos los elementos de la red para el establecimiento, gestión y configuración de servicios (Castellanos, 2004). La señalización telefónica no es más que el proceso de configurar, gestionar y controlar

el inicio, mantenimiento y terminación de llamadas telefónicas. La señalización transmite información que controla y facilita la gestión de llamadas y otros servicios.

En las primeras redes telefónicas se utilizaba la señalización dentro de banda llamada Señalización Asociada al Canal (CAS: Channel Associated Signalling), donde la información de señalización y datos de voz se transmitía a través del mismo canal (Lin, 1996). Cada canal de comunicación de voz transporta su propia señalización, esto implica que la señalización está vinculada al canal específico a través del cual se transmite la llamada.

Existe otro método de señalización denominado Señalización de Canal Común (CCS: Common Channel Signalling), en donde se utilizan dos canales separados: uno para transportar los mensajes de señalización y otro para transportar los datos de voz, la señalización se transmite en canales separados, independientes de los canales de voz, además, en un canal CCS, se gestionan los procesos de supervisión, direccionamiento y suministro de información de llamadas telefónicas (Lin, 1996)

El canal de señalización CCS es compartido para la señalización de todas las llamadas, permite controlar varias llamadas de voz a la vez. Este enfoque de señalización permite un control mejorado de las llamadas.

El Sistema de Señalización 7 (SS7: Signaling System 7) es un conjunto de protocolos empleados en redes telefónicas para gestionar los procedimientos de señalización involucrados en el establecimiento, mantenimiento y terminación de llamadas. SS7 permite la implementación de señalización fuera de banda CCS (transmisión de señalización a través de un canal diferente al utilizado para la transmisión de voz) en una red PSTN, sin embargo, esto no quiere decir que todos los sistemas CCS emplean necesariamente el protocolo SS7. Es importante también destacar que el protocolo de señalización SS7 se utiliza en diversas infraestructuras de comunicación, como la red telefónica básica pública, la red telefónica digital, las redes inteligentes y las redes celulares, incluso se puede implementar en el ámbito de Internet. Entre las diferentes funciones de este protocolo están la provisión de recursos para mantener la continuidad de una llamada, autenticación y autorización de la parte que realiza la llamada, otorgamiento de los privilegios necesarios para realizar llamadas internacionales o entre diferentes operadores, portabilidad numérica entre operadoras de telecomunicaciones, movilidad y roaming en llamadas celulares y mensajería móvil. Así mismo, SS7 desempeña un papel fundamental al permitir la interconexión entre redes que utilizan tecnologías diferentes. Finalmente, cabe destacar que el protocolo SS7 exhibe notables niveles de robustez y capacidad para resistir fallos. Todas estas funciones y prestaciones de SS7 influyen en gran medida en la calidad de experiencia del usuario (QoE).

El Internet constituye una red mundial de computadoras interconectadas y que se comunican a través del Protocolo de Internet (IP: Internet Protocol). El protocolo IP es un conjunto definido de reglas que facilitan la transmisión de datos entre dispositivos de red. Al momento en que un usuario realiza el envío de información por medio de Internet, los datos son fragmentados en paquetes de tamaño reducido, cada uno de los paquetes tiene asociado una dirección IP de origen y una dirección IP destino, estos paquetes se transportan por la red a través de diversas rutas hasta llegar a su destino, donde son reensamblados para recuperar la información original. La comunicación de datos en Internet implica el direccionamiento eficiente de los paquetes a través de la estructura de la red, lo cual facilita un intercambio fluido de información entre los dispositivos que se encuentran conectados a Internet.

Una vez introducido estos temas y conceptos fundamentales respecto a las redes telefónicas tradicionales e Internet que permiten una mejor comprensión de los

temas que se desarrollan a continuación, el presente estudio busca proporcionar una visión simplificada pero relevante de la tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) y describir sus beneficios para empresas y organizaciones, presentándola como una solución versátil y escalable para las necesidades de comunicación empresarial. Se destacan los aspectos más importantes de VoIP de manera accesible, evitando un exceso de tecnicismos para garantizar que tanto profesionales técnicos como no técnicos puedan comprender y aprovechar este conocimiento. El propósito final es que las empresas comprendan la tecnología VoIP, reconozcan sus beneficios y consideren su adopción en sus operaciones.

Metodología

Se emplea la metodología de investigación Análisis-Síntesis, que consiste en primer lugar en investigar y explicar conceptos introductorios y fundamentales sobre cada uno de los elementos tecnológicos que componen un sistema VoIP. Posteriormente, se describe cómo todos estos elementos se integran e interactúan entre sí para visualizarlos como un todo formando un sistema VoIP. En otras palabras, se parte de lo particular para llegar a lo general. Además, este estudio se basa en una revisión bibliográfica y documental exhaustiva centrada en la tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP). Se llevó a cabo una investigación integral que incluyó la revisión de libros, tesis y artículos especializados sobre VoIP y temas relacionados. A partir de esta investigación, se identificó, analizó y sintetizó la información más relevante para comprender los fundamentos de VoIP, incluyendo su definición, funcionamiento y protocolos de señalización como SIP, así como la integración de redes telefónicas tradicionales con Internet.

Para este trabajo, se utilizaron herramientas como Consensus, que permite encontrar y resumir artículos científicos respondiendo preguntas de investigación.

Resultados y Discusión

Sistema VoIP

Un sistema VoIP es un servicio de telecomunicación basado en el protocolo de Internet IP, que permite transmitir datos de voz a través de redes conmutadas por paquetes permitiendo así una comunicación global (Singh et al., 2014). En esta afirmación, es esencial aclarar que el VoIP no se restringe únicamente a las comunicaciones de voz entre abonados pertenecientes exclusivamente a la red de Internet, sino que, abarca las comunicaciones entre abonados de redes telefónicas tradicionales e Internet, así como entre abonados de dos redes PSTN que se interconectan a través de Internet. Por ejemplo, un usuario de la red PSTN puede comunicarse con un usuario de la red de Internet, o un usuario de la red PSTN puede comunicarse con otro usuario de una red PSTN diferente, en donde las redes PSTN se interconectan a través de Internet.

Es importante destacar que en un sistema VoIP, Internet actúa como una red telefónica, es decir, transmite datos de señalización además de los datos de voz propiamente dichos. También es relevante señalar que muchas personas utilizan el término "telefonía IP" para referirse a la tecnología VoIP, pero en realidad, estos términos no son sinónimos.

La telefonía IP es una aplicación de VoIP, pero no es lo mismo que VoIP. La telefonía IP se refiere específicamente a la comunicación entre abonados que se

encuentran exclusivamente en la red de Internet. La telefonía por Internet representa una forma contemporánea de comunicación, una tecnología que aprovecha las capacidades de Internet para enviar señales de voz; en términos sencillos, nuestra voz, es decir, las palabras que utilizamos para comunicarnos con otros, se transforman mediante sistemas de codificación especiales en paquetes de datos; estos paquetes se transmiten a través de Internet utilizando el protocolo TCP/IP hasta su destino, donde son descomprimidos y decodificados de nuevo en señales de voz convencionales; las direcciones IP (xxx.xxx.xxx.xxx) sirven como identificadores de abonados, es decir, en esencia, como números de teléfono (Czech, 2022).

En resumen, para que un sistema sea considerado VoIP, debe permitir la convergencia entre redes telefónicas tradicionales e Internet y permitir la transmisión de señalización a través de Internet además de la transmisión de los datos de voz.

Comunicación de la voz en los sistemas VoIP

Una vez que la voz es codificada y comprimida, se almacena y se transmite en paquetes IP. Tratándose de datos de voz, en una comunicación por Internet, es necesario garantizar un flujo continuo y sin retrasos de los paquetes que llevan los datos de voz, y para ello, se utiliza el Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP: Real-time Transport Protocol) y el Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real (RTCP: Real-time Transport Control Protocol), ambos protocolos utilizados para la comunicación de voz en tiempo real en Internet. RTP proporciona funciones de transporte de datos como audio y video, en tiempo real, a través de servicios de red de multidifusión o unidifusión en un sistema VoIP (Asante et al., 2012). RTCP proporciona mecanismos de calidad de servicio al controlar que los paquetes RTP sean enviados correctamente y verificar que sean recibidos de manera correcta, en los tiempos respectivos. El protocolo RTCP en un sistema VoIP permite medir las pérdidas de paquetes, el retraso entre llegadas y la variación del retraso (jitter) en la transmisión de datos de voz a través de redes IP (Heyi, 2015).

En conclusión, RTP se encarga de transportar los datos multimedia, como el audio y el video, a través de Internet en tiempo real, mientras que RTCP se encarga de la monitorización y control de la calidad de la transmisión de datos en tiempo real.

Señalización en los sistemas VoIP

En los sistemas VoIP, la señalización es un componente esencial que se encarga de establecer, modificar y finalizar las sesiones de comunicación, así como de gestionar las funciones de control del servicio. La señalización en un sistema VoIP es responsable de la transmisión de información relacionada con el establecimiento, mantenimiento y terminación de llamadas, identificación de dispositivos, negociación de parámetros de comunicación y otros aspectos esenciales para el perfecto funcionamiento del servicio VoIP. Los protocolos de señalización colaboran con otros elementos del sistema VoIP para ofrecer una experiencia de comunicación consistente y de alta calidad. Uno de los protocolos de señalización más destacados en un sistema VoIP es el Protocolo de Inicio de Sesión (SIP: Session Initiation Protocol).

Protocolo de inicio de sesión (SIP)

El Protocolo de Inicio de Sesión (SIP) es un protocolo de control de capa de aplicación que posibilita la creación, modificación y finalización de sesiones o llamadas multimedia; estas sesiones multimedia abarcan conferencias, aprendizaje a distancia, telefonía por Internet y otras aplicaciones similares (Handley et al., 2002).

Para la comunicación de voz por Internet, es crucial establecer sesiones en la red, y para ello se emplea el Protocolo de Inicio de Sesión (SIP). Se envía una señalización para establecer la llamada; luego se transmite la voz y también se transmite señalización durante la comunicación, la señalización durante la comunicación es debido a que las terminales ocasionalmente verifican la disponibilidad de la otra terminal para continuar la comunicación, o incluso puede haber cambios en la sesión durante la conversación; finalmente se envía una señalización para finalizar la llamada.

En este proceso de señalización, SIP abarca funciones imprescindibles para garantizar una gestión efectiva del servicio de llamada, a continuación, se describen las funciones principales de la señalización efectuada por el protocolo SIP:

Tabla 2

Funciones de la señalización del protocolo SIP

Nº	Descripción
1	Registro de teléfonos u otros dispositivos SIP en los servidores de registro
2	Registro de usuarios en los servidores SIP
3	Establecimiento, modificación y finalización de sesiones de comunicación
4	Autenticación y autorización de usuarios
5	Localización del usuario llamado
6	Solicitud de camino o ruta de llamada al servidor correspondiente
7	Intercambio de información para permitir establecer la sesión
8	Negociación de parámetros de sesión como códecs de audios y video, características de seguridad, números de puertos a utilizar para la transmisión de medios, características de calidad de servicio, etc
9	Redireccionamiento de llamadas
10	Registro y publicación de información sobre presencia
11	Solicitud de entrega de información sobre presencia
12	Notificación de eventos
13	Gestión de las solicitudes de calidad de servicio entre los distintos elementos de la red
14	Mensajería instantánea entre usuarios

Así mismo, el Protocolo de Inicio de Sesión (SIP) puede otorgar servicios tales como: transferencia de llamadas, monitoreo de llamadas, historial de llamadas, grabación de llamadas, videoconferencias, llamadas de emergencia, llamadas en espera, contestador automático de llamadas, entre otros, (Huerta et al., 2013).

Durante la sesión de una comunicación, además de SIP, también se utiliza el Protocolo de Descripción de Sesión (SDP: Session Description Protocol), el cual especifica la información necesaria para describir una sesión multimedia, esta información puede incluir: direcciones IP, número de puertos, tiempos y fechas de la sesión, el códec a utilizar, etc.

SIP puede distribuir mensajes SDP entre los distintos participantes de una conversación, ya que el paquete SIP lleva los mensajes SDP.

Es fundamental comprender que solo SIP puede intercambiar información de señalización, solo SIP puede negociar y modificar los parámetros de la sesión, por lo

tanto, solo SIP puede establecer, modificar y finalizar sesiones de comunicación, mientras que SDP se limita a describir las sesiones establecidas por SIP.

Es importante resaltar que el Protocolo de Inicio de Sesión (SIP) opera según una estructura cliente-servidor, en la cual los usuarios efectúan llamadas utilizando un servidor SIP, el cual se encarga de facilitar la conexión entre ambos abonados (Suárez, 2023).

Componentes de la arquitectura SIP desde un punto de vista lógico

Agentes de Usuario:

López (2011) plantea que los dispositivos de telefonía IP, incorporan cierta capacidad de procesamiento proporcionada por un Agente de Usuario (UA: User Agent), estos Agentes de Usuario son entidades que se fundamentan en un software o lógica de aplicación, están ubicados en los extremos de la red e interactúan con otras entidades con el objetivo de iniciar y terminar las sesiones o comunicaciones, utilizando mensajes para solicitar servicios, responder solicitudes y solicitar respuestas.

Tabla 3

Agentes de usuario

Agentes	Descripción
Agente de Usuario Cliente (UAC: User Agent Client):	Un Agente de Usuario Cliente es un elemento que opera en representación de un abonado iniciando solicitudes SIP. Un UAC envía solicitudes SIP como INVITE para establecer una sesión, BYE para finalizar una sesión o REGISTER para registrar su ubicación en un servidor de registro, entre otras.
Agente de Usuario Servidor (UAS: User Agent Server):	Un Agente de Usuario Servidor es un elemento que opera en representación de un abonado, aceptando o rechazando solicitudes SIP enviadas por un Agente de Usuario Cliente. El UAS se comunica con el abonado receptor de una solicitud SIP, procesa la solicitud y luego envía una respuesta al abonado remitente de la solicitud en representación del abonado receptor. Un UAS desempeña el papel de responder la solicitud SIP (las cuales son utilizadas para iniciar, modificar o finalizar sesiones de comunicación) en nombre del abonado al que está dirigida la solicitud SIP.

Nota. López (2011)

Los Agentes de Usuario son lógica de software que están presentes en diversos dispositivos y aplicaciones como teléfonos ip, softphones (aplicaciones de software para llamadas), sistemas de videoconferencia u otros dispositivos que son abonados y actúan como puntos finales en una sesión SIP.

Es importante destacar que dentro de una sesión SIP, la diferenciación entre UAC y UAS se basa en la dirección de la solicitud. Cuando un usuario inicia una comunicación telefónica, se le denomina Agente de Usuario Cliente (UAC); mientras que cuando recibe una llamada, se le conoce como Agente de Usuario Servidor (UAS). Estos roles pueden ser ejercidos de manera dinámica durante una sesión. Como resultado, los usuarios o dispositivos finales, incluidos teléfonos IP, softphones (aplicaciones de software para llamadas), sistemas de videoconferencia u otros dispositivos que sirven como puntos finales en una sesión SIP, pueden funcionar

como UAC o UAS, dependiendo de la acción específica que estén realizando dentro de la sesión SIP. Esto ejemplifica la versatilidad del protocolo SIP al adaptarse a diversas funciones durante la comunicación en tiempo real.

- **Back-to-Back User Agent (B2BUA):** Un B2BUA es un tipo de proxy que se sitúa entre dos Agentes de Usuario, se posiciona entre los puntos finales de una comunicación y asume el rol de intermediario para gestionar la señalización y la transmisión de medios entre ellos. Un B2BUA recibe una solicitud SIP, puede modificar los mensajes SIP según crea necesario y retransmitir la solicitud SIP como una nueva petición. Es importante comprender que un B2BUA posee control sobre la señalización SIP, lo que le permite alterar o reescribir mensajes SIP según lo considere necesario. A diferencia de un servidor proxy que sólo reenvía la señalización, un B2BUA ejerce decisiones sobre la señalización para los procesos de establecimiento, modificación y terminación de las sesiones de una llamada, tiene la capacidad de influir en aspectos tales como la negociación de códecs de audio, las direcciones IP y los puertos utilizados por los participantes, así como otras funciones relacionadas con la transmisión de medios, además, proporciona funcionalidades adicionales como la grabación de llamadas, el enrutamiento inteligente y la adaptación de códecs. Desde una perspectiva determinada, es factible concluir que un B2BUA incluye las funcionalidades de un proxy SIP, junto con las atribuciones de un Agente de Usuario Cliente (UAC) y un Agente de Usuario Servidor (UAS). Lógicamente, un B2BUA está compuesto por dos Agentes de Usuario, los cuales pueden tener un rol de Agente de Usuario Servidor o Agente de Usuario Cliente y están enlazados a través de un control lógico de llamada (López, 2011).

Servidores: Son servidores porque distintos Agentes de Usuarios pueden hacer peticiones a ese servidor.

Tabla 4

Descripción de las funciones de servidores

Servidores	Descripción
Servidor de registro	Es un servidor que acepta solicitudes de registro, almacena información sobre la ubicación de los Agentes de Usuario de la red. Cuando un usuario SIP se conecta a la red, su dispositivo, a través de su Agente de Usuario, emite una solicitud de registro al servidor de registro para notificar su ubicación actual y disponibilidad, este servidor almacena esta información dentro de una base de datos de ubicación SIP, otorgando así a otros usuarios SIP la capacidad de localizar y establecer comunicación con el usuario registrado a su discreción. Pueden ser servidores físicos o instancias de software en la infraestructura de red.
Servidor de localización	Es un servidor que almacena información de ubicación relacionadas con el usuario SIP como direcciones IP y nombres de dominio, no registra la presencia o disponibilidad de los usuarios SIP en tiempo real como si lo hace el servidor de registro. El servidor de localización es utilizado por un servidor de redirección o por un servidor proxy para obtener información sobre la posible ubicación del abonado destino de la llamada (Handley et al., 2002)
Servidor proxy:	El servidor proxy funciona como intermediario entre los Agentes de Usuario (UA), facilitando el reenvío de solicitudes SIP y respuestas entre

**Servidor de
redirección**

ellos. El servidor proxy tiene la capacidad de llevar a cabo tareas tales como la gestión de enrutamiento de llamadas, verificación de identidad, autorización de acceso y administración de seguridad. Situados en ubicaciones estratégicas dentro de la red con el propósito de encaminar y administrar las solicitudes SIP, un servidor proxy puede ser un servidor físico dedicado o software que se ejecuta en equipos de red. Por lo general, una solicitud de sesión (invitación) pasa por varios servidores de intermediarios (proxies) antes de llegar al que posea la información exacta sobre la ubicación del Agente de Usuario destino. (López, 2011)

Proporciona información de redireccionamiento a los usuarios o servidores SIP. Envía a un usuario o servidor remitente, la información de la ubicación alternativa de un usuario destinatario, en caso de que la ubicación inicial se encuentre inaccesible. Ofrece respuestas de redireccionamiento a las solicitudes SIP, proporcionando información actualizada acerca de la ubicación del destinatario. Si una petición es dirigida a una dirección que no corresponde, el servidor de redirección procede a enviar al cliente, información sobre la dirección correcta. López (2011) aclara que un servidor de redireccionamiento no puede reenviar solicitudes, únicamente responde a las solicitudes con la dirección del contacto solicitado. Es decir, un servidor de redirección no maneja la comunicación y no reenvía la solicitud SIP en sí como lo haría un servidor proxy, sino que le envía al cliente la dirección del destinatario al que debe dirigirse para que pueda continuar la comunicación. Estos servidores también pueden manifestarse en forma de servidores físicos o servidores virtuales

Nota. López (2011) y (Handley et al., 2002)

Gateway:

Es un componente que facilita la interoperabilidad y la interconexión entre redes de telefonía que utilizan diferentes protocolos de señalización. Un gateway traduce los mensajes originados por el protocolo de señalización de una red al formato compatible con el protocolo de señalización de otra red, y viceversa, con el fin de posibilitar la comunicación entre redes de telecomunicaciones diversas. El Gateway SIP realiza la traducción de un formato de transmisión de datos (paquetes multimedia) y procedimientos de comunicación (señalización) a otro y viceversa (López, 2011). En particular, un gateway SIP se utiliza para permitir la comunicación entre la red SIP y otras redes de comunicación que pueden usar protocolos distintos, como la red telefónica convencional PSTN que utiliza el protocolo de señalización SS7. La función principal de un Gateway radica en permitir la interconexión fluida entre redes con tecnologías y protocolos diferentes, posibilitando así una comunicación global.

Interacción entre componentes SIP: A través de un servidor proxy

Fase de señalización:

1) Un UAC inicia una solicitud SIP tipo INVITE. Cuando un usuario tiene la intención de efectuar una llamada, el UAC procede a generar una solicitud SIP llamada INVITE. La solicitud SIP tipo INVITE abarca información sobre el destinatario de la llamada como la dirección ip, los códecs de audio admitidos, el mensaje SDP (Session Description Protocol) que describe los parámetros correspondientes a la configuración

de la sesión multimedia, entre otros datos. La solicitud SIP tipo INVITE abarca detalles sobre la sesión que se pretende establecer y se transmite al servidor proxy de su dominio.

2) El servidor proxy recibe la solicitud SIP tipo INVITE y determina cómo enrutarla. Inicialmente, el servidor proxy debe consultar su tabla de enrutamiento para determinar si el destinatario está dentro de su dominio o si debe ser reenviado a otro dominio. Si el destinatario está dentro de su dominio, el servidor proxy SIP tiene la capacidad de enrutar directamente la solicitud al destinatario. Si el destinatario se encuentra fuera de su dominio, el servidor proxy SIP puede consultar un servidor de redirección para obtener información sobre cómo enrutar la solicitud.

3) En caso de que el servidor proxy SIP requiera información para direccionar la solicitud SIP, puede llevar a cabo una consulta al servidor de redirección SIP. El servidor de redirección SIP puede generar instrucciones sobre dónde enviar la solicitud, puede ofrecer instrucciones como la dirección de otro servidor proxy alternativo que pueda manejar la solicitud de manera más eficiente, o puede ofrecer una lista de direcciones SIP alternativas a las que el servidor proxy puede intentar reenviar la solicitud.

4) En caso de requerirse, se recurre al uso del servidor de localización para obtener la ubicación actual del usuario destinatario. Este paso es opcional y puede no considerarse necesario si el servidor proxy ya posee los datos sobre la ubicación del usuario destino.

5) El UAS del usuario destino recibe la solicitud INVITE y procede a responder con otro mensaje SIP, por ejemplo, enviando un mensaje de estado 200 OK para aceptar la llamada. El mensaje SIP 200 OK que responde el UAS también incluye el mensaje SDP (Session Description Protocol) que sirve para proporcionar detalles sobre los parámetros de medios.

Como se puede observar, los Agentes de Usuario Cliente (UAC) y los Agentes de Usuario Servidor (UAS) participan en la negociación de parámetros de medios a través del intercambio de mensajes SIP y actualizaciones SDP, asegurando así un acuerdo mutuo sobre los detalles específicos de la comunicación de voz.

6) Con la negociación de parámetros de medios completada y la aceptación de la llamada confirmada con el mensaje 200 OK, se ha establecido la sesión entre el UAC y UAS.

7) Al finalizar la llamada, se emplea el mensaje BYE para finalizar la sesión. Ambos clientes SIP envían mensajes BYE al servidor SIP, que a su vez reenvía los mensajes a los abonados para confirmar la finalización.

Fase de comunicación (establecimiento de medios):

Después de haber concluido exitosamente el proceso de negociación de medios y de haberse establecido la sesión, los Agentes de Usuario (abonado origen y abonado destino) inician la transmisión de voz de manera directa entre ellos, punto a punto, evitando así la intermediación de servidores SIP. Es importante destacar que la transmisión de comunicaciones multimedia se basa en los protocolos de transmisión de datos RTP (Real-time Transport Protocol) y RTCP (Real-time Transport Control Protocol).

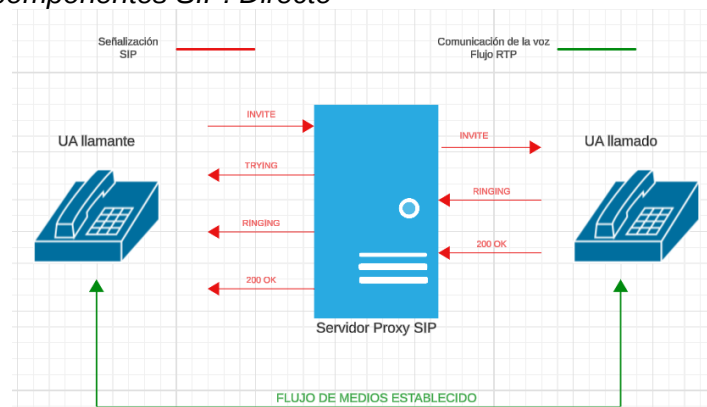
Durante la transmisión de voz en un sistema VoIP, es común que el intercambio de mensajes de señalización continúe incluso después de que la sesión esté establecida. La presencia continua y constante de esta señalización SIP a lo largo de todo el ciclo de vida de la llamada es esencial para desempeñar una serie de funciones como la

modificación de códecs, el ajuste de configuraciones durante la llamada, las transferencias de llamada, la gestión de errores y problemas, entre otros aspectos.

Es fundamental comprender que la señalización (establecimiento, modificación y finalización de la sesión) y la transmisión de medios (comunicación de voz) son procesos distintos que utilizan canales diferentes dentro de un sistema VoIP. Cada proceso abarca su conjunto único de mensajes y operaciones. La señalización se encarga de coordinar, gestionar y controlar las sesiones de llamadas para garantizar una buena experiencia de usuario y para ello hace uso de los mensajes SIP que son enrutados a través de servidores SIP específicos de la red. Por otro lado, la comunicación de medios es la transmisión de voz realizada directamente entre los clientes SIP (abonado origen y abonado destino) y utiliza el Protocolo de Transporte en Tiempo Real (RTP) y el Protocolo de Control de Transporte en Tiempo Real (RTCP).

Figura 1

Interacción entre componentes SIP: Directo



Nota. Autora, 2024

Interacción entre componentes SIP: Back-to-Back User Agent (B2BUA)

Fase de señalización:

1) El abonado origen que actúa como un UAC inicia una llamada enviando una solicitud INVITE al B2BUA. La solicitud INVITE incluye detalles sobre la llamada como la dirección del abonado receptor, los códecs de medios que admite el abonado origen, el mensaje SDP, etc.

2) El B2BUA, en este punto, actúa con el rol de UAS ya que recibe la solicitud INVITE y procesa la información correspondiente a la solicitud, influye o modifica el mensaje SIP con la solicitud INVITE según crea necesario y posteriormente reenvía la solicitud INVITE al abonado destino actuando esta vez ya con un rol de UAC ya que realiza una nueva solicitud.

3) Posteriormente, el B2BUA desde el rol de UAS genera una respuesta de TRYING al abonado origen que inició la llamada.

4) El abonado destino que actúa como un UAS recibe la solicitud INVITE enviada desde el B2BUA desde el rol de UAC, una vez que responde la llamada, envía una respuesta 200 OK al B2BUA que en este punto mantiene el rol de UAC, finalmente, el B2BUA reenvía esta repuesta al abonado origen desde un rol de UAS. En este momento, los abonados están listos para establecer la sesión.

En el transcurso de esta comunicación entre los abonados origen y destino, se negocia los parámetros de sesión a través de mensajes SIP que llevan encapsulado los mensajes SDP que describen los parámetros a negociar.

Cabe destacar que una llamada que atraviesa un B2BUA consta de dos transacciones: una es el establecimiento de sesión SIP entre el abonado origen y el B2BUA y la otra es el establecimiento de sesión entre el B2BUA y el abonado destino; estas sesiones SIP se mantienen independientes una de otra, pero la sesión de medios es directa entre el abonado origen y el abonado destino; además, un B2BUA debe aplicar el mapeo de los mensajes de solicitud y respuestas que recibe de una sesión SIP con los mensajes de solicitud y respuesta correspondiente a la otra sesión SIP generando un costo de procesamiento adicional (Noldus et al., 2011).

Es importante recordar que un B2BUA tiene influencia sobre la señalización, los B2BUA pueden influir en información de señalización relacionada con códecs de medios, puertos a utilizar, características de seguridad, características de calidad de servicio, entre otra información.

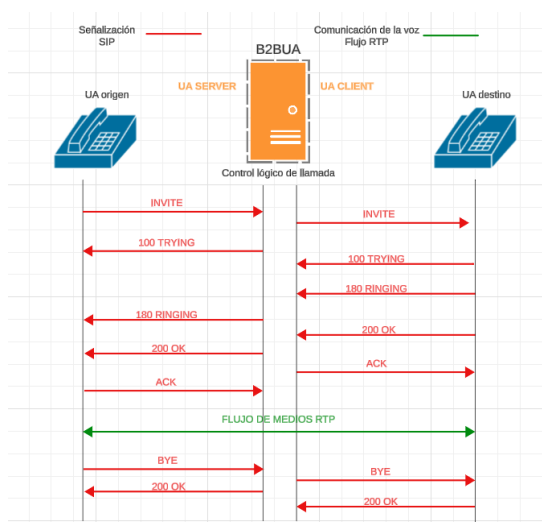
Un B2BUA posee capacidades más amplias en comparación con un proxy de enrutamiento, por ejemplo, un B2BUA puede finalizar una sesión SIP, lo cual podría ser necesario en situaciones como parte de una aplicación de facturación en tiempo real, donde se determina que el crédito disponible para el abonado que llama se ha agotado; otro escenario común para un B2BUA es en una aplicación SIP que requiere interrumpir una sesión de voz para reproducir un anuncio, conectando a las partes involucradas con un dispositivo de reproducción de anuncios (Noldus et al., 2011).

Fase de comunicación (establecimiento de medios):

Una vez que se ha establecido la sesión SIP, la comunicación de voz se lleva a cabo de manera directa entre el abonado origen y el abonado destino, través de flujos de medios RTP.

Figura 2

Interacción entre componentes SIP: Back-to-Back User Agent



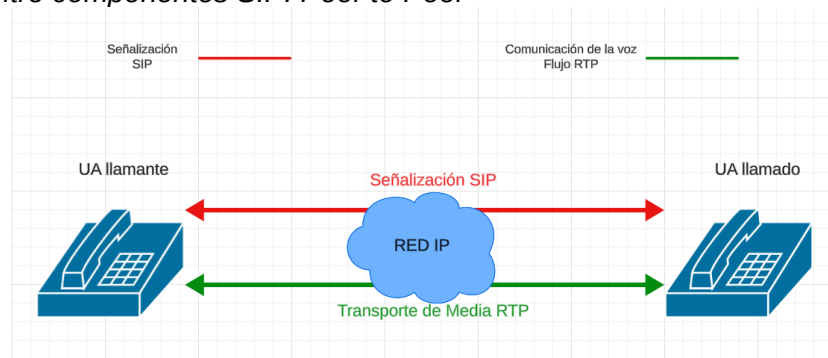
Nota. Autora, 2024

Interacción entre componentes SIP: Topología Peer to Peer

Una topología peer to peer o también llamado “modo de cliente a cliente” significa que se puede establecer una sesión de manera directa entre dos agentes de usuario sin la intervención de ningún servidor SIP. En este escenario, el proceso de señalización y transmisión de voz sigue el mismo procedimiento detallado previamente, pero en este caso prescindiendo de la intervención de un servidor SIP. La comunicación peer to peer (P2P) entre dos agentes de usuario en una arquitectura SIP normalmente implica el uso de dos canales, uno para la señalización y el otro para la comunicación de voz durante toda la sesión.

Figura 3

Interacción entre componentes SIP: Peer to Peer



Nota. Autora, 2024

Integración de redes de voz con internet: Sistema VoIP

Una vez comprendido el funcionamiento de la red telefónica en Internet bajo la arquitectura SIP y cómo opera la telefonía tradicional con señalización SS7, se aprecia con mayor claridad la integración de estas dos tecnologías, cuya convergencia da lugar a un verdadero sistema VoIP. Esto facilita la formación de una red de comunicaciones global que abarca tanto las redes telefónicas convencionales como las comunicaciones a través de Internet. Para lograr esta interoperabilidad e interconexión de estas dos redes distintas, la tecnología VoIP hace uso de los siguientes elementos:

Tabla 5

Integración de redes

Elementos	Descripción
Signaling Gateway (SG)	Elemento de la red que facilita la interconexión e interoperabilidad entre redes con tecnologías de comunicación diferentes. El signalling gateway puede interconectar redes tradicionales de telefonía como las PSTN que utilizan señalización SS7, con redes de telefonía IP que utilizan señalización SIP. Facilita la comunicación entre ambas redes al convertir las señales de control de llamadas (señalización) de un formato a otro, de manera bidireccional. Es decir, permite adaptar la señalización SS7 a una red SIP y permite adaptar la señalización SIP a una red SS7.

Signaling
 Transport
 (SIGTRAN)

Es un conjunto de protocolos que tiene por objetivo transportar la señalización de redes telefónicas tradicionales como las PSTN que utilizan señalización SS7, en paquetes IP, hacia el Media Gateway Controller (MGC). Ya en este punto, la señalización continúa haciendo uso del protocolo SIP para su procesamiento en una red de telefonía IP. Para transportar la señalización SS7 de redes PSTN en paquetes IP hasta el MGC, SIGTRAN utiliza el Protocolo de Control de Transmisión de Flujos (SCTP: Stream Control Transmission Protocol), ya que ofrece funcionalidades específicas para la transmisión de señalización como la capacidad de enviar múltiples flujos de datos de manera independiente, control de congestión, detección y recuperación de fallos.

Media Gateway
 (MG)

Elemento de la red responsable de transmitir datos de voz desde una red tradicional como la PSTN hacia una red IP y viceversa. Media Gateway convierte los flujos de datos multimedia que recibe de la PSTN y los adapta para transmitirlos a través de la red IP utilizando el protocolo RTP. Igualmente realiza este proceso en sentido inverso

Media Gateway
 Controller
 (MGC)

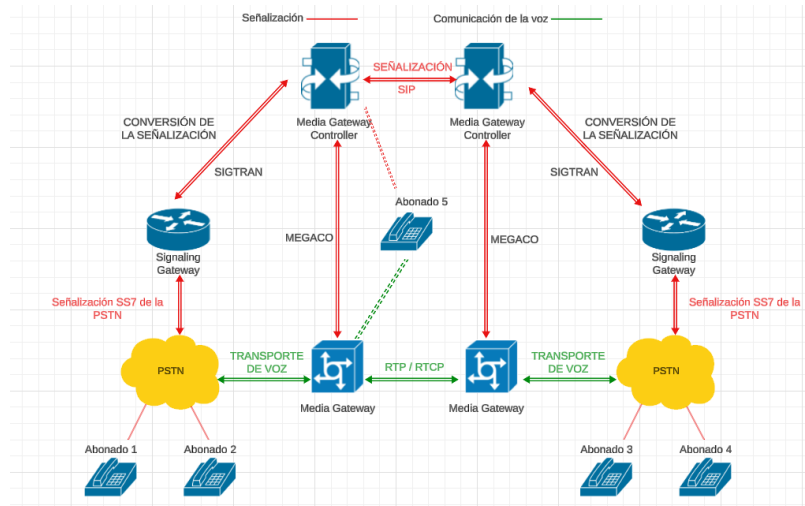
Elemento de la red que supervisa y controla las operaciones del Media Gateway. El Media Gateway Controller (MGC) transmite comandos y mensajes de control al Media Gateway (MG) para configurar, iniciar, modificar y terminar sesiones de llamadas, al mismo tiempo que supervisa el enrutamiento de llamadas y la calidad de servicio (QoS). Para ello, el MGC hace uso del protocolo MEGACO

Megaco:

MEGACO gestiona la transferencia simultánea de voz y señalización a través de vías distintas y abarca tareas como el control de recursos, establecimiento y terminación de llamadas, configuración de parámetros de calidad de servicio (QoS), pasarela de medios proporcionando adaptación de medios entre distintos tipos de redes, entre otras funciones

Figura 4

Integración de redes telefónicas tradicionales con telefonía IP: Sistema VoIP



Nota. Autora, 2024

Beneficios de un sistema VoIP.

Calidad de servicio: La utilización del protocolo RTCP en la transmisión de datos de audio y video en tiempo real, conlleva a una mejora en la calidad del servicio al reducir la latencia y pérdida de paquetes de datos de voz. El protocolo RTCP proporciona capacidades de detección de pérdida de paquetes y corrección de errores, monitorea el flujo de datos RTP ofreciendo información sobre aspectos de calidad de transmisión como pérdida de paquetes, latencia (el tiempo de demora experimentado entre la transmisión y recepción de paquetes de datos en el destino), y congestión de la red. Así mismo, RTCP incorpora mecanismos para rectificar la pérdida de paquetes como la retransmisión de paquetes perdidos y el ajuste dinámico de la velocidad de bits para mitigar la pérdida. Además, RTCP se puede aprovechar para recopilar estadísticas de rendimiento de la red e identificar áreas de mejora en la infraestructura de la red. Todo esto permite a los sistemas VoIP tomar medidas de forma proactiva para abordar los problemas de calidad y garantizar una óptima calidad de servicio y una experiencia de usuario satisfactoria.

Optimización de recursos y mayor rendimiento: Un sistema VoIP puede reducir significativamente el consumo de ancho de banda de una llamada telefónica al utilizar técnicas de codificación y compresión de los datos de voz para reducir el tamaño de estos y requerir una menor capacidad de transferencia de datos para su transmisión, esto habilita poder gestionar más llamadas simultáneamente en una misma infraestructura de red, todo esto sin degradar la calidad de la voz. Czech (2022) señala que una llamada telefónica convencional requiere una línea telefónica dedicada completa, lo que resulta en una utilización ineficiente del rendimiento y redundancia innecesaria, por otro lado, la telefonía por Internet utiliza las infraestructuras existentes de líneas telefónicas y las tecnologías de Internet modernas, lo que permite la transmisión de paquetes de datos de múltiples llamadas a través de la misma línea, aprovechando al máximo su capacidad, de este modo, una sola línea telefónica puede atender a varios abonados simultáneamente. Igualmente, los sistemas de comunicación VoIP pueden gestionar la asignación de ancho de banda para favorecer

el tráfico de voz en detrimento de otros tipos de datos gracias a la implementación de estrategias de calidad de servicio (QoS), esto asegura que las llamadas de voz tengan acceso preferencial al ancho de banda disponible, disminuyendo así la probabilidad de retrasos o interrupciones en las llamadas. Suárez (2023) señala que la calidad de servicio (QoS) puede ser mejorada mediante la implementación de técnicas como la priorización de llamadas de voz, la reserva de ancho de banda específicamente para la voz y la gestión del tráfico. Así mismo, los sistemas VoIP tienen la capacidad de adaptarse y ampliarse con facilidad, lo que les confiere una mayor flexibilidad y escalabilidad en función de las variaciones de la demanda, esto tiene el potencial de mejorar la capacidad de la red para manejar los picos de tráfico y optimizar los recursos disponibles para garantizar una calidad de servicio constante.

Escalabilidad de servicios: La tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) opera a través de la red de Internet para la transmisión de voz en paquetes RTP sobre paquetes IP, empleando el protocolo de señalización SIP para habilitar la telefonía (señalización) en línea. Dado que SIP es un protocolo a nivel de aplicación, se puede considerar que VoIP posibilita una amplia gama de servicios en comparación con las tecnologías telefónicas tradicionales. Además de las funciones de telefonía tales como la marcación y el establecimiento de llamadas, la tecnología VoIP permite la integración de funciones y servicios adicionales como la transferencia de llamadas, conferencias telefónicas, mensajería unificada, grabación de llamadas y enrutamiento inteligente de llamadas, sin necesidad de realizar modificaciones en la infraestructura de la red. También permite otros servicios más complejos como la integración con diversas aplicaciones empresariales entre las que se puede mencionar: sistemas de gestión de relaciones con el cliente (CRM), correo electrónico, plataformas de automatización de marketing y otras aplicaciones de colaboración. La tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) brinda la posibilidad de incorporar aplicaciones de terceros y servicios alojados en la nube con el fin de enriquecer las capacidades de un sistema VoIP. Stanislovaitis (2016) señala que incluso se puede realizar llamadas telefónicas desde un navegador web, una aplicación para teléfono inteligente o un programa informático. A modo de ilustración, las entidades empresariales podrían incorporar herramientas de videoconferencia, colaboración en tiempo real y mensajería instantánea en su plataforma de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) con el fin de potenciar la interacción y eficiencia laboral de los trabajadores. Como se ha podido observar, todos los servicios que ofrece la tecnología VoIP exceden por mucho las prestaciones de una infraestructura telefónica convencional.

Disminución de costos: La adopción de un sistema VoIP puede representar un costo inferior en comparación con el mantenimiento de una red telefónica convencional. Los sistemas VoIP requieren menos hardware físico y pueden administrarse de manera más eficiente y de forma remota, lo que lleva a menores costos operativos. Los costos de mantenimiento de hardware y software generalmente tienden a ser menores, dado que una parte importante de las actualizaciones y reparaciones pueden realizarse a través de medios remotos y centralizados.

Mediante la implementación de VoIP, una entidad puede consolidar la transmisión de voz y datos en una misma red, lo que suprime la necesidad de gestionar infraestructuras individuales para las comunicaciones telefónicas y la red de datos, esto resulta en una reducción de los costos relacionados con la adquisición, mantenimiento y gestión de equipos y líneas telefónicas dedicadas. Un sistema VoIP proporciona la fusión de servicios de telecomunicaciones, incluyendo voz, datos,

video e Internet, en una única red, de manera eficiente, rápida y efectiva (Huerta et al., 2013).

En comparación con los servicios telefónicos convencionales, la tecnología de Voz sobre Protocolo de Internet (VoIP) presenta tarifas de llamadas más asequibles, particularmente en el contexto de comunicaciones de larga distancia e internacionales, al aprovechar la infraestructura de Internet para enrutar las llamadas, de esta manera, VoIP tiene el potencial de evitar los cargos vinculados con las redes telefónicas tradicionales, generando así ahorros sustanciales en los costos de comunicación.

Finalmente, un sistema VoIP permite efectuar y recibir llamadas sin importar su ubicación, siempre que los abonados cuenten con acceso a Internet, lo que elimina la necesidad de líneas telefónicas convencionales, esto es particularmente ventajoso para organizaciones con empleados remotos o móviles. En la actualidad, las empresas están adoptando ampliamente las redes de voz sobre IP debido a sus numerosos beneficios, la reducción de costos por llamada se destaca como uno de los principales atractivos de esta tecnología, ya que permite la integración de voz, datos y video en una sola red, utilizando un único protocolo (Huerta et al., 2013).

Los resultados de la investigación contribuyen significativamente al conocimiento sobre la integración de tecnologías de comunicación en las organizaciones. Al presentar la información de manera accesible tanto para profesionales técnicos como no técnicos, se facilita la comprensión y asimilación del conocimiento contenido en el presente estudio. Esto, a su vez, fomenta la consideración de la adopción de un sistema VoIP en las organizaciones. De esta manera, las empresas pueden aprovechar los beneficios de un sistema VoIP en términos de calidad de servicio, optimización de recursos, escalabilidad de servicios y reducción de costos, lo que les permite mejorar su rendimiento y competitividad en el mercado.

Conclusiones

Los resultados de la investigación cumplen con los objetivos planteados de describir de manera simplificada, pero destacando los aspectos más relevantes de cómo funciona y cómo es la arquitectura de un sistema VoIP. Además, demuestran que la implementación de sistemas VoIP en las organizaciones puede generar beneficios significativos en términos de calidad de servicio, optimización de recursos, escalabilidad de servicios y reducción de costos. Esto sugiere que la implementación correcta de un Sistema VoIP puede tener un impacto positivo en la operatividad y eficiencia de las empresas.

En conclusión, este estudio proporciona una visión clara de la importancia de la arquitectura correcta de los sistemas VoIP y sus beneficios para las organizaciones. Resalta la importancia de considerar la adopción de sistemas VoIP como una estrategia clave para mejorar el rendimiento y la competitividad en el mercado empresarial actual. Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en aspectos específicos, como la implementación y gestión eficaz de estos sistemas en diferentes contextos empresariales.

Referencias

- Gupta, N., Kumar, N., & Kumar, H. (2018). Comparative Analysis of Voice Codecs Over Different Environment Scenarios in VoIP. *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 540-544. <https://doi.org/10.1109/ICCONS.2018.8663241>
- Huerta, E., Barron, J., Quintanilla, J., Aguirre, J., & Mata, R. (2013). Infraestructura clave para el establecimiento de un sistema de comunicación VoIP. En M. Ramos & V. Aguilera (Eds.), *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología Handbook T-II* (pp. 205-216). ECFORFAN. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4777672>
- Suárez, A. (2023). *INTRODUCCION VOZ IP*. Independently published.
- Castellanos, W. (2004). SEÑALIZACIÓN EN COMUNICACIONES MULTIMEDIA EN TIEMPO REAL SOBRE REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN. *Revista GTI*, 3(5), 11-19. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistagti/article/view/1565>
- Lin, Y. (1996). Signaling System Number 7. *IEEE Potentials*, 15(3), 5-8. <https://doi.org/10.1109/45.535225>
- Singh, H., Singh, S., Singh, J., & Khan, S. (2014). VoIP: State of art for global connectivity - A critical review. *J. Netw. Comput. Appl.*, 37, 365-379. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2013.02.026>
- Czech, J.K. (2022). *HOW TO START YOUR OWN VOIP BUSINESS*. https://www.amazon.com/-/es/Czech-J-Kimberly-ebook/dp/B09W2RW13Q/ref=monarch_sidesheet
- Asante, G., Hayfron-Acquah, J., & Riverson, K. (2012). Leveraging VOIP on Local Area Network using Java Media Framework. *International Journal of Computer Applications*, 113(9), 12-19. <https://doi.org/10.5120/19933-1608>
- Heyi, B. (2015). Voice over IP End-to-End Delay Measurements. *American Journal of Networks and Communications*, 4(4), 85-89. <https://doi.org/10.11648/J.AJNC.20150404.11>
- Rosenberg, J., Schulzrinne, H., Camarillo, G., Johnston, A., Peterson, J., Sparks, R., Handley, M., & Schooler, E. (2002). SIP: Session Initiation Protocol. *Network Working Group*. <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3261>
- López, V. (2011). *ANÁLISIS DE LA PAQUETIZACIÓN DE VOZ SOBRE IP EMPLEANDO EL PROTOCOLO DE INICIO DE SESIONES SIP CON BACK TO BACK USER AGENT (B2BUA) EN UNA APLICACIÓN SOBRE REDES WI-FI* [Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejército]. Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4845/2/T-ESPE-032947-A.pdf>
- Noldus, R., Olsson, U., Mulligan, C., Fikouras, I., Ryde, A., & Stille, M. (2011). Introduction to Session Initiation Protocol. En R. Noldus, U. Olsson, C. Mulligan, I. Fikouras, A. Ryde & M. Stille (Eds.), *IMS Application Developer's Handbook* (pp. 145-22). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382192-8.00007-X>
- Stanislovaitis, V. (2016). *How to Start a VoIp Business*. Vilius Stanislovaitis.

Revista Científica Unanchay

Equipo editorial

Directora de la revista

PhD. Ana Teresa Berrios Rivas - Doctorado en Educación: Tecnología Instruccional y Educación a Distancia

<https://orcid.org/0000-0002-0101-176X>

Editor

MSc. Christian Patricio Cabascango Camuendo - Magíster en Diseño Mecánico con Mención en Fabricación de Autopartes

<https://orcid.org/0000-0002-4927-0832>

Secretaria

Lic. Noelia Betsabé Goldstein Molina - Licenciada en Ciencias Políticas y Sociales

<https://orcid.org/0000-0002-8883-782X>

Administrador Tecnológico

Ing. Christian David Moscoso G. -Ingeniero en Sistemas de la Información.

<https://orcid.org/0000-0003-1557-400X>

Diseñadora Gráfica

Tnlga. Sandy Carapaz Chicaiza - Tecnóloga en Diseño Gráfico.

<https://orcid.org/0000-0001-9948-3898>

COMITÉ EDITORIAL

- Dr. Alcides Aranda. Doctor en Pensamiento Complejo y Construcción Transdisciplinaria del Conocimiento. Quito, Ecuador.
- PhD. Jose Andres Castillo Reyes. Doctor en Educación Superior. Quito, Ecuador.
- PhD. Raúl Gutiérrez Álvarez. PhD en Ingeniería Energética, Química y Ambiental. Riobamba, Ecuador.
- MSc. Johnny Marcelo Pancha Ramos. Magister en Sistemas Automotrices. Quito, Ecuador.
- M.Ed. Alirio Antonio Mejía Marín. Magister en Investigación Educacional. Barquisimeto, Venezuela
- MSc. Juan Fernando Iñiguez Izquierdo. Magister Gerencia y Liderazgo Educacional. Quito, Ecuador.
- Msc. María Mercedes Cambil Caruci. Magister Scientiarium en Sistemas de Información. Barquisimeto, Venezuela
- MSc. Franz Paul Guzmán Galarza. Magister en Seguridad salud y Ambiente. Quito, Ecuador.