

REAXXION

Ciencia y tecnología universitaria

XXVIII

ISSN: 2007-7750



Te hidratas o tomas agua: Evaluación fisicoquímica de agua purificada en Manzanillo

Plataforma propia de Aprendizaje de dinámicas y variables para la autonomía del vehículo agrícola

Modelo de distribución automatizado en 3D

Impacto de las 5S para la optimización de un CEDIS de giro textil

Año 10, Número 1, 2022





UTL

LEÓN

ISSN:2007-7750

Jorge Enrique Hernández Meza

Secretario de Educación de Guanajuato

Yoloxóchitl Bustamante Díez

Encargada de Rectoría de la Universidad Tecnológica de León

José Ernesto López Juárez

Secretario Académico

Olga Rebeca Ledesma García

Directora de Desarrollo Académico y Docente

José de Jesús Mendoza Rivas

Director de Económico Administrativo y Sustentabilidad para el Desarrollo

José Fernando Torres Vallejo

Director de Electromecánica Industrial, Tecnologías de la Información y Comunicaciones

Ma. de Jesús Armenta Ortiz

Subdirectora de Campus II

José Jaime Ávila Morales

Subdirector de la Unidad Académica del Sureste

Comité Editorial

Liliana González Arredondo

Directora Editorial

Pedro Andrés Meza Torres

Aseguramiento de calidad

Daniel Israel Rodríguez Gante

Diseño web

María Fernanda Flores Muzquiz

Diseño gráfico y editorial

María de la Luz García Cárdenas

Corrección Editorial

Jessica Sandoval Palomares

Representante de Investigación

Ma. Guadalupe Serrano Torres

Representante de Área Económico-Administrativa

Roberto Gutiérrez Guerra

Representante de Área Sustentabilidad para el Desarrollo

Anahí Torres Tinoco

Representante de Área Tecnologías de la Información y Comunicación

J. Guadalupe Santos Gómez

Representante de Área Ingenierías

Mayra Verónica Barrera Figueroa

Representante de Unidad Académica del Sureste





Carta editorial

En la revista celebramos el hecho de arribar al año 10 de publicación. Tan lejos y, paradójicamente al mismo tiempo tan cerca, luce aquel 13 de septiembre del año 2013, cuando Reacción fue fundada por acuerdo de la rectoría de la Universidad Tecnológica de León.

Desde entonces la revista ha sido un punto de encuentro donde investigadores e investigadoras muestran los resultados de sus hallazgos; las colaboraciones son evaluadas por expertos y expertas que, en procesos de arbitraje doble ciego, analizan y dictaminan que las propuestas cumplan con el rigor técnico para ser publicadas; aunado a ello, el trabajo de un equipo editorial formado por profesionales y representantes de las áreas de la universidad, que aplican sus conocimientos en comunicación, diseño, plataforma tecnológica y gestión editorial para hacer posible el crucial momento de la verdad: aquel donde lo publicado es consultado por la comunidad lectora, y entonces se detona el aprendizaje, la crítica, la discusión, la visualización de otras posibilidades. En la revista Reacción nos sentimos felices al formar parte de esta espiral de conocimiento. ¡Enhorabuena!

La vigésima octava publicación se integra por una colaboración correspondiente al área de Biología y Química y tres referentes al eje de las Ingenierías.

Es sabido el papel esencial de la ingesta de agua para conservar las funciones y el equilibrio del organismo (distribución de nutrientes, sistema circulatorio, músculos, huesos, cerebro, proceso digestivo, entre otros). Ante ello, visto que en la sociedad mexicana existe la tendencia a la adquisición de aguas purificadas, las autoras y el autor de **Te hidratas o tomas agua: evaluación fisicoquímica de agua purificada en Manzanillo**, tras analizar la composición de este líquido, destacan que la totalidad de los productos cumplen con las normas oficiales en cuanto a los límites máximos permitidos de minerales, sin embargo, argumentan la necesidad de modificar los estándares, incluyendo también los niveles mínimos requeridos para que el organismo cuente con un nivel saludable de hidratación.



En cuanto al área de las Ingenierías, los autores de **Plataforma propia de aprendizaje de dinámicas y variables para la autonomía del vehículo agrícola**, explican detalladamente la definición y las pruebas necesarias para crear un hardware y una aplicación de bajo costo que facilite el aprendizaje de las variables de un tractor o vehículo similar, de manera que este se convierte en un laboratorio móvil que puede ser utilizado por estudiantes o trabajadores(as) para aprender más sobre las posibilidades de automatización en este tipo de maquinaria. El artículo contiene los procedimientos, fórmulas, diagramas y código utilizado, de manera que incluso el público lector con esta formación disciplinar, además de analiza el proyecto, pueda replicarlo.

Continuando en el ámbito de la mecatrónica, y dado que en el sector industrial la simulación de procesos en software ha demostrado ser útil para evaluar el rendimiento y la funcionalidad de múltiples procesos e introducir correcciones antes de aplicarlos en condiciones reales, las autoras y autores de **Modelo de distribución automatizado en 3D** informan sobre la creación de una estación didáctica Festo para simular un proceso complejo de automatización, lo que han logrado mediante el uso de un autómatas S7-200, software de programación, diagramas eléctricos y neumáticos, programa SolidWorks (de Diseño Asistido por Computadora: CAD) y simulación.

Por otra parte, los autores de **Impacto de las 5S para la optimización de un CEDIS de giro textil** reportan cómo la aplicación de *seiri, seiton, seiso, seiketsu* y *shitsuke* (las conocidas cinco eses japonesas) inciden de manera significativa en la mejora de la calidad y la productividad. Específicamente lo aplicaron en el proceso de preparación de pedidos en un centro distribuidor de pantalones, y reportan cómo la implementación de esta metodología logró, además del inherente orden, limpieza y estandarización, un resultado favorable en la disminución de los tiempos de búsqueda, mejor aprovechamiento del espacio, y un clima organizacional en el que se practica la comunicación y el trabajo en equipo por parte del personal.



Confiamos en que las aportaciones contenidas en este número de la revista Reacción consoliden aprendizajes a través de la contextualización en ambientes específicos, y propicien en el público lector el deseo de generar más conocimiento en las diferentes líneas de investigación.

Atentamente

Comité Editorial

REA>XION

10 AÑOS



Índice

8.

Te hidratas o tomas agua: evaluación fisicoquímica de agua purificada en Manzanillo

21.

Plataforma propia de aprendizaje de dinámicas y variables para la autonomía del vehículo agrícola

42.

Modelo de distribución automatizado en 3D

58.

Impacto de las 5S para la optimización de un CEDIS de giro textil

REA>XION



Te hidratas o tomas agua: evaluación fisicoquímica de agua purificada en Manzanillo

Either you Hydrate Yourself or You drink water: Physicochemical Evaluation of Purified Water in Manzanillo

María Elena Zenteno Vázquez, Beatriz Adriana Dueñas Gallegos, Miriam Minerva Jiménez Lara y Adrián Tintos Gómez /

Universidad Tecnológica de Manzanillo

Resumen

Tener la seguridad de la calidad del agua que se consume se vuelve prioritario para las instituciones de salud pública, por lo que identificar su composición mediante análisis que permitan conocer su calidad se torna indispensable para el cumplimiento de las políticas públicas nacionales e internacionales. En este trabajo se analizaron muestras de agua de 24 plantas purificadoras en Manzanillo, México. Se encontró que la totalidad de las muestras cumplían con la normatividad mexicana y la de la OMS (Organización Mundial de la Salud), sin embargo, presentaron una concentración de SDT (sólidos disueltos totales) de 41.6 mg/L y dureza (CaCO_3) de 13.5 mg/L, así mismo, el pH del 42 % de las muestras fue menor a siete y 8 % por arriba de ocho, sin cloro residual detectado. Estos valores ubican las muestras como aguas bajas en sales y blandas, respecto a lo recomendado para mantener un correcto balance hídrico.

Palabras clave: hidratación, minerales, SDT, ósmosis, dureza.

Abstract

Due to the vital importance of water consumption to maintain good health, being sure of the quality of the water consumed becomes a priority for national and international public health institutions, so identifying its composition through different analyzes that allow knowing its quality becomes essential for the fulfillment of national and international public policies. This research analyzed water samples from 24 purification plants in Manzanillo, Colima, Mexico. It was found that 100% of the samples complied with the Mexican and WHO regulations, however, they presented a concentration of TDS (total dissolved solids) of 41.6 mg/L and hardness (CaCO_3) of 13.5 mg/L, likewise the pH of 42% of the samples was less than 7, and 8% above 8, with no residual chlorine detected. These values place the samples as low-salt and soft water according to what is recommended to maintain a correct water balance.

Keywords: hydration, minerals, TDS, osmosis, hardness.



Introducción

La seguridad del agua para el consumo humano comprende objetivos de protección de la salud, establecidas por una autoridad con competencia en esta materia, sistemas adecuados, gestionados correctamente (infraestructuras, monitoreo, planificación y gestión eficaces) y un sistema de vigilancia independiente. La evaluación integral y la gestión de riesgos de los sistemas de abastecimiento de agua de consumo humano aumentan la confianza en la seguridad del agua, tópico atendido desde el 2003 por el Centro Europeo para el Medio Ambiente y Salud de la organización mundial de la salud (World Health Organization).¹

Esta evaluación se ve regida por normas y leyes, entre las cuales se encuentran la NOM-230-SSA1-2002 y la NOM-127-SSA1-2021, estas indican que la vigilancia de la calidad del agua es fundamental para reducir los riesgos de transmisión de enfermedades (de tipo gastrointestinal y las producidas por contaminantes) a la población por medio de su consumo. La verificación e inspección de las características mencionadas, se evalúa comparando las condiciones que presentan los sistemas de abastecimiento, con los requisitos sanitarios que permiten conservar la calidad del agua. Esta vigilancia incluye todos los sistemas de purificación de agua, haciendo énfasis en las de consumo humano.²

En México existe la tendencia de consumir agua proveniente de plantas purificadoras, que para su comercialización es importante que cuenten con un sistema de purificación específico, de acuerdo con

las características particulares de la fuente de agua, ya que sus propiedades pueden variar dependiendo de la zona geográfica. Estos procesos de purificación deben adecuarse a la normatividad, considerando la fuente de procedencia del agua, puesto que sus propiedades pueden variar y de eso depende el proceso de purificación. Conforme a la normatividad, se deben cumplir ciertos parámetros de calidad, tanto en la parte fisicoquímica como en la microbiológica, y no ser de origen residual.²

El consumo de agua es vital y necesario para diferentes procesos metabólicos.³ Por medio de la piel, los pulmones, las heces y la orina se pierde una parte considerable de agua, la cual debe compensarse con una ingesta adecuada. La pérdida a través de la piel y los pulmones puede variar dependiendo de condiciones ambientales o por la actividad física de las personas⁴. Procesos que, como resultado, eliminan los electrolitos (sales y minerales), que ayudan a mantener un balance en el equilibrio hídrico en el organismo⁵ y cuya pérdida conlleva a la deshidratación. Por eso instituciones y organismos de la salud hacen hincapié en que el agua debe formar parte de la base fundamental de las recomendaciones nutricionales, al tratarse de un elemento esencial para que las personas se mantengan correctamente hidratadas y así evitar los efectos negativos que la deshidratación puede llegar a provocar en el organismo.⁶

Sólidos Disueltos Totales (SDT) es una técnica que permite cuantificar con precisión la concentración de minerales, sales y compuestos orgánicos que se disuelven naturalmente en el agua a través del contacto con rocas y otras superficies,

se mencionan como una métrica de calidad estándar. SDT se representa en miligramos por litro⁷.

La calidad del agua ingerida es uno de los factores determinantes para tener una vida saludable. Desde el punto de vista de gestión, los SDT son el factor más importante a considerar⁸. La concentración de SDT influyen en el grado de palatabilidad del agua, como lo refieren Islam et al, 2017, considerando la concentración de SDT como excelente (menos de 300 mg/L); bueno entre 300 y 600 mg/L; regular, entre 600 y 900 mg/L; pobre, entre 900 y 1200mg/L; e inaceptable, superior a 1200 mg/L⁹. Así mismo, se sabe que los SDT se correlacionan positivamente con la conductividad y afectan el pH, es decir cuanto mayor sea la concentración de SDT será mayor la conductividad y menor será el pH, dirigiéndose hacia la acidez⁹. Es por eso determinante la concentración de SDT en muestras de 24 plantas potabilizadoras de agua en Manzanillo, Colima, México.

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), hasta el 2014 se encontraban registradas solo 28 plantas purificadoras de agua en el municipio de Manzanillo¹⁰, distribuidas todas cercanas a lo largo de la línea de costa de las bahías de Manzanillo y Santiago, como se aprecia en la Figura 1.

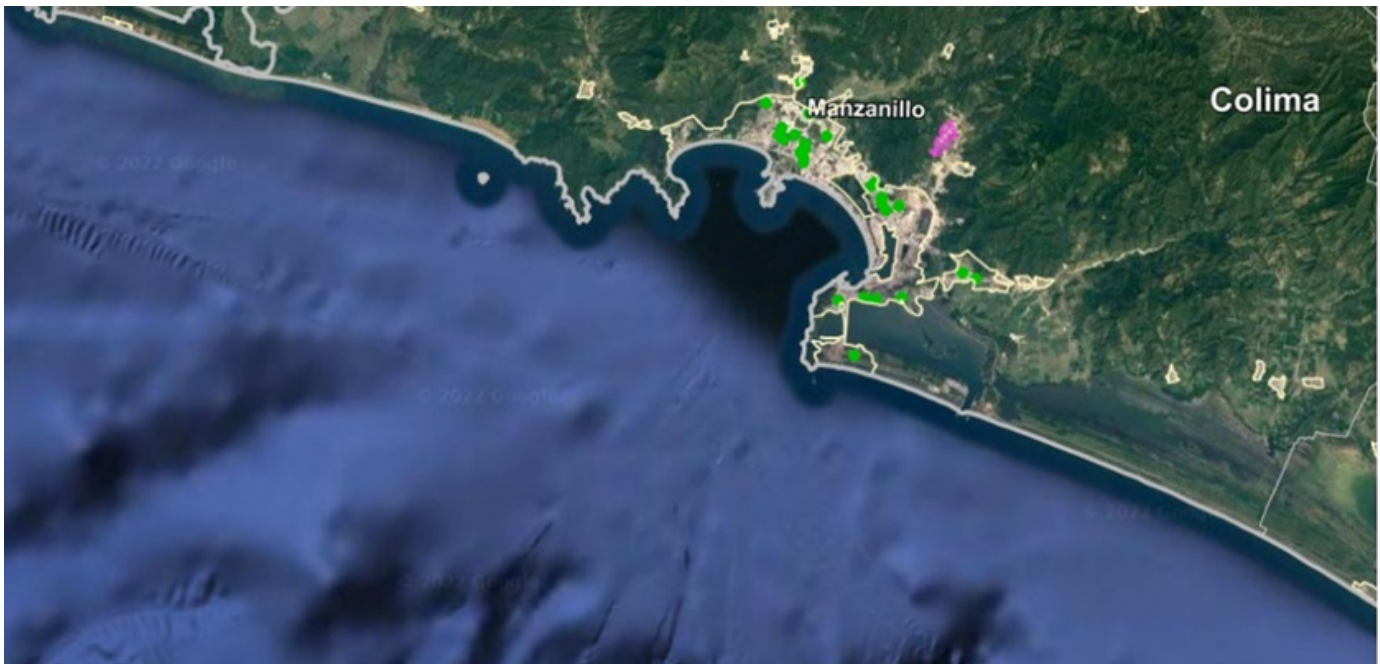


Figura 1. Distribución de plantas purificadoras en Manzanillo. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)¹⁰.



Objetivos

Evaluar la calidad del agua de diferentes plantas purificadoras en Manzanillo, por medio de análisis fisicoquímico, sobre la base de los requerimientos establecidos por normas nacionales e internacionales.

Planteamiento

México se convirtió en el mayor consumidor de agua embotellada en el mundo. Donde el mercado no solo pertenece a las grandes empresas, sino que dio oportunidad a pequeños negocios, generando competencia y haciéndolo económicamente más accesible. Este aumento de mercado generó informalidad por parte de algunos negocios, lo que hizo más difícil la regulación y monitoreo de la calidad de este recurso. Como ejemplo, el municipio de Manzanillo se suma a este crecimiento, y en especial por su ubicación costera con su clima tropical, el consumo de agua es aún mayor.

De ahí radica la importancia de poder analizar el agua desde el punto de vista fisicoquímico, comparándola con organizaciones nacionales e internacionales, y ver en qué situación se ubica la calidad de agua que es comercializada por las distintas plantas purificadoras, haciendo énfasis en la cantidad de sales y minerales, ya que estas incrementan la retención de agua¹¹, por esto, es necesario poner atención en las dosis recomendadas de electrolitos, considerados en los SDT, en la ingesta de agua de la dieta de todo organismo, considerando los requerimientos de hidratación a fin de conservar un equilibrio en el balance hídrico.

Método de trabajo

Muestras

Las muestras fueron recolectadas en diferentes puntos de Manzanillo, se tomaron en promedio 500 mL de agua purificada por negocio, los análisis se realizaron en el Laboratorio de Química de la Universidad Tecnológica de Manzanillo.

Estas muestras fueron tomadas a partir del mes de noviembre del 2021 a febrero de 2022.

Análisis

Las muestras fueron sometidas a pruebas organolépticas como olor, color y apariencia. Los análisis físicos y químicos seleccionados fueron los siguientes: pH, dureza, SDT, cloro libre y conductividad.

SDT y conductividad

Los SDT de las muestras se midieron con el dispositivo EC/SDT Tester (*Hanna Instrument*), con un volumen de muestra de 100 mL, realizándose las pruebas por triplicado. La conductividad se midió con el mismo dispositivo mediante el cambio de lectura.

Dureza

Para este parámetro se cuantificó el carbonato de calcio (CaCO_3) disuelto en las muestras de agua utilizando dos dispositivos diferentes, para lograr lecturas con certeza y confiables, para ello se usaron los siguientes:



- Hardness test kit (HI3812), rango de medición: 0 a 30 mg/L (ppm) - 0 a 300 mg/L (ppm).
- Calcium Hardness (HI720), rango de medición: 0.00 a 2.7 mg/L (ppm).

Los análisis se realizaron siguiendo los protocolos del proveedor. En aquellas muestras que presentaban una concentración baja de dureza con el modelo HI3812 (4-5 mg/L (ppm)), se repitió el análisis con el modelo HI720 debido a su sensibilidad.

Cloro libre

Para las pruebas de cloro residual se tomó en cuenta lo señalado por la NOM-201-SSA1-2015 apartado A.3.10.3.3.4 y NMX-AA-108-SCFI-2001, al usar un kit que contara con tabletas indicadoras de N, N-dietil-p-fenilendiamina (DPD), cuya sensibilidad estuviera dentro de los rangos de 0.2-1.50 mg/L, establecida por la misma norma.

pH/temperatura

La determinación de pH y temperatura fueron realizadas simultáneamente con un potenciómetro Hanna Instrument, HI 2210.

Este proceso fue replicado por un pHmetro portátil (Hanna Instrument, HI 991001), para verificar la variabilidad de los resultados.

Resultados

Los datos obtenidos por cada uno de los análisis fueron interpretados mediante gráficos de control que facilitaron la comparación con respecto a la normatividad.

En la Figura 2 se presenta el gráfico en el que se comparan los resultados de SDT obtenidos en las muestras de agua y los límites máximos permitidos de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994, OMS, y un óptimo mínimo propuesto por Kozisek (2005)¹²

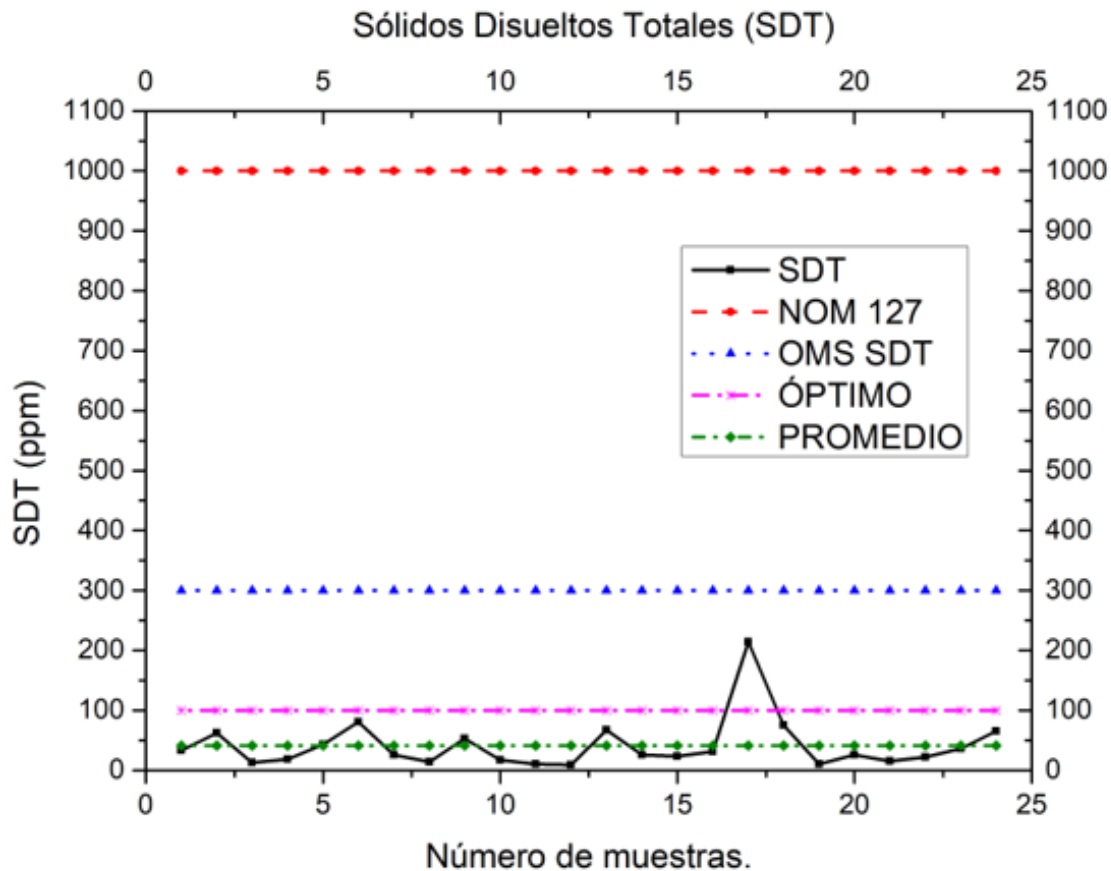


Figura 2. SDT en relación con la normatividad nacional, internacional y mínima recomendada. Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos, cumplen ambas limitantes de acuerdo con la NOM-127-SSA1-1994 y la OMS, ya que se encuentran por debajo de ambas. En cambio, con el mínimo óptimo de 100 ppm (mg/L), solo una de las muestras cumple con ese requisito. Se obtuvo un promedio de 41.18 ppm, la cual se considera un agua muy baja en sales y minerales.

En la Figura 3 se muestra el gráfico acerca de la (dureza del agua (CaCO_3): se observa un comportamiento casi similar al gráfico de SDT, esto debido a que las concentraciones en la mayoría de los casos son proporcionales. Las muestras están muy por debajo en relación de la NOM-127-SSA1-1994, y se plantearon los límites máximos para poder clasificarlo de acuerdo con la OMS, así las muestras analizadas se clasifican como aguas blandas, ya que se encuentran por debajo de 180 ppm (mg/L), con excepción de una de las muestras que se encuentran en una categoría moderadamente dura.

En promedio se obtuvo 13.5 mg/L de CaCO_3 . Se puede observar en las gráficas que la Norma mexicana parece mostrar un límite muy amplio en relación con la Organización Mundial

de la Salud, y con esos parámetros se habla de un agua que afecta a sus propiedades organolépticas y de cierta manera en la salud.

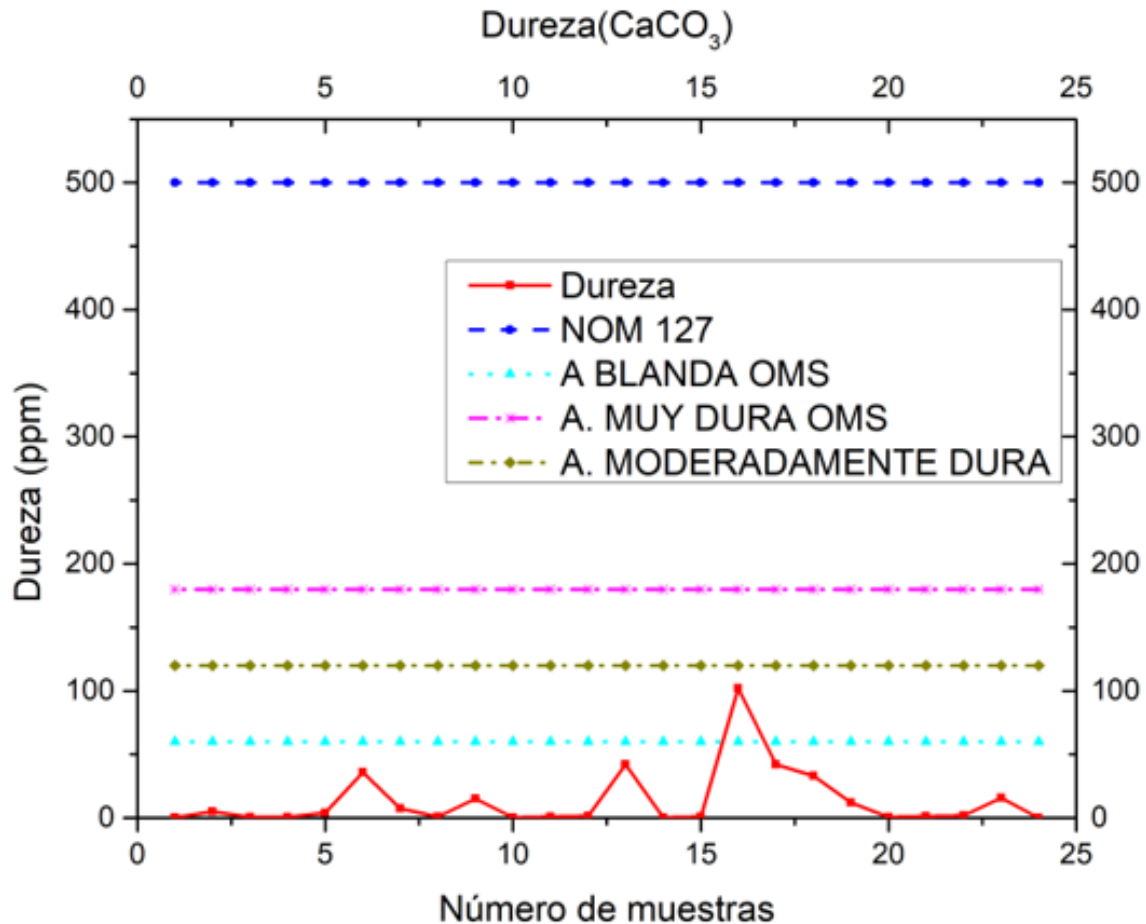


Figura 3. Dureza de CaCO_3 . Fuente: Elaboración propia.

El pH de las muestras de Manzanillo (Figura 4) resultó por debajo del pH neutro, y de acuerdo con la NOM-127-SSA1-2017 (6.5 a 8.5) están dentro del rango, con excepción de una de las muestras, se denota un agua ligeramente ácida. Alrededor del 42 % de las muestras están por debajo del pH neutro (7), y solo el 8 % se encuentra por arriba de ocho, que hablando en términos de agua comercial se consideran aguas alcalinas.

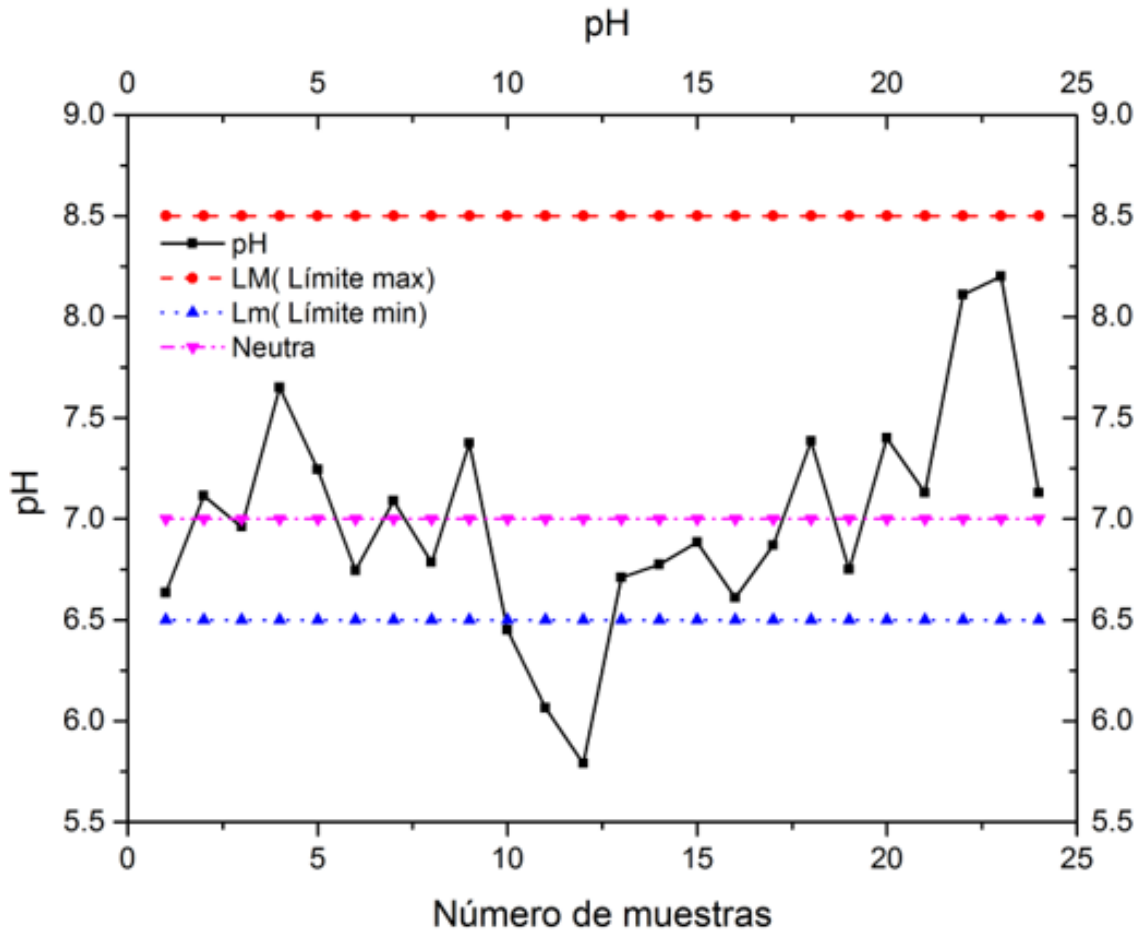


Figura 4. pH de acuerdo con los límites permisibles NOM-127-SSA1-2017. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, la conductividad eléctrica, tiene un comportamiento similar a SDT, derivado de las sales disueltas en agua, que se presenta en forma de iones disueltos, ver las figuras 2 y 5).

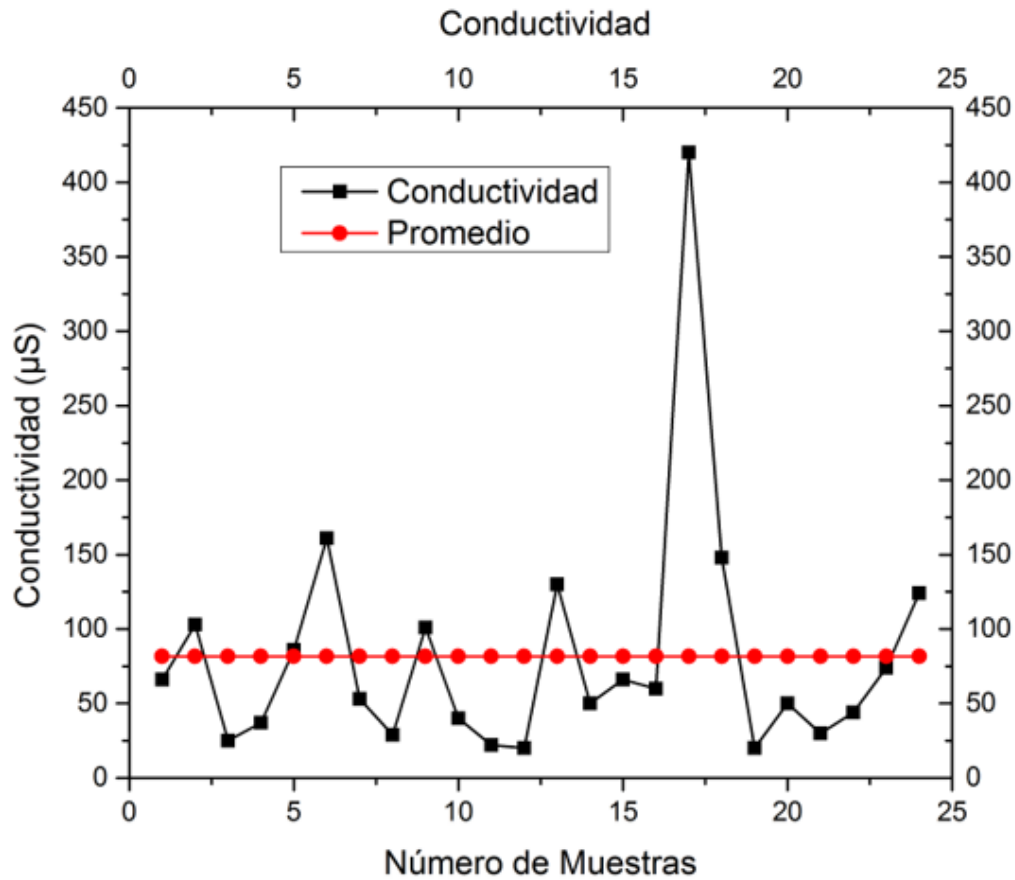


Figura 5. Conductividad. Fuente: Elaboración propia.

Para el cloro residual no se encontró presencia en las muestras.

La mayoría de las muestras resultaron inodoras e incoloras, con excepción de una en la que se percibía un olor ligeramente desagradable, por lo que se repitió el muestreo y análisis del agua de esa planta purificadora, obteniendo el mismo resultado, atribuible a la presencia de compuestos biológicos, tratamientos químicos, problemas en la fontanería, falta de mantenimiento del sistema de purificación de agua.

Discusión

En relación con la normatividad nacional e internacional, las muestras obtenidas en diferentes colonias de Manzanillo, Colima, señalan el cumplimiento de ambas normatividades (nacional e internacional).

Los límites de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana del agua para uso y consumo



humano y los límites permisibles de la calidad del agua (NOM-127-SSA1-1994, 2021), en comparación con los límites establecidos por la OMS, la norma mexicana parece mostrar mayor alcance como se observa en las gráficas de las figuras 2 y 3. Los SDT por parte de la NOM están 400 mg/L(ppm) por arriba en comparación con la OMS, teniendo una tolerancia del 66 % más, al igual que en el parámetro de dureza de acuerdo con la clasificación del tipo de agua. En relación con el CaCO_3 una concentración por arriba de 180 mg/L(ppm) se considera un agua dura, por consiguiente los límites máximos permitidos de la normatividad nacional indica que están por arriba de ese criterio con un valor de tolerancia de 500 mg/L.

Se denota una tendencia baja en relación con los SDT, derivado de los resultados obtenidos en promedio se encuentra alrededor de 41 mg/L(ppm), esto es a consecuencia del proceso de purificación, en especial de la ósmosis, que elimina muchos minerales esenciales que son clave para una buena salud. Debido a la eliminación de contaminantes tóxicos en el agua no purificada ha llevado al descuido de los minerales esenciales¹³.

En la investigación de Kozisek (2005)¹² se indica que el agua destilada y con bajo contenido de minerales (SDT < 50 mg/L) puede tener características de sabor negativas a las que el consumidor puede adaptarse con el tiempo. También se dice que este tipo de agua quita menos la sed. Aunque estos no se consideran efectos sobre la salud, deben tenerse en cuenta al considerar la idoneidad del agua con bajo contenido de minerales para el consumo humano. En las muestras obtenidas de los distintos centros y despachos de agua

purificada se tuvo en promedio 41 mg/L (ppm) de SDT, demostrando que se está bajo esas condiciones, aunque parece pasar desapercibido el sabor del agua.

Un estudio realizado en la India demostró que casi el 50 % de participantes que consumían agua purificada por ósmosis mostraban una tendencia positiva a la deficiencia de la vitamina B12, el estudio sugiere la posibilidad de algún mecanismo similar aún no identificado responsable del desarrollo de la deficiencia de vitamina B12 en personas que beben agua procesada por ósmosis inversa¹⁴. En este caso la mayoría de los establecimientos operan con este sistema de purificación.

Se obtuvo una dureza en promedio de 13.5 mg/L (ppm) de CaCO_3 que, de acuerdo con la investigación de Kozisek (2005) hace la recomendación para el calcio, con un mínimo de 20 mg/L y un óptimo de alrededor de 50 (40-80) mg/L¹², por lo cual se encuentra por debajo del rango mínimo, lo que puede provocar un desequilibrio en el balance hídrico con consecuencias en la pérdida de la homeostasis.

Conclusiones

La población mexicana en búsqueda de bienestar, incluyendo la ingesta de agua purificada, se ve expuesta al consumo de agua tratada en condiciones que no ofrecen las dosis diarias recomendadas de sales y minerales requeridos, para que los usuarios y usuarias mantengan su equilibrio hídrico, lo que pone en riesgo su bienestar, aunque estas aguas cumplan con la normatividad vigente en el ámbito nacional e internacional.



México es un país donde el consumo de agua purificada sigue en aumento, Manzanillo no es la excepción. Un agua que favorezca la hidratación debe contar con sales esenciales, que se pierden por los procesos de purificación, por lo tanto, se puede decir que no es suficiente solo señalar los límites máximos permisibles, sino integrar a la normatividad los límites mínimos requeridos. Se recomienda que se generen estrategias como el monitoreo de la calidad del agua para el consumo humano, de manera particular en las pequeñas plantas purificadoras, así como la actualización de la normatividad, esto con la finalidad de ofertar agua potable que garantice la hidratación del consumidor.



Referencias

1. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum. En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2022]. Disponible en <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. ISBN: 978-92-4-154995-0
2. NOM-127-SSA1-2021. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 02 de mayo de 2022. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0
3. IGLESIAS, R. C. et al. Importancia del agua en la hidratación de la población española: documento FESNAD 2010. *Nutrición Hospitalaria* [en línea]. 2011. 26(1): 27-36. [Fecha de consulta: 14 de marzo de 2022]. Disponible en https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112011000100003 ISSN: 1699-5198
4. PADRAO, P. et al. Urinary hydration biomarkers and dietary intake in children. *Nutrición Hospitalaria* [en línea] 33(3):35-40. 2016. [Fecha de consulta: 14 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.20960/nh.314> ISSN: 1699-5198
5. PIÑA GARZA, E. et al. Metabolismo del agua y los electrolitos. *En Bioquímica de Laguna*. Ciudad de México. Editorial Manual Moderno. 2012. ISBN: 978-607-448-292-8
6. INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN AGUA Y SALUD. Guía de Hidratación (en línea). *En Instituto de Investigación Agua y Salud*. 2018. Disponible en <https://institutoaguaysalud.es/guia-hidratacion-saludable/> ISBN: 978-84-270-3447-1
7. SVALBARDI Polar Iceberg Water . *What is TDS in water and why does it matter?* 2021. [Fecha de consulta: 14 de marzo de 2022]. Disponible en <https://svalbardi.com/blogs/news/what-is-tds-in-water-and-why-does-it-matter>.
8. SALMANI, M.H. y SALMANI, J.E. Forecasting models for flow and total dissolved solids in Karoun river-Iran. *Journal of Hydrology* [en línea], 535, 148-159. 2016. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.085> ISSN 2214-5818
9. ISLAM, M. A. et al. Physico-chemical and microbiological assessment of drinking water of the selected restaurants in Mymensingh district of Bangladesh. *Progressive Agriculture* [en línea] 32 (2):84-95, 2021. [Fecha de consulta: 14 de marzo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.3329/pa.v32i2.58393> ISSN: 2310-2950
10. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas. 2018. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/default.aspx>
11. INSTITUTO LINUS PAULING (ILP). Sodio. [En línea]. En Oregon State University. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2022]. Disponible en <https://lpi.oregonstate.edu/es/mic/minerales/sodio>
12. KOZISEK, F. Health Risks From Drinking Demineralised Water. Switzerland: *World Health Organization. Nutrients in drinking water*. Geneva 27. 2005. ISBN 92 4 159398 9.
13. SURENDRA, E. et al. The health risks of demineralized water. *En Deccan Herald*.



2019. [Fecha de consulta: 14 de junio de 2022]. <https://www.deccanherald.com/city/bengaluru-infrastructure/the-health-risks-of-demineralised-water-781057.html>
14. GANJIWALE, J. D. Association of Vitamin B12 Deficiency and Use of Reverse Osmosis Processed Water for Drinking: A Cross-Sectional Study from Western India. *Journal of clinical and Diagnostic Research*. [En línea]. 2016. [Fecha de consulta: 14 de marzo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.7860/jcdr/2016/19621.7864> ISSN: 0973709X

Fecha de recepción

Fecha de aceptación

Fecha de publicación

15/03/2022

07/07/2022

30/09/2022



Plataforma propia de aprendizaje de dinámicas y variables para la autonomía del vehículo agrícola

Own platform for learning dynamics and variables for the autonomy of agricultural vehicles

Sergio Sandoval Pérez, Juan Miguel González López, Jesús Ezequiel Molinar Solís y Gilberto Barreto / Instituto Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán / Universidad de Colima

Resumen

Se propone el diseño en hardware y aplicación de una plataforma de bajo costo para el entendimiento de las dinámicas y variables físicas del tractor, esto permite que las y los estudiantes analicen el comportamiento de algoritmos de control propuestos, en tiempo real por retroalimentación de estados, para la autonomía del vehículo agrícola, utilizando sensores comerciales e interactuando con Arduino uno o DAQ 6009 de National Instruments utilizadas en las universidades. También se aplica una app de diseño propio para el monitoreo en tiempo real de esta plataforma en sus señales autónomas de control, del sistema de referencia local y de las variables físicas y dinámicas en el tractor, como una alternativa de aprendizaje en línea (laboratorio móvil) para el nivel de Educación Superior. Los resultados obtenidos se comparan con Matlab, y Scilab, para determinar la similitud con estas dos plataformas comerciales y establecer una herramienta alternativa innovadora de autoaprendizaje.

Palabras clave: autonomía, Arduino, DAQ, retroalimentación de estados.

Abstract

It's proposed the hardware design and application of a low-cost platform for understanding the dynamics and physical variables of the tractor, this allows students to analyze the behavior of proposed control algorithms, in real time by feedback of states, for the autonomy of the agricultural vehicle, using commercial sensors and interacting with Arduino uno or DAQ 6009 from National Instruments used in universities. An app of its own design is also applied for real-time monitoring of this platform in its autonomous control signals, of the local reference system and of the physical and dynamic variables in the tractor, as an online learning alternative (mobile laboratory) for the Higher Education level. The results obtained are compared with Matlab, and Scilab, to determine the similarity with these two commercial platforms and establish an innovative alternative self-learning tool.

Keywords: autonomy, Arduino, DAQ, state feedback.

Introducción

En la actualidad la utilización de los vehículos en diferentes actividades como el transporte de personas, aplicaciones industriales, de rescate, entre otros, están siendo diseñados con una visión de tecnologías de combustión mecánica, híbrida o eléctrica. A partir de estas necesidades en el área automotriz, las y los ingenieros realizan investigación en el diseño de nuevos dispositivos electrónicos para el control del automóvil. Esto es debido al mejoramiento de la electrónica y al avance en la tecnología, que permite desarrollar nuevos sistemas de control que evitan cualquier restricción desde el punto de vista tecnológico. Estos dispositivos, denominados controladores u observadores, que pueden ser implementados en microcontroladores, FPGAs (arreglo de compuertas programables en campo), MEMS (sistemas microelectromecánicos), entre otros, modifican las dinámicas de los vehículos imponiendo fuerzas o momentos de diferentes maneras^{1,2,3,4,5,6,7} y pueden también utilizar sensores que permiten mediciones precisas de las variables que se desean medir, haciendo una alta eficiencia en la acción que el controlador esté realizando, así contribuye a la estabilidad del vehículo, la seguridad y confort.

Sin embargo, hoy en día una de las áreas importantes para el ser humano es la agricultura, que contribuye con la generación de alimentos, en sus diferentes técnicas de cultivo y para ello es importante la utilización de vehículos agrícolas en diferentes labores en la agroindustria.^{8,9,10,11,12.}

Existen trabajos previos en los estudios de

las dinámicas y variables del tractor, por ejemplo Eaton (2008) diseña un control autónomo por modos de deslizamiento para maquinaria agrícola, la cual realiza adquisición de datos y tareas de precisión en agricultura¹³. En Zang (2010) establece un sistema de experimentos en realidad virtual (VR) en pruebas para diferentes condiciones de trabajo de rueda, terreno y rueda sobre terreno deslizante¹⁴. Kayacan (2013) realiza el control de las dinámicas yaw (viraje o sobreviraje) y del ángulo de maniobrabilidad para autonomía, monitoreando sus respuestas en el dominio de la frecuencia con un sistema PXI de LabVIEW en un tractor Case New Holland¹⁵. Por otra parte Kim (2014) desarrolla una plataforma para seguridad de operación en tráfico con un simulador de manejo de dos grados de libertad¹⁶. Además Ochoa-Lleras (2016), propone un simulador de pruebas de estabilidad considerando los ángulos de bancada y *roll* por medio de una plataforma física¹⁷. Sun (2018) realiza la simulación en software de un vehículo agrícola con una estructura protectora de rodamiento en roll, para determinar algunas dinámicas que resultan en cierta colisión al impactarse con una pendiente en forma de banco y colina uniforme, utilizando datos de coeficiente de fricción en piso seco y con detergente inundado¹⁸. Para Hang en 2013, realiza un algoritmo de seguimiento auto guiado para la rastra del tractor con un sensor RTK-GPS¹⁹ y en 2019 propone un simulador para diseño de algoritmos autónomos en operaciones de la rastra con pruebas X, R, C²⁰. Alipour (2019) analiza el modelo matemático de un robot móvil con ruedas llamado Tractor-Trailer considerando el deslizamiento longitudinal y lateral de las llantas, además de la propuesta de un control robusto dinámico basado en un algoritmo de modo



deslizante para resolver el problema del seguimiento de una trayectoria, verificando sus dinámicas con la simulación en el software multicuerpo ADAMS y Matlab²¹.

Además también existen algunas otras plataformas de aprendizaje en el área comercial como es De Lorenzo, para el entendimiento de sistemas eléctricos, de gasolina, diésel, tanto para el tracto camión y automóvil de combustión y eléctrico, pero cada kit de aprendizaje tiene un costo de cerca de 10,000 USD, sin considerar que no tienen ninguna plataforma para el estudio del tractor²². En la parte de entrenadores de plataforma Hil (Hardware-in-the-Loop), se encuentran algunas compañías de desarrollo de software y hardware, con varios módulos para adquisición de señales como es National Instruments, pero al considerarlos en forma completa tienen un alto costo²³.

Por lo tanto, al considerar la información anterior, que expone resultados en la parte de simulación y aplicación con conceptos entendidos desde la física del vehículo agrícola, resulta la necesidad de entender las dinámicas y variables desde los conceptos simples que corresponden al modelado matemático del tractor, hasta poder entender como introducir la matemática a la electrónica en forma práctica, para el entendimiento de cualquier estudiante de nivel ingeniería²⁴, contribuyendo entonces con la propuesta de una plataforma de aprendizaje en el diseño de tarjetas electrónicas, que se realizan en forma manual con electrónica básica para la medición y estimación de parámetros físicos aplicados al tractor, mediante la utilización de un software como el Proteus, conocido por estudiantes universitarios, obteniendo con esto grandes aplicaciones a niveles de educación y agro-industria.

En este artículo de investigación se plantea estudiar la implementación de dinámicas, variables y algoritmos de control del vehículo agrícola²⁵, obtenidos mediante una plataforma propia con normas internacionales ISO 7401/2011, la cual se conecta a un actuador eléctrico (motor) de asistencia acoplado a la barra de dirección del volante manual para la autonomía del vehículo, lográndolo por medio de la activación del motor eléctrico y por un sistema de referencia propio o control remoto, observando con ello si son correctos los algoritmos controlados, para después implementarlos al tractor en actividades como el riego, rastra o corte de maleza en invernaderos de arándano, frambuesa o zarzamora, ahorrándose tiempo y dinero al realizar pruebas de diagnóstico rápida en la **plataforma propia de aprendizaje de dinámicas y variables del vehículo** (PPADV), además de comparar los resultados con otras dos plataformas las cuales son Matlab-Simulink y Scilab.

A continuación, se describe un breve marco conceptual sobre el que se basa esta propuesta de la PPADV.

Objetivo

Realizar una plataforma PPADV para que las y los estudiantes y profesionistas del área automotriz puedan aprender a realizar autonomía vehicular a bajo costo y con diseños propios en electrónica.

Planteamiento del problema

Existen plataformas para el aprendizaje de dinámicas y variables físicas del vehículo con un costo elevado o sistemas de autonomía vehicular de diferentes compañías automotrices, sin la experiencia de transmitir el conocimiento de la electrónica y el control a bajo costo y sin acceso universal al conocimiento.

Por lo tanto después de entender el objetivo y planteamiento del problema anterior se propone la realización del sistema de aprendizaje de las dinámicas y variables de la plataforma del vehículo autónomo, donde se puede observar en el esquema a bloques de la Figura 1.

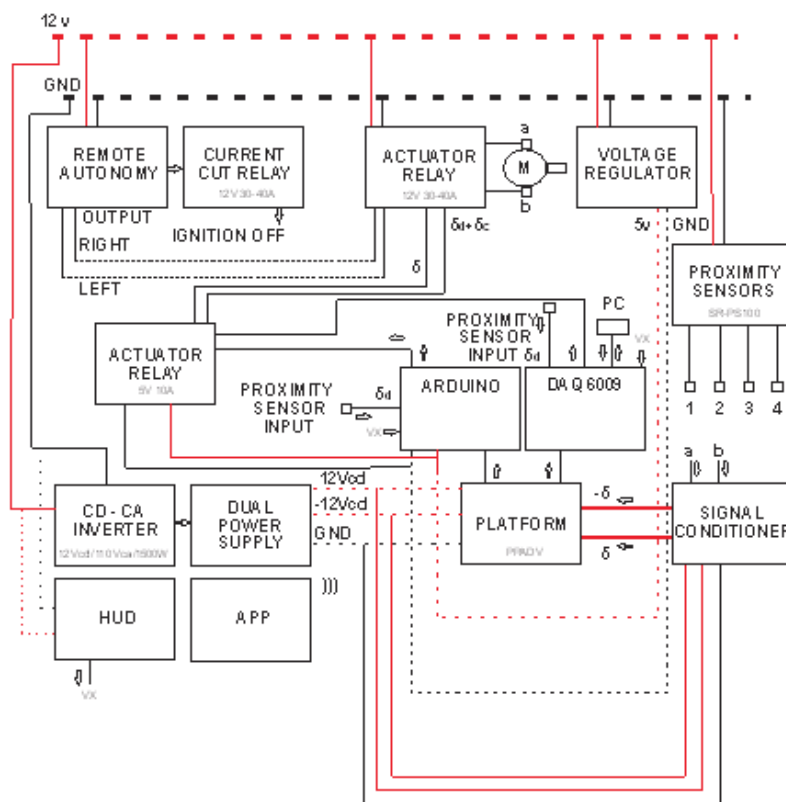


Figura 1. Sistema de plataforma en el aprendizaje de dinámicas y variables del vehículo (SPADV). Fuente: elaboración propia



Descripción del sistema y modelado

Configuración del sistema

Se comienza con el módulo de autonomía remota, el cual realiza por control remoto la activación del motor (M) de CD directa (actuador) que se encuentra acoplado al sistema de la barra de volante del tractor John Deere, manejando con esto los ángulos de giro de rueda frontal, además de tener la posibilidad de poder apagar la ignición para el motor de combustión del vehículo agrícola o en el futuro del tractor eléctrico vía señal de radiofrecuencia, esto para la seguridad de las personas que se encuentran en el área de experimentación al momento de estar utilizando la PPADV para configurar los controles activos autónomos automotrices. Los cortes de corriente de ignición y la activación del actuador eléctrico (M) utilizan un relevador de 12 volts (V) a 30 o 40 Amperes (A) de cinco puntas tipo Ford.

Continuando con el sistema de plataforma en el aprendizaje de dinámicas y variables del vehículo (SPADV), existe un inversor de voltaje de 12 Vcd a 110 Vca de 1500 W (para implementarlo en el tractor real) conectado a una fuente dual de +12V/-12V/3A, alimentando a la PPADV que recibe las señales del acondicionador con entradas **a**, **b**, de las terminales del motor eléctrico (M), este genera las señales de entrada: δ , $-\delta$ (con Norma Internacional ISO 7401/2011) a la plataforma PPADV, produciendo dinámicas y variables del vehículo que se envían a una tarjeta Arduino de bajo costo o una DAQ 6009, donde se programan los algoritmos de control autónomos conectados a relevadores de 5V-10A y 12V a 30 o 40 A, para

activar al actuador eléctrico (M), que realiza la tarea de autonomía. Además, mediante una computadora personal (PC) conectada a la tarjeta de adquisición de datos 6009, se observan las dinámicas y variables del vehículo en forma gráfica, así como las señales del sistema de referencia utilizado y la entrada de control autónomo ($\delta_a + \delta_c$) al motor eléctrico (M). También la señal de control (δ) al motor (M) y algunos otros parámetros de entrada al Arduino se pueden ver con algún equipo de bajo costo como un osciloscopio, un escáner automotriz o la app libre para análisis de la PPADV en tiempo real para cualquier usuario desarrollada por nosotros, además de tener la posibilidad en esta plataforma PPADV de contar con equipos de bajo precio (sin DAQ 6009 e inversor de 12vcd/110vca/1500w), para un aprendizaje sin demasiados recursos económicos o la plataforma completa (ver la Figura 1) que realiza el diagnóstico de las variables y dinámicas del vehículo agrícola con opciones de aplicación en aula escolar como en laboratorio académico, taller de servicio e implementación física en la agricultura en invernaderos.

Cabe mencionar que el módulo de sensores (1, 2, 3, 4) de proximidad SR-PS100 (spider/ distancia de medición 0 m a 2 m) ofrece la variable medida (δ_a) para que cada uno de los subsistemas de la PPADV del vehículo agrícola puedan obtener las diferentes variables y dinámicas del tractor necesarias en los controles activos autónomos. Se agrega que a esta SPADV también se le pueden conectar algunos sensores que miden la velocidad longitudinal (v_x), como puede ser un Head-up Display, que utilice un sensor de efecto Hall (por ejemplo, el modelo 233HUDS-F de la compañía HMC) o el equipo X90 Smart GPS Slope Meter de

la compañía AUTOOL con envío de la señal de velocidad longitudinal por GPS, para ser procesada por el Arduino, DAQ6009 o cualquier otra tarjeta electrónica.

Tractor y modelo matemático

El modelo matemático del vehículo agrícola se puede establecer como un cuerpo rígido moviéndose en un espacio libre, de dos o tres grados de libertad, conectado con una superficie terrestre plana a través de las llantas, por ejemplo, en lugares como invernaderos. Además, al considerar las dinámicas estimadas lineales y no lineales del tractor, estas se pueden analizar de forma simplificada con el llamado modelo de la bicicleta^{25, 26}, dando como resultado el poder proponer una variable medida (δ_d) y el siguiente modelado matemático (ver Figura 2).

$$m(\dot{v}_x - v_y \omega_z) = ma_x \tag{1}$$

$$m(\dot{v}_y + v_x \omega_z) = \mu[F_{f,y}(\delta_c + \delta_d, x, \alpha_f) + F_{r,y}(x, \alpha_r)] \tag{2}$$

$$J\dot{\omega}_z = \mu[l_f F_{f,y}(\delta_c + \delta_d, x, \alpha_f) - l_r F_{r,y}(x, \alpha_r)] + M_z \tag{3}$$

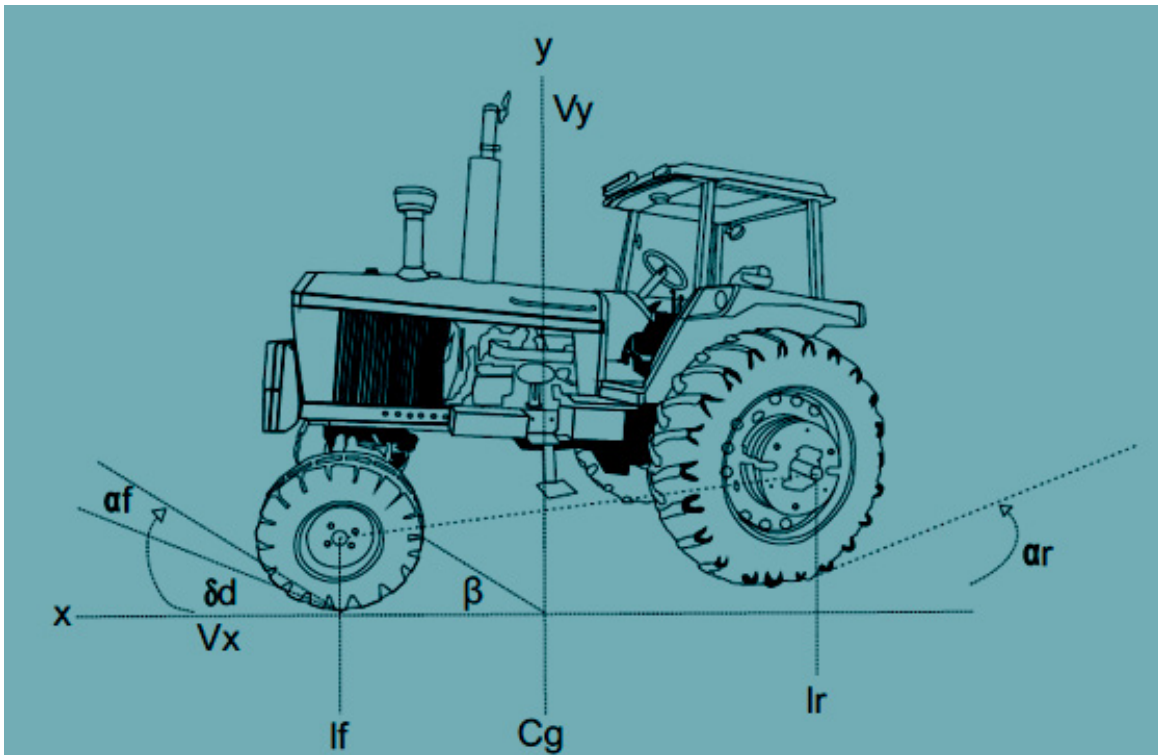


Figura 2. Modelo de la bicicleta utilizado para el vehículo agrícola. Fuente: elaboración propia.



Donde:

m : masa del vehículo [kg],

J : momento de inercia del vehículo [kg m²],

l_f, l_r : longitud desde el centro del vehículo hacia la llanta frontal y trasera [m],

v_x : velocidad longitudinal (eje x) del vehículo [m/s],

v_y : velocidad lateral (eje y) del vehículo [m/s],

$x = [v_y, v_x]$: vector compacto del estado del vehículo,

$\omega_z \equiv \dot{\delta}_d R$: velocidad angular de viraje, la cual está en sincronía con δ_d ^{27,28};

R : una ganancia constante,

α_f, α_r : ángulo deslizamiento lateral frontal y trasero [rad],

δ_c, δ_d : componente del ángulo de la llanta impuesto por el controlador y la autonomía respectivamente [rad],

$\dot{\delta}_d$: la derivada del ángulo impuesto por el volante autónomo (velocidad angular del actuador) [rad],

M_z : Momento de viraje resultado de los frenos activos [N m],

μ : coeficiente de fricción entre suelo y el neumático, las fuerzas laterales $F_{f,y}, F_{r,y}$ (eje y) son funciones del ángulo impuesto a las llantas frontales ($\delta = \delta_d + \delta_c$), y los ángulos de deslizamiento lateral de las llantas definidos de la siguiente manera:

$$\alpha_f = \delta_c + \delta_d - \frac{v_y + l_f \dot{\delta}_d R}{v_x} \quad (4)$$

$$\alpha_r = - \frac{v_y - l_r \omega_z}{v_x} \quad (5)$$

Para este problema de retroalimentación de estados, se establecerán las entradas de control δ_c y M_z .

Estructura de control

Para el problema de control, se reescriben las ecuaciones (2) y (3) de la planta en forma de espacio de estados, se obtiene la velocidad lateral y angular que determinan al controlador lineal de esta propuesta de investigación;

$$\dot{v}_y = -v_x \omega_z + \frac{\mu}{m} (F_{f,y}(x, \delta, \alpha_f) + F_{r,y}(x, \alpha_r)) \quad (6)$$

$$\dot{\omega}_z = \left(\frac{\mu}{J}\right) (l_f F_{f,y}(x, \delta, \alpha_f) - l_r F_{r,y}(x, \alpha_r)) + \frac{M_z}{J} \quad (7)$$

La aceleración lateral a_y puede ser expresada usando la segunda ley de Newton en términos de las fuerzas del neumático lateral:

$$a_y = \frac{\mu}{m} \left(F_{f,y}(x, \delta, \alpha_f) + F_{r,y}(x, \alpha_r) \right) \quad (8)$$

La fuerza lateral puede ser definida utilizando la conocida fórmula mágica de Pacejka, para sistemas lineales²⁶

$$F_{j,y} = D_{j,y} \cdot C_{j,y} \cdot B_{j,y} \cdot \alpha_j \quad (9)$$

Con $j = f, r$. Las constantes $B_{j,y}, C_{j,y}, D_{j,y}$ en (2) y (3) son determinadas de manera experimental, las cuales se obtienen a partir de las características técnicas del tractor John Deere Modelo 4430 (ver Tabla 1).

Tabla 1: Parámetros reales usados en la simulación del vehículo. Fuente: elaboración propia.

$m = 4000 \text{ kg}$	$D_{r,y} = 7834$ $D_{r,yref} = 10000 \text{ N}$
$J = 3552 \text{ kg m}^2$	$C_{r,y} = 1.32$ $C_{r,yref} = 1.38$
$l_r = 1.48 \text{ m}$	$B_{f,y} = 6.9$ $B_{f,yref} = 6.2$
$l_f = 1.30 \text{ m}$	$C_{f,y} = 1.78$ $C_{f,yref} = 1.21$
$B_{r,y} = 10$ $B_{r,yref} = 7$	$D_{f,y} = 7240 \text{ N}$ $D_{f,yref} = 10000 \text{ N}$

En este artículo se considerará a la aceleración longitudinal a_x casi cero. Además, las fuerzas laterales frontales y traseras de las llantas se pueden analizar de esta otra forma considerando los coeficientes; $C_f = D_{f,y} \cdot C_{f,y} \cdot B_{f,y}$ y $C_r = D_{r,y} \cdot C_{r,y} \cdot B_{r,y}$ para obtener: $F_{f,y} = C_f \alpha_f$ y $F_{r,y} = C_r \alpha_r$.



El objetivo principal del control es que la salida del sistema $x = [v_y, \omega_z]$ siga asintóticamente un sistema de referencia $x_{,ref} = [v_{y,ref}, \omega_{z,ref}]$, el cual tiene como principal característica que sus derivadas son acotadas. De manera más precisa, el generador de referencia es una copia de la planta a controlar en ecuación (6) y (7) despejadas anteriormente;

$$\dot{v}_{y,ref} = -\omega_{z,ref}v_x + \frac{\mu_{,ref}}{m} (F_{fy,ref}(\delta_d, x_{,ref}, \alpha_{f,ref}) + F_{ry,ref}(x_{,ref}, \alpha_{r,ref})) \quad (10)$$

$$\dot{\omega}_{z,ref} = \left(\frac{\mu_{,ref}}{J_{,ref}}\right)(l_f F_{fy,ref} - l_r F_{ry,ref}) \approx \dot{\delta}_d R_{ref} \quad (11)$$

$J_{,ref} = J$, $\mu_{,ref} = \mu = 0.9$, $R_{ref} > 0$, son parámetros apropiados y $F_{f,y,ref}$, $F_{r,y,ref}$ que son curvas ideales dependiendo de:

$$\alpha_{f,ref} = \delta_d - \frac{v_{y,ref} + l_f \omega_{z,ref}}{v_x} \quad (12)$$

$$\alpha_{r,ref} = -\frac{v_{y,ref} - l_r \omega_{z,ref}}{v_x} \quad (13)$$

En esta sección se diseña el control de linealización por retroalimentación de estados, el cual utiliza el comportamiento para las dinámicas de las velocidades lateral y de viraje; esto se realizará imponiendo la señal de referencia (10), y (11), a través de la implementación de las entradas de control δ_c y M_z .

Considerando las ecuaciones en (6) y (7), el sistema de la planta con sus fuerzas laterales frontales y traseras ($F_{f,y} = C_f \alpha_f$ y $F_{r,y} = C_r \alpha_r$) se pueden analizar de esta forma:

$$\dot{v}_y = \left(\frac{-\mu C_f - \mu C_r}{m v_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f R + \mu C_r l_r R}{m v_x} - v_x R\right) \dot{\delta}_d + \left(\frac{\mu C_f}{m} \quad 0\right) \begin{pmatrix} \delta \\ M_z \end{pmatrix} \quad (14)$$

$$\dot{\omega}_z = \left(\frac{-\mu C_f l_f + \mu C_r l_r}{J v_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f^2 R - \mu C_r l_r^2 R}{J v_x}\right) \dot{\delta}_d + \left(\frac{\mu C_f l_f}{J} \quad \frac{1}{J}\right) \begin{pmatrix} \delta \\ M_z \end{pmatrix} \quad (15)$$

Para las ecuaciones (10) y (11), se toma en cuenta a las fuerzas laterales frontales y traseras, con los siguientes coeficientes; $C_{f,ref} = D_{f,yref} \cdot C_{f,yref} \cdot B_{f,yref}$ y $C_{r,ref} = D_{r,yref} \cdot C_{r,yref} \cdot B_{r,yref}$, para obtener $F_{fy,ref} = C_{f,ref} \alpha_{f,ref}$ y $F_{ry,ref} = C_{r,ref} \alpha_{r,ref}$. Donde; $C_{f,ref} \neq C_f$ y $C_{r,ref} \neq C_r$. (Ver Tabla 1). Por lo tanto, se obtiene el sistema de referencia que se representa en forma matricial para mejor entendimiento al momento de analizarlo en hardware y software:

$$\begin{pmatrix} \dot{v}_{y,ref} \\ \dot{\omega}_{z,ref} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{-\mu_{,ref}(C_{f,ref} + C_{r,ref})}{mv_x} & \frac{-\mu_{,ref}(C_{f,ref}l_f - C_{r,ref}l_r)}{mv_x} - v_x \\ \frac{-\mu_{,ref}(C_{f,ref}l_f - C_{r,ref}l_r)}{J_{,ref}v_x} & \frac{-\mu_{,ref}(C_{f,ref}l_f^2 + C_{r,ref}l_r^2)}{J_{,ref}v_x} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_{y,ref} \\ \omega_{z,ref} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \frac{\mu_{,ref}C_{f,ref}}{m} \\ \frac{\mu_{,ref}C_{f,ref}l_f}{J_{,ref}} \end{pmatrix} \delta_d \quad (16)$$

Considerando los errores para la velocidad lateral y angular de viraje de esta manera;

$$e_{vy} = v_y - v_{y,ref} \quad (17)$$

$$e_{\omega z} = \omega_z - \omega_{z,ref} \quad (18)$$

y los errores dinámicos se establecen mediante;

$$\dot{e}_{vy} = \dot{v}_y - \dot{v}_{y,ref} \quad (19)$$

$$\dot{e}_{\omega z} = \dot{\omega}_z - \dot{\omega}_{z,ref} \quad (20)$$

Lo siguiente son los requerimientos para la ley de control estableciendo una función candidata de Lyapunov²⁵;

$$V = \frac{1}{2}e_{vy}^2 + \frac{1}{2}e_{\omega z}^2 \quad (21)$$

Considerando a la ecuación (21) positiva para mostrar que es continuamente decreciente a lo largo de cualquier trayectoria y su derivada negativa, asegurando que el sistema tenga estabilidad asintótica como se demuestra a continuación;

$$\dot{V} = e_{vy} \left[\left(\frac{-\mu C_f - \mu C_r}{mv_x} \right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f R + \mu C_r l_r R}{mv_x} - v_x R \right) \dot{\delta}_d + \left(\frac{\mu C_f}{m} \right) \delta_d + \left(\frac{\mu C_f}{m} \right) \delta_c - \dot{v}_{y,ref} \right] + e_{\omega z} \left[\left(\frac{-\mu C_f l_f + \mu C_r l_r}{Jv_x} \right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f^2 R - \mu C_r l_r^2 R}{Jv_x} \right) \dot{\delta}_d + \left(\frac{\mu C_f l_f}{J} \right) \delta_d + \left(\frac{\mu C_f l_f}{J} \right) \delta_c + \frac{M_z}{J} - \dot{\omega}_{z,ref} \right] \quad (22)$$



Además cada término de la ecuación (22) se iguala a las ganancias multiplicadas por el error, para establecer que la derivada de la función de Lyapunov sea menor a cero;

$$\left(\frac{-\mu C_f - \mu C_r}{mv_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f R + \mu C_r l_r R}{mv_x} - v_x R\right) \dot{\delta}_d + \left(\frac{\mu C_f}{m}\right) \delta_d + \left(\frac{\mu C_f}{m}\right) \delta_c - \dot{v}_{y,ref} = -k_1 e_{vy} \quad (23)$$

$$\left(\frac{-\mu C_f l_f + \mu C_r l_r}{Jv_x}\right) v_y + \left(\frac{-\mu C_f l_f^2 R - \mu C_r l_r^2 R}{Jv_x}\right) \dot{\delta}_d + \left(\frac{\mu C_f l_f}{J}\right) \delta_d + \left(\frac{\mu C_f l_f}{J}\right) \delta_c + \frac{M_z}{J} - \dot{\omega}_{z,ref} = -k_2 e_{\omega z} \quad (24)$$

Por lo tanto, de las ecuaciones (23) y (24), se obtienen las entradas de control despejando los términos δ_c y M_z ;

$$\delta_c = \left(\frac{1}{v_x} + \frac{C_r}{C_f v_x}\right) v_y + \left(\frac{l_f R}{v_x} - \frac{C_r l_r R}{C_f v_x} + \frac{mv_x R}{\mu C_f}\right) \dot{\delta}_d - \delta_d + \left(\frac{m}{\mu C_f}\right) \dot{v}_{y,ref} - \left(\frac{m}{\mu C_f}\right) k_1 e_{vy} \quad (25)$$

$$M_z = \left(\frac{\mu C_f l_f - \mu C_r l_r}{v_x}\right) v_y + \left(\frac{\mu C_f l_f^2 R + \mu C_r l_r^2 R}{v_x}\right) \dot{\delta}_d - (\mu C_f l_f) \delta_d - (\mu C_f l_f) \delta_c + J \dot{\omega}_{z,ref} - J k_2 e_{\omega z} \quad (26)$$

Donde $k_i > 0, i = 1, 2$, y las entradas de control en (25) y (26), serán impuestas en (22), comprobándose la estabilidad del sistema:

$$\dot{V} = -k_1 e_{vy}^2 - k_2 e_{\omega z}^2 \quad (27)$$

Además de reescribir la derivada de la función de Lyapunov en (27), de la siguiente manera;

$$\dot{V} \leq -\lambda_{min} k \|e\|^2. \quad (28)$$

Estableciendo una $\lambda_{min} k > 0$, que representa una ganancia mínima igual para k_1, k_2 y considerando $e = (e_{vy}, e_{\omega z})$.

Método de trabajo: desarrollo e implementación del algoritmo de control

Para la implementación de las dinámicas, variables y controlador en el tractor, se realiza una conexión de los sensores de proximidad (δ_d), que generan señales estimadas, como la velocidad lateral, v_y , y angular de viraje ω_z , ángulos de deslizamiento de las ruedas frontales del tractor, α_f , y las señales de control δ_c y M_z que se comparan con el sistema de referencia ($v_{y,ref}$, $\omega_{z,ref}$, $\alpha_{f,ref}$, $\alpha_{r,ref}$, $F_{f,y,ref}$, $F_{ry,ref}$) para la aplicación al tractor o para el ajuste del modelo matemático en la plataforma PPADV. Esta metodología se puede ver en Figura 3, que describe un método experimental con el enfoque de una investigación práctica, mediante la técnica de teorías de control y el uso de hardware (diseños propios) y software para la recolección de datos en computadora, tableta o celular.

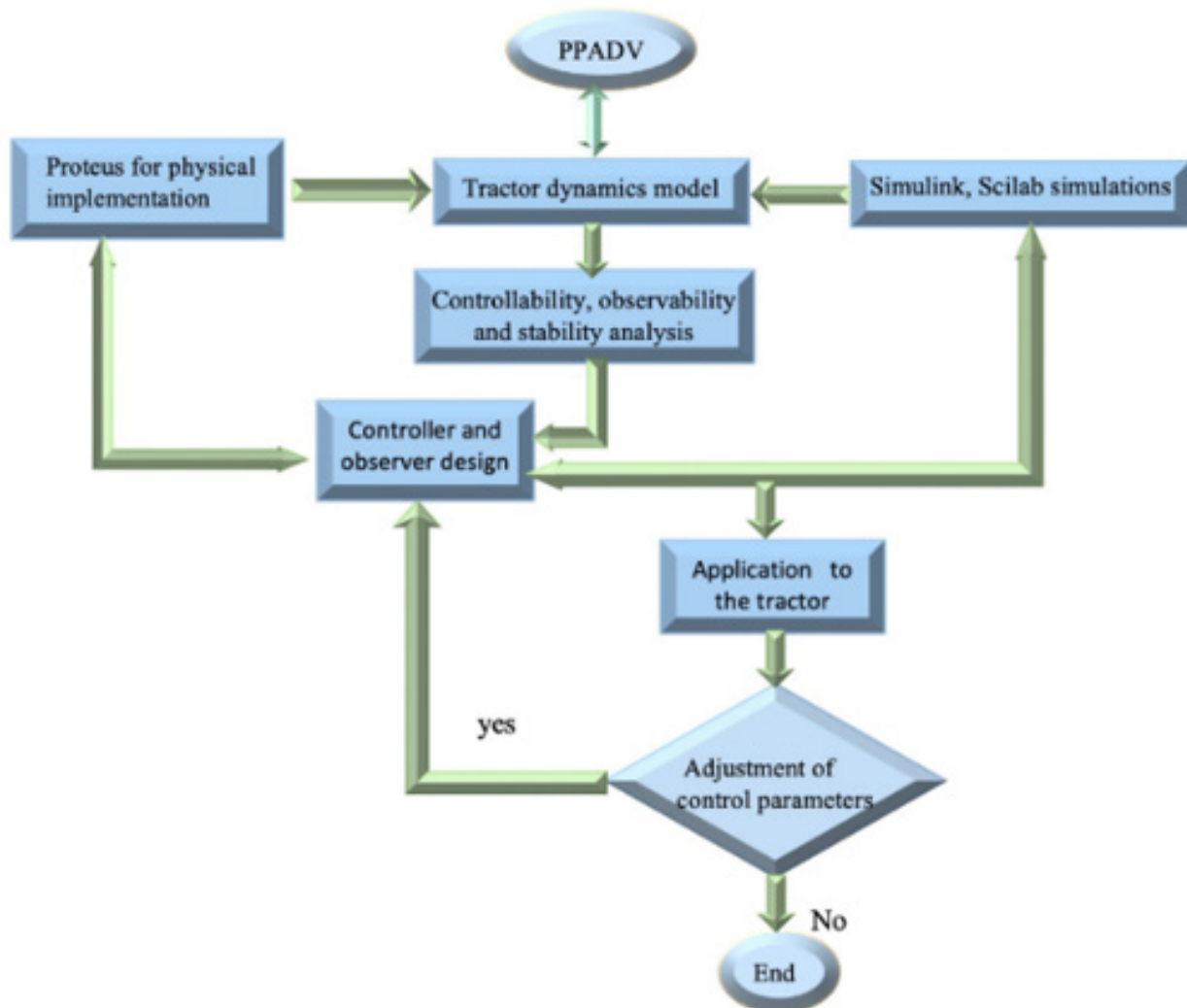


Figura 3. Lógica de operación PPADV. Fuente: elaboración propia



En los ajustes de los modelos matemáticos se utilizan algunos softwares tradicionales como el Matlab-Simulink o Scilab, para el diseño de la planta y su controlador, pero en la implementación física de la PPADV se conecta un Arduino uno para establecer el control autónomo en su programación con un IDE (entorno de desarrollo integrado), cuando se desea obtener una plataforma de bajo costo, como se puede ver en la siguiente programación:

```

void loop() {
sensorValueA0 = analogRead(sensorA0); // realizar la lectura
sensorValueA1 = analogRead(sensorA1); // realizar la lectura
sensorValueA2 = analogRead(sensorA2); // realizar la lectura
sensorValueA3 = analogRead(sensorA3); // realizar la lectura
jd=sensorValueA0/204.8; // Convercion de valor analogico a Voltaje
//wz2=sensorValueWz/204.8;
//alfaf2=sensorValuealfaf/204.8;
//vx=map(sensorValueVx, 0, 1024, 0, 90);
//formulas algoritmicas
Wz=jd*R; //formula Algoritmica Wz
Vy=(Wz)*(-0.97); //formula Algoritmica Vy
AlfaF=1 +(-lf_vx*Wz)-(Vy*0.5); //formula Algoritmica Alfa F
AlfaR= -(Vy*0.5)+(-lf_vx*Wz); //formula Algoritmica Alfa R
fFy= AlfaF*(-0.93); //formula Algoritmica f Fy
fRy= AlfaR*(-0.998); //formula Algoritmica f Ry
Wzref=Wz;
Vyref=Wzref*(-1.04); //formula Algoritmica Vyref
AlfaFref=1 +(-lf_vx*Wzref)-(Vyref*0.5); //formula Algoritmica Alfa F Ref
AlfaRref= -(Vyref*0.5)+(-lf_vx*Wzref); //formula Algoritmica Alfa R ref
fFyref= AlfaFref*(-0.83); //formula Algoritmica f Fy ref
fRyref= AlfaRref*(-1.13); //formula Algoritmica f Ry ref
EWz=Wz-Wzref; //formula Algoritmica Error Wz
EVy=Vy-Vyref; //formula Algoritmica Error Vy
DerVyref= -Wzref*Vx+(0.00058)*(fFyref+fRyref); //formula Algoritmica DerVyref
DeltaC=(-0.5)*Vy+(-0.1)*Wz+constantejd+(0.019367*DerVyref)+EVy; //formula
Algoritmica DeltaC
DerWzref=(0.0002533)*((2*fFyref)-(2*fRyref))*(-1); //formula Algoritmica DerWzref
//DerWzref=(0.0002533)*((2*0.79)-(2*2.15))*(-1);
Mz=(0.435)*Vy+(0.57*Wz)+(-(-0.97))*constantejd+(-(-0.8))*DeltaC+1*DerWzref-EWz; //
formula Algoritmica Mz

```

O una tarjeta DAQ 6009 NI/USB programada en LabVIEW con opciones de software en íconos virtuales a un costo mayor, pero también aplicable con la PPADV, como se establece en la Figura 4.

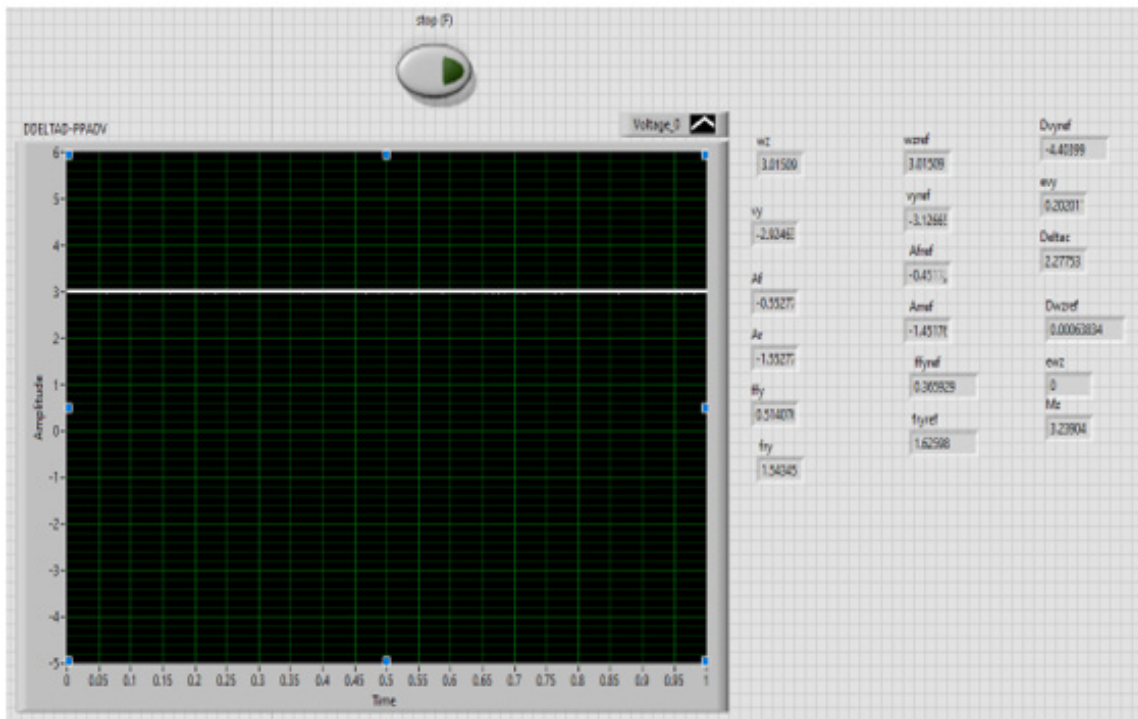
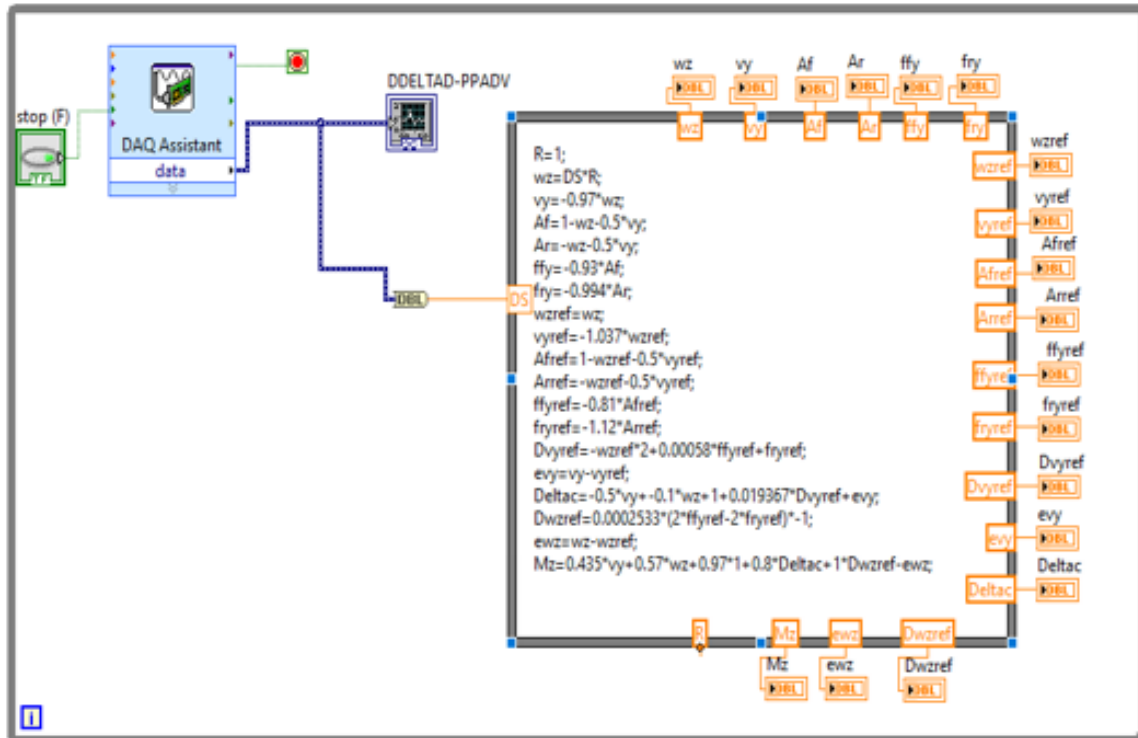


Figura 4. Diseño de modelos matemáticos para vehículo agrícola con plataforma PPADV utilizando DAQ 6009 NI/USB23

Resultados y análisis de datos (experimentación)

En la parte de resultados se observa el diseño del hardware de la plataforma propia de aprendizaje de dinámicas y variables para la autonomía del vehículo agrícola, así como el diseño en 3D y la forma de fabricación con software Proteus o con tarjetas comerciales, verificándose dicha información en el **Apéndice de desarrollo de control**, de autoría propia.

Para la parte experimental de la plataforma PPADV, es necesario implementarla en los campos de cultivo como una aplicación real, donde se establecerán las conexiones y la programación para el análisis y aprendizaje de las dinámicas del vehículo agrícola. Como una primera actividad, se debe realizar la implementación del actuador en el volante del tractor John Deere, como se muestra en la Figura 5.



Figura 5. Implementación mecánica con motor de CD, al volante para control de autonomía.
Fuente: elaboración propia

Enseguida se continúa con la conexión de la plataforma PPADV en el vehículo agrícola, conjuntamente con todo el sistema SPADV, para el análisis de dinámicas y variables del tractor en tiempo real, como se muestra en la Figura 6.



a)



b)

Figura 6. a) Plataforma PPADV instalada en tractor John Deere. Fuente: elaboración propia; b) App para análisis de dinámicas en tiempo real para cualquier usuario. Fuente: elaboración propia

También se realiza la implementación de la PPADV, la cual interacciona con la tarjeta Arduino uno o DAQ 6008/6009 NI USB mediante su programación en computadora, para que reciba las dinámicas y variables del tractor y programar la teoría de control propuesta en este artículo de investigación (ver Figura 7).



Figura 7. Programación de la plataforma PPADV. Fuente: elaboración propia

Por último, se muestran los resultados de las dinámicas y variables de la PPADV, comparadas con los simuladores de Scilab, Matlab-Simulink y LabVIEW de *National Instruments*, además de salidas de Arduino uno (ver las figuras 8 y 9).

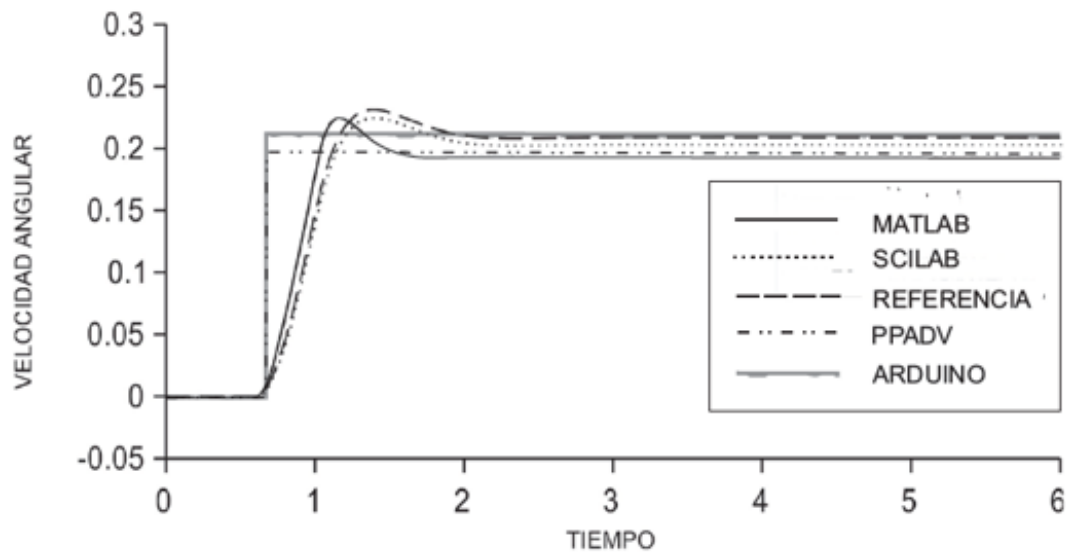


Figura 8. Velocidad angular ω_z . (Software-simulaciones)

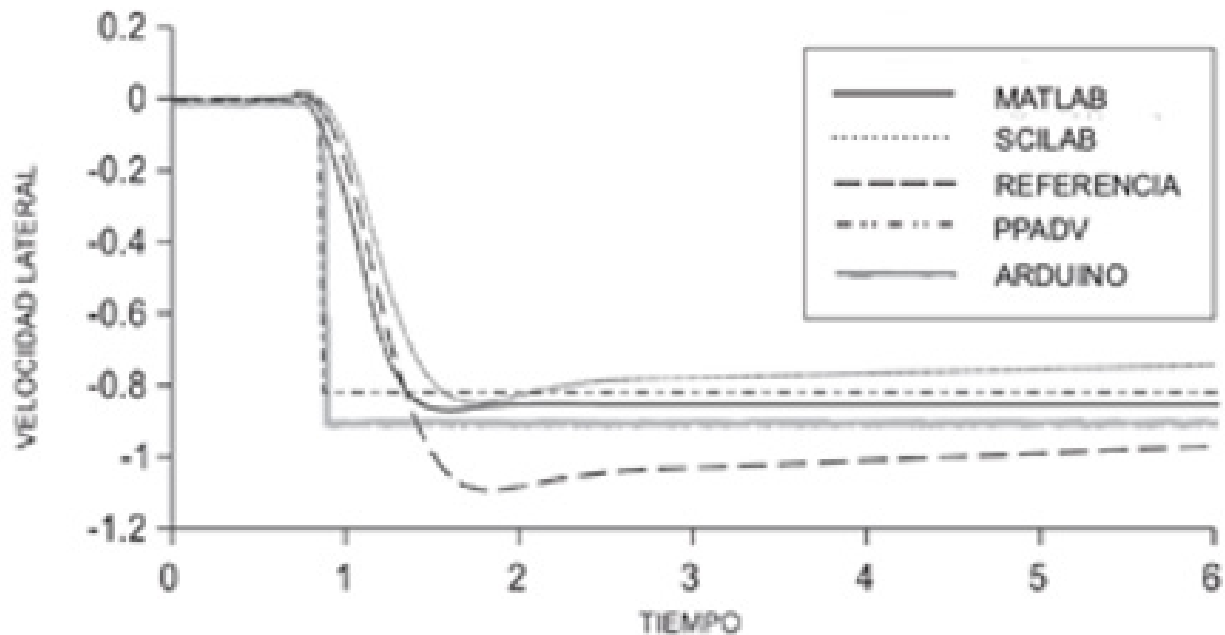


Figura 9. Velocidad lateral v_y . (Software-simulaciones)

Discusión y conclusiones

En el desarrollo de este artículo de investigación se determinó la propuesta de un monitoreo de variables y dinámicas aplicadas al vehículo agrícola, entendiendo que al utilizar una plataforma de bajo costo se puede aprender cómo funciona la física del tractor para estudiantes o profesionistas, midiendo las señales mediante una aplicación (app) libre que utiliza la relación de unidades físicas con respecto a voltaje, a entender la diferencia de resultados al comparar la PPADV con otras plataformas comerciales, además de establecer los valores de voltaje en la Tabla 1 (ANEXO G), localizada en el **Apéndice de desarrollo de control**, de los cuales se concluye que la implementación en campo de la PPADV en ω_z trabaja adecuadamente, porque estos resultados permiten manejar el control activo para la autonomía del tractor en forma eficiente o en vehículos utilitarios con acotación en la parte de movimiento lineal.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los campesinos de parcelas de la Zona Sur de Jalisco, que facilitaron esta investigación.



Referencias

1. ACOSTA-LÚA, C., Di Gennaro, S., Sánchez-Morales, M. U, An Adaptive Controller Applied to an Anti-lock Braking System Laboratory. *DYNA* [en línea]. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 83, (199), 69-77. 2016. [Fecha de consulta: 01 de enero de 2022]. ISSN:0012-7353. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v83n199.51831> ISSN: 0012-7353.
2. ALIGIA, Diego, A., Magallan, Guillermo, A., De Angelo, Cristian, H, 2018. Control de Tracción para un Vehículo Eléctrico basado en Observadores no Lineales. *Revista Iberoamericana de Automática e informática Industrial* [en línea]. Valencia, España: CEA, 1 (15), 112-123. 2019. [Fecha de consulta: 09 de enero de 2022]. DOI: <https://doi.org/10.4995/riai.2017.8736> ISSN: 1697-7920.
3. MANSOUR, Ataei; Amir, Khajepour y Soo, Jeon. Model Predictive Control for integrated lateral stability, traction/braking control, and rollover prevention of electric vehicles. *International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility* [En línea]. United Kingdom: Vehicle System Dynamics, 1 (58), 49-73. 2019. [Fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. DOI:10.1080/00423114.2019.1585557. <https://doi.org/10.1080/00423114.2019.1585557> ISSN-L: 0042-3114
4. BELTRÁN, Alberto, et al. Simulación y control de la velocidad y par electromagnético de un motor de inducción trifásico: Un enfoque a vehículos eléctricos. *Revista Iberoamericana de Automática e informática Industrial* [en línea]. Valencia, España: CEA, 16, 308-320. 2019. [Fecha de consulta: 15 de enero de 2022]. DOI: <https://doi.org/10.4995/riai.2019.10452> ISSN: 1697-7920.
5. HONGZHOU, Hu y Zhihua, Zhong. 2019. Explicit-Implicit Co-Simulation Techniques for Dynamic Responses of a Passenger Car on Arbitrary Road Surfaces. *Engineering* [en línea]. China: Engineering Science Press, 5, (6), 1171-1178. 2019. [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022]. DOI:10.1016/j.eng.2019.09.003 ISSN: 2095-8099.
6. LIQIN, Sun, et al. Research on Switching Interconnection Modes and Game Control of Interconnected Air Suspension. *Energies* [en línea]. Switzerland: MDPI, 12 (17), 1-23. 2019. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. DOI: <https://doi.org/10.3390/en12173218> E-ISSN: 1996-1073.
7. FEN, Lin, et al. Integrated Avoid Collision Control of Autonomous Vehicle Based on Trajectory Re-Planning and V2V Information Interaction. *Sensors* [en línea]. Switzerland: MDPI, 20 (4), 1-26. 2020. [Fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20041079> ISSN: 1424-8220.
8. REINA, Giulio, et al. Ambient awareness for agricultural robotic vehicles. Special Issue: Robotic Agriculture. *Biosystems engineering* [en línea]. United Kingdom: Article in Press, 1-19. 2020. [Fecha de consulta: 11 de julio de 2020]. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2015.12.010 ISSN: 1537-5129
9. COOK, Joshua T, et al. Dynamics modeling and robotic-assist, leader-follower control of tractor convoys. *Journal of Terramechanics*, [en línea]. USA: Article in Press, 1-16. 2017. [Fecha de consulta: 12 de julio de 2020]. DOI:10.1016/j.jterra.2017.05.002 ISSN



0022-4898

10. JIA, Chao; Qiao, Wei y Qu, Liyan.. Modeling and Control of Hybrid Electric Vehicles: A case Study for Agricultural Tractors. *Conference: 2018 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* [en línea], Chicago, IL, USA: IEEE, 1-6. 2018. [Fecha de consulta: 12 de julio de 2020]. DOI:10.1109/VPPC.2018.8604997. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8604997> ISSN: 1938-8756
11. NEBOT, Eduardo. Robotics: From Automation to Intelligent Systems. *Engineering* [en línea], China: Elsevier, 4, 446-448. 201. 2018. [Fecha de consulta: 21 de enero de 2022]. DOI: 10.1016/j.eng.2018.07.018 ISSN: 2095-8099.
12. VAN LOON, Jelle, et al. Scaling agricultural mechanization services in smallholder farming systems: Case studies from sub Saharan Africa, South Asia, and Latin America. *Agricultural Systems* [en línea], New Zealand: Elsevier, 180, 1-13. 2020. [Fecha de consulta: 21 de enero de 2022]. DOI: 10.1016/j.agsy.2020.102792 ISSN: 0308-521X.
13. EATON, R. et al. Autonomous Farming: Modeling and Control of Agricultural Machinery in a Unified Framework. *15 International conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP08)* [en línea], Auckland, New-Zealand: IEEEExplore, pp. 499-504. 2008. [Fecha de consulta: 25 de enero de 2022]. DOI: 10.1109/MMVIP.2008.4749583 ISBN:978-1-4244-3779-5
14. ZANG, Yu, et al. Virtual Reality and the Application in Virtual Experiment for Agricultural Equipment. *4th Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA)* [en línea], Nanchang, China: Springer Link, pp. 257-268. 2010. [Fecha de consulta: 25 de enero de 2022]. https://doi.org/10.1007/978-3-642-18354-6_32
15. KAYACAN, Erkan, et al. Modeling and Identification of the Yaw Dynamics of an Autonomous Tractor. *IEEE 2013 9th Asian Control Conference (ASCC)* [en línea], Istanbul: IEEEExplore, pp. 1-6. 2013. [Fecha de consulta: 25 de enero de 2022]. DOI:10.1109/ASCC.2013.6606388. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6606388>
16. KIM, Yu-Yong, et al. Development of Driving Simulator for Safety Training of Agricultural Tractor Operators. *Journal of Biosystems Engineering* [en línea], Korea: The Korean Society for Agricultural Machinery, 39 (4), 389-399. 2014. [Fecha de consulta: 26 de enero de 2022]. <https://koreascience.kr/article/JAKO201436438763727.page> ISSN: 2234-1862.
17. OCHOA-LLERAS, Nicolas, et al. Development of an Open-Source Tractor Driving Simulator for Tractor Stability Test. *Journal of agricultural safety and health* [en línea], USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 22 (4), 227-246 [Consulta: 26 Enero 2022]. DOI: 10.13031/jash.22.11774 ISSN: 1074-7583
18. SUN, Chaoran, et al. Physics engine application to overturning dynamics analysis on banks and uniform slopes for an agricultural tractor with a rollover protective structure. *Biosystems Engineering*, [en línea], United Kingdom: Elsevier, 185, 150-160. 2019. [Fecha de consulta: 26 de enero de 2022]. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.06.005> ISSN: 1537-5110
19. HAN, Xiong-Zhe, et al. Development of a Patch Generation and Tracking Algorithm



- for a Korean Auto-guidance Tillage Tractor. *Journal of Biosystems Engineering* [en línea], Korea: The Korean Society for Agricultural Machinery, 38 (1), 1-8. 2013. [Fecha de consulta: 27 de enero de 2022]. DOI:10.5307/JBE.2013.38.1.001 ISSN: 2234-1862.
20. HAN, Xiongzhe, et al. Simulation Study to Develop Implement Control and Headland Turning Algorithms for Autonomous Tillage Operations. *Journal of Biosystems Engineering* [en línea], Korea: The Korean Society for Agricultural Machinery, 44, 245-257. 2019. [Fecha de consulta: 27 de enero de 2022]. DOI:10.1007/s42853-019-00035-9 ISSN: 2234-1862
21. ALIPOUR, Khalil; Babaei-Robat, Arsalan y Tarvirdizadeh, Bahram. Dynamics modeling and sliding mode control of tractor-trailer wheeled mobile robots subject to wheels slip. *Mechanism and Machine Theory* [en línea], Portugal: Elsevier, 138, 16-37. 2019. [Fecha de consulta: 28 de enero de 2022]. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2019.03.038> ISSN 0094-114X.
22. DE LORENZO, 2020. Engineering Training Solutions. En: *Autotronica* [en línea]. Disponible en https://www.edylab-equipamientos.com/wp-content/descargas/DE_LORENZO/ELEC-6-AUTOTRONICA.pdf Fecha de consulta: 28 de enero 2020].
23. NATIONAL Instruments, 2020. Plataforma Hil. En: NI [en línea]. Disponible en: <https://www.ni.com/es-mx/innovations/automotive/hardware-in-the-loop.html> [Fecha de consulta: 29 de enero de 2020].
24. MONZO, Carlos, et al. Lab@Home: The Open University of Catalonia Hands-on Electronics Laboratory for Online Engineering Education. *Electronics* [en línea], Suiza: MDPI, 9 (2), 1-11. 2020. [Fecha de consulta: 30 de enero de 2020]. <https://doi.org/10.3390/electronics9020222> ISSN: 2079-9292
25. RAJAMANI, R, 2011. *Vehicle Dynamics and Control*. 2a ed. New York: Springer. ISBN 9780387263960
26. PACEJKA, H.B. *Tyre and Vehicle Dynamics*. 1a ed. Butterworth-Hein: Elsevier. 2005.
27. BENTON-DERRICK, J, Bevely, et al. Adaptive Control of a Farm Tractor with Varying Yaw Dynamics Accounting for Actuator Dynamics and Saturations. *17th IEEE International Conference on Control Applications Part of 2008 IEEE Multi-conference on Systems and Control* [en línea], San Antonio, Texas, USA: IEEE Xplore, pp. 547-552. 2008. [Fecha de consulta: 30 de enero de 2022]. DOI: 10.1109/CCA.2008.4629591. <https://ieeexplore.ieee.org/document/4629591>
28. BORRI, A. et al. Optimal Workload Actuator Balancing and Dynamic Reference Generation in Active Vehicle Control. *Journal of the Franklin Institute* [en línea], USA: Elsevier, 4, 1722-1740. 2017. [Fecha de consulta: 30 de enero de 2022]. DOI:10.1016/j.jfranklin.2016.12.012 ISSN. 0016-0032

Fecha de recepción

Fecha de aceptación

Fecha de publicación

03/02/2022

18/04/2022

30/09/2022



Plataforma propia de aprendizaje de dinámicas y variables para la autonomía del vehículo agrícola

Own platform for learning dynamics and variables for the autonomy of agricultural vehicles

Sergio Sandoval Pérez, Juan Miguel González López, Jesús Ezequiel Molinar Solís y Gilberto Barreto / Instituto Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán / Universidad de Colima

Apéndice de desarrollo de control

A. Planta y sistema de referencia.

Sin embargo la PPADV, además del software que necesita, también contiene su hardware, donde de manera interna las y los estudiantes o ingenieros(as) pueden desarrollar las tarjetas electrónicas que simulan las dinámicas y variables del vehículo agrícola, mediante circuitos amplificadores operacionales (TL084) a partir de la señal δ_d .

Como se puede ver en la Figura 1, esta configuración de circuito monoestable LM555, simula en forma manual una señal escalón de amplitud de 5 volts (estado en alto) con un tiempo determinado por $T = 1.1 \cdot R \cdot C$, $R = R_2$, $C = C_1$ como entrada manual a la plataforma PPADV, donde los 5 volts de salida del LM555 representan los grados del volante en la barra de conducción del tractor, que se pueden acondicionar con el amplificador operacional inversor de la Figura 2a que ofrece a la salida $-\delta_d$ (-DELTAD 1 VOL) y $+\delta_d$ (+DELTAD 1 VOL) con una ganancia ajustable (RV1) o también mediante el Arduino o DAQ 6009, para una maniobra de un solo volanteo o de doble volanteo con el diagrama eléctrico de la Figura 2b, $-\delta_d$ (-DELTAD 2 VOL) y $+\delta_d$ (+DELTAD 2 VOL) y una amplificación de la señal por RV3 o por medio de la tarjeta de adquisición de datos 6009 o por Arduino uno.

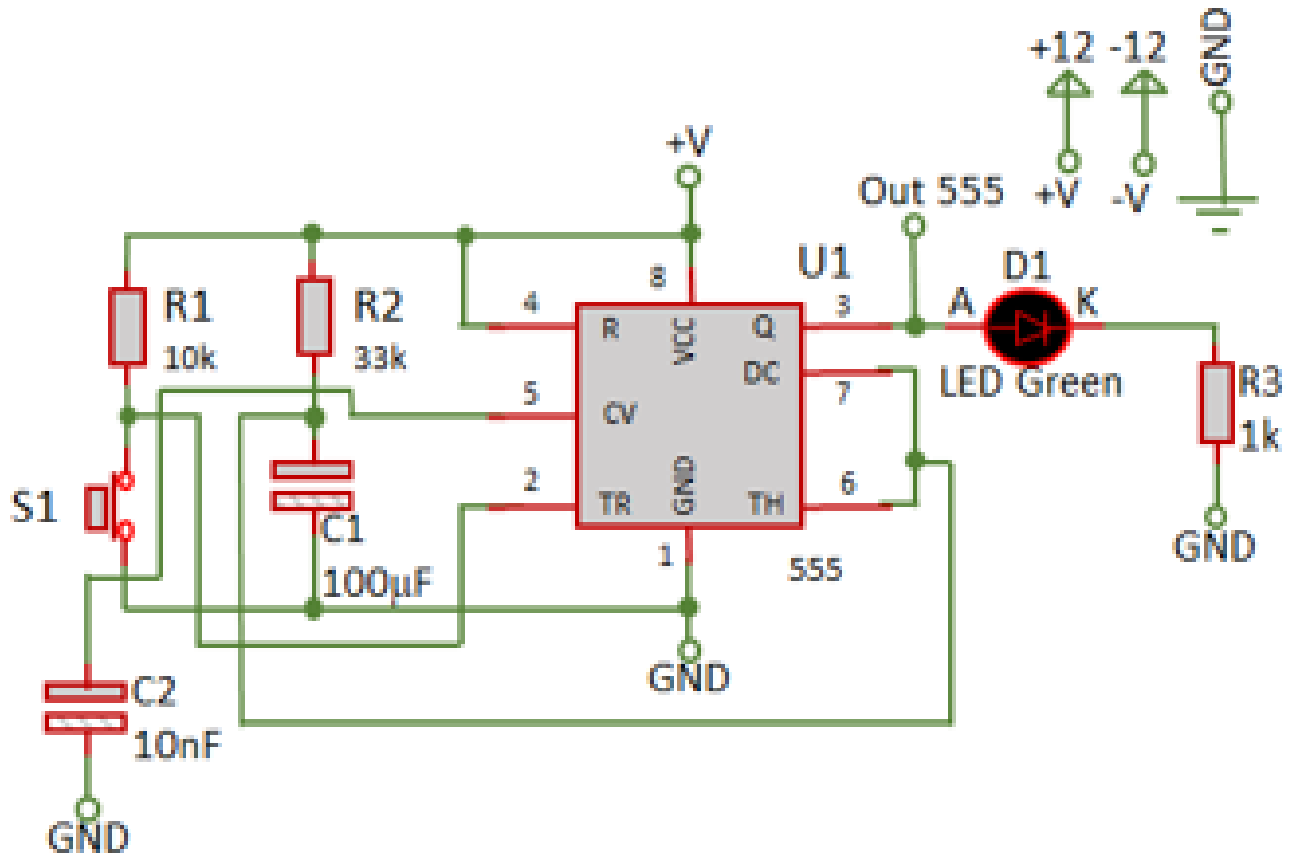


Figura 1. Circuito de señal para prueba manual en PPADV

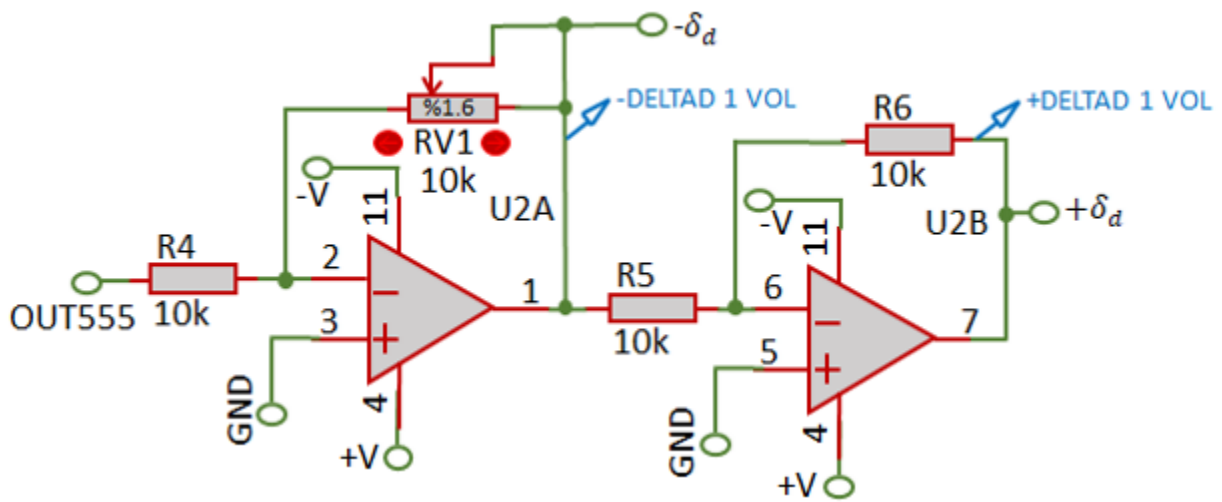


Figura 2a. Circuito para generar señal $-\delta_a$, $+\delta_a$ escalón en la PPADV

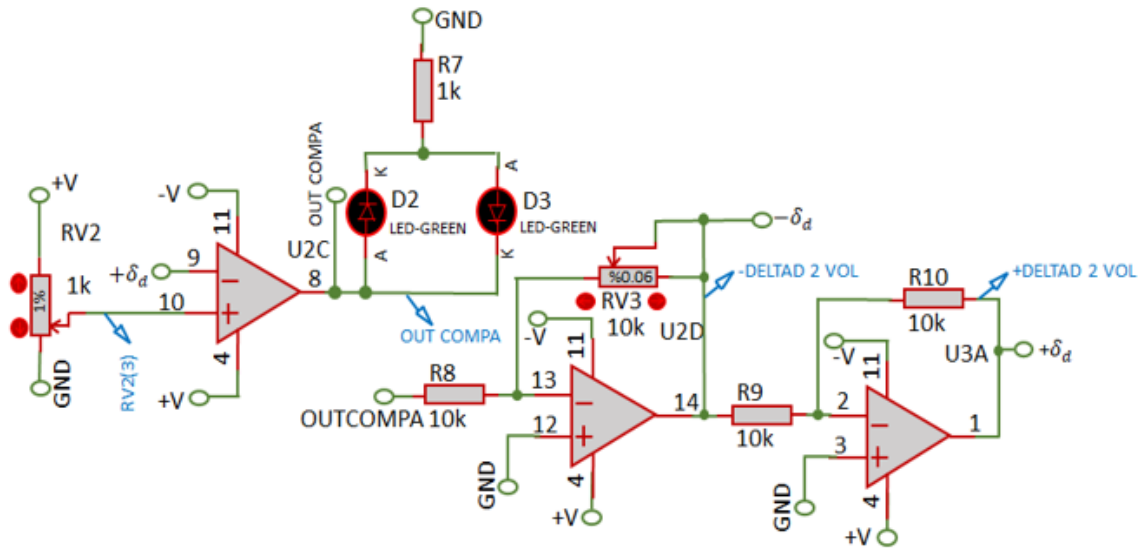
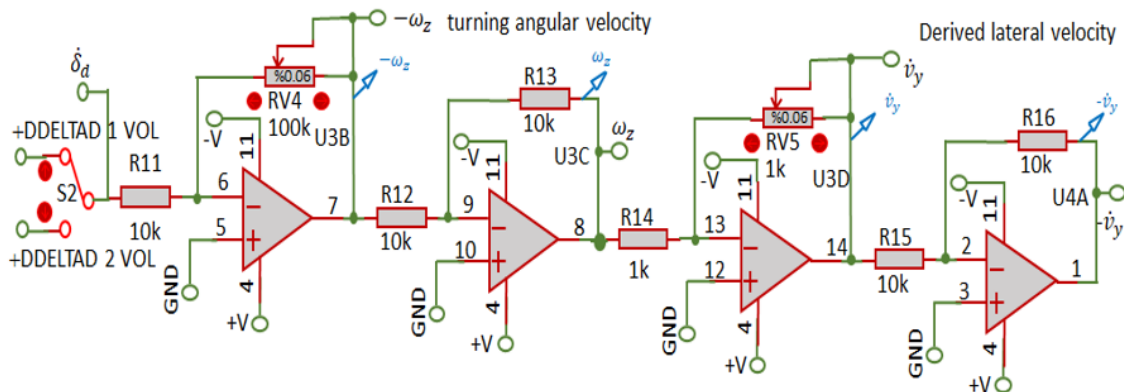
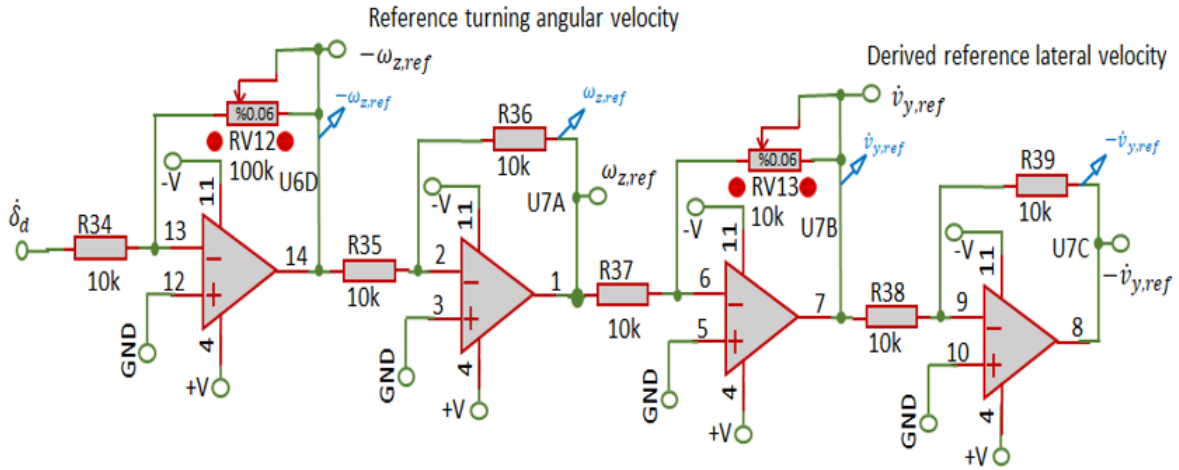


Figura 2b. Señal $-\delta_d$, $+\delta_d$ doble volante en la PPA DV

Continuando con la PPA DV, se analizan las dinámicas y variables en la Figura 3a, comenzando con $\omega_z \cong \dot{\delta}_d R$, donde, +DDELTA D 1 VOL, +DDELTA D 2 VOL, son derivadas para establecer $\dot{\delta}_d$ (ver Anexo A), además de R una ganancia definida por RV4/R11, dando como resultado la señal de velocidad de viraje $-\omega_z$ del primer amplificador operacional (U3B) multiplicándose después por una ganancia unitaria de R13/R12 en U3C generando a ω_z que multiplica a la velocidad constante v_x representada por RV5/R14 en U3D para obtener una parte del algoritmo de $-\dot{v}_y$ y su contraparte, resulta al multiplicarse $-\dot{v}_y \cdot R16/R15$ que genera a \dot{v}_y en U4A. La $-v_y, v_y$, se obtienen al integrar \dot{v}_y (ver Anexo B). Además, para la Figura 3b, se diseña en forma similar el sistema de referencia, como se describe para la Figura 3a y para analizar $-v_{y,ref}, v_{y,ref}$, resulta al integrar $\dot{v}_{y,ref}$ (ver Anexo C). Para obtener $\dot{\omega}_z$ y $\dot{\omega}_{z,ref}$, resultan al derivar $-\omega_z$ y $-\omega_{z,ref}$ (ver el Anexo D).



a) Velocidad angular y derivada de velocidad lateral de planta sin control.

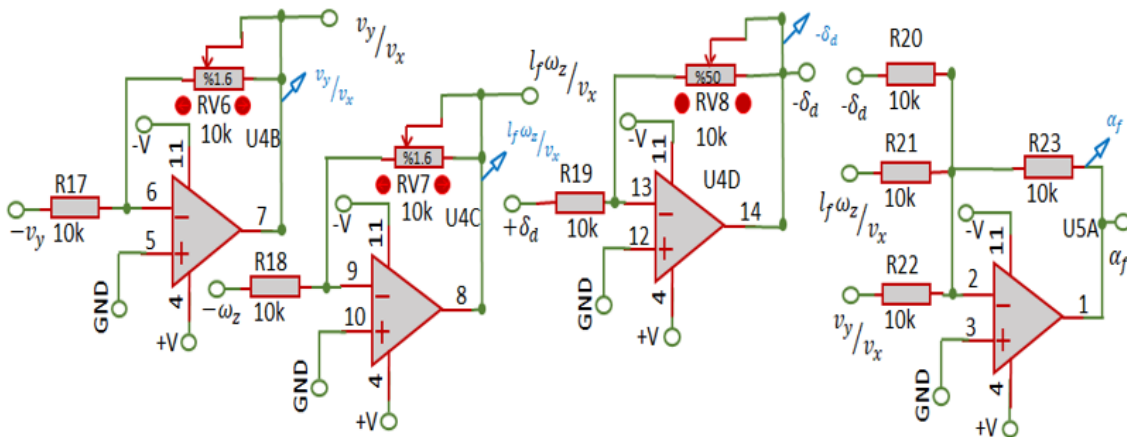


b) Velocidad angular y derivada de velocidad lateral del sistema de referencia.

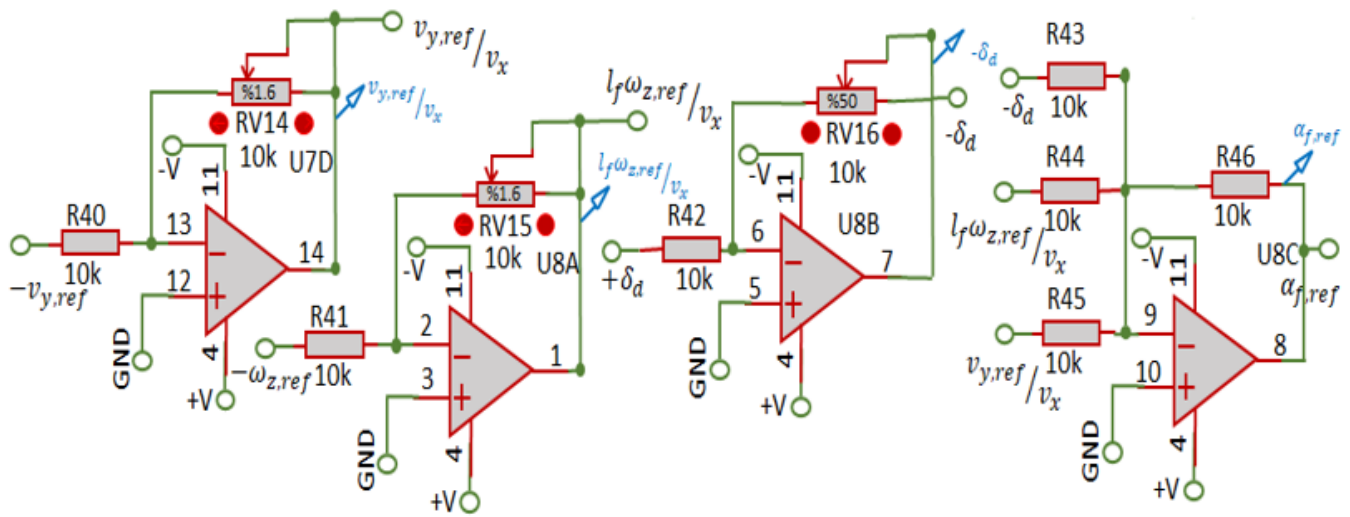
Figura 3. Circuito para generar señales en PPADV: a) $-\omega_z, \omega_z, \dot{v}_y = -v_x \omega_z, -\dot{v}_y = v_x \omega_z$

b) $-\omega_{z.ref}, \omega_{z.ref}, \dot{v}_{y.ref} = -\omega_{z.ref} \cdot v_x, -\dot{v}_{y.ref} = \omega_{z.ref} \cdot v_x.$

En el ángulo de deslizamiento frontal α_f sin control (ver Figura 4a), la entrada al U4B por $-v_y$ multiplica a la ganancia $RV6/R17$ que representa a $1/v_x$, dando como resultado v_y/v_x , en U4C el algoritmo de salida es $\omega_z \cdot RV7/R18$ (l_f/v_x), en U4D la salida es la inversión de la entrada +DELTA D 1 VOL por la ganancia $RV8/R19$ y para U5A es un amplificador sumador inversor de ganancia uno que ofrece la señal $\alpha_f = \delta_a - \frac{v_y + l_f \delta_a R}{v_x}$, con el componente del ángulo de la llanta impuesto por el controlador igual a cero (ver ecuación (4)). También para Figura 4b, se realiza con la misma filosofía anterior (estudiar ecuación (12)).



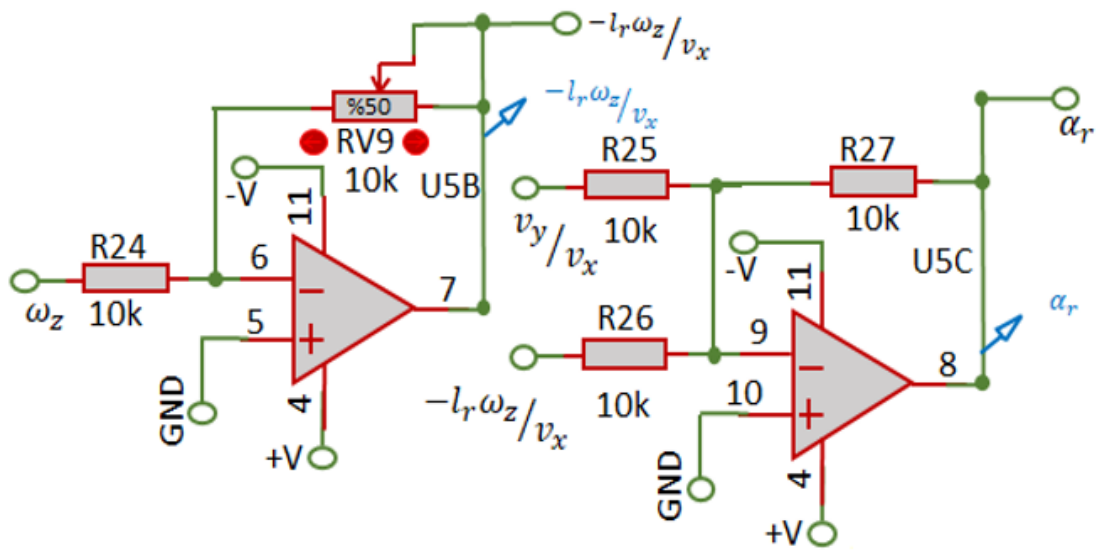
a) Ángulo de deslizamiento frontal de planta sin control



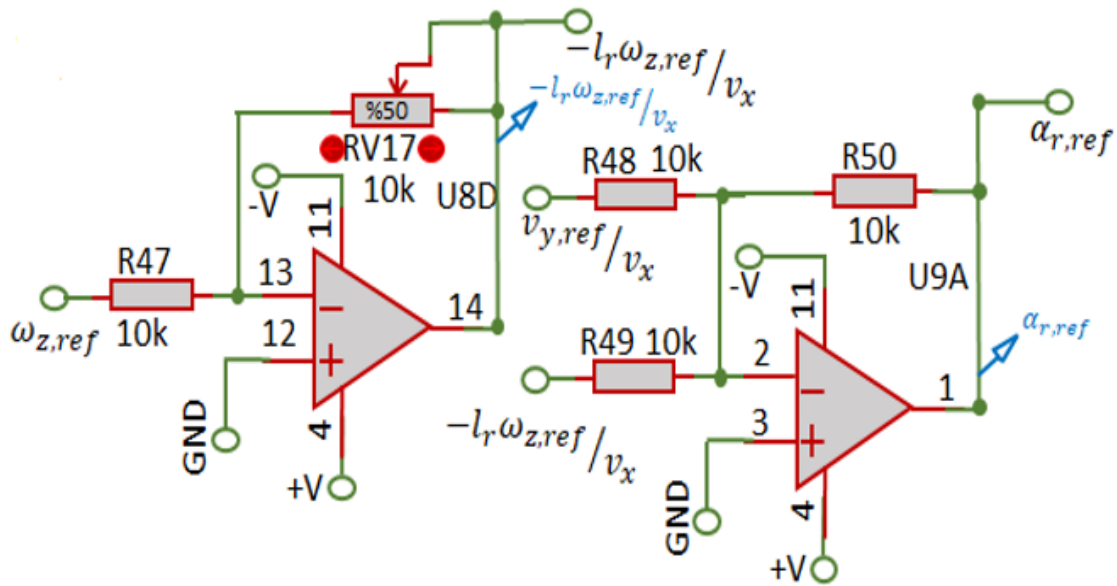
b) Ángulo de deslizamiento frontal del sistema de referencia

Figura 4. Señales: a) α_f ; b) $\alpha_{f,ref}$ en PPADV

En Figura 5a se muestra el ángulo de deslizamiento trasero α_r , donde para realizar el algoritmo correspondiente, en U5B tiene la entrada de ω_z que multiplica a la ganancia $RV9/R24 = l_r/v_x$, y recordando la Figura 4a en U4B, se tiene la salida de v_y/v_x , que multiplicara a la ganancia unitaria $R27/R25$, del U5C, y se sumara a la salida del U5B ($-\omega_z \cdot l_r/v_x$), para obtener $\alpha_r = -\frac{v_y - l_r \omega_z}{v_x}$, a la salida del amplificador sumador inversor U5C, vista en ecuación (5). De igual manera se analiza para Figura 5b (ver ecuación (13)).



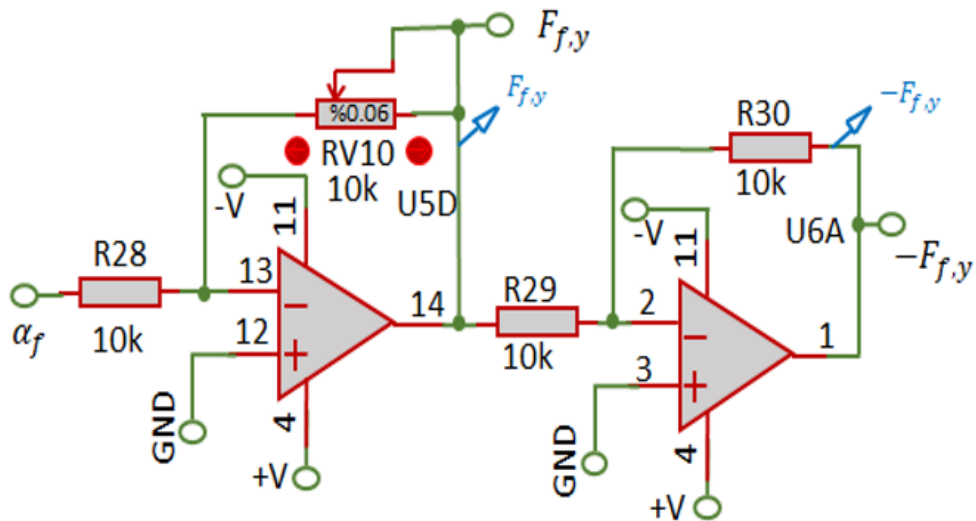
a) Ángulo de deslizamiento trasero de planta sin control



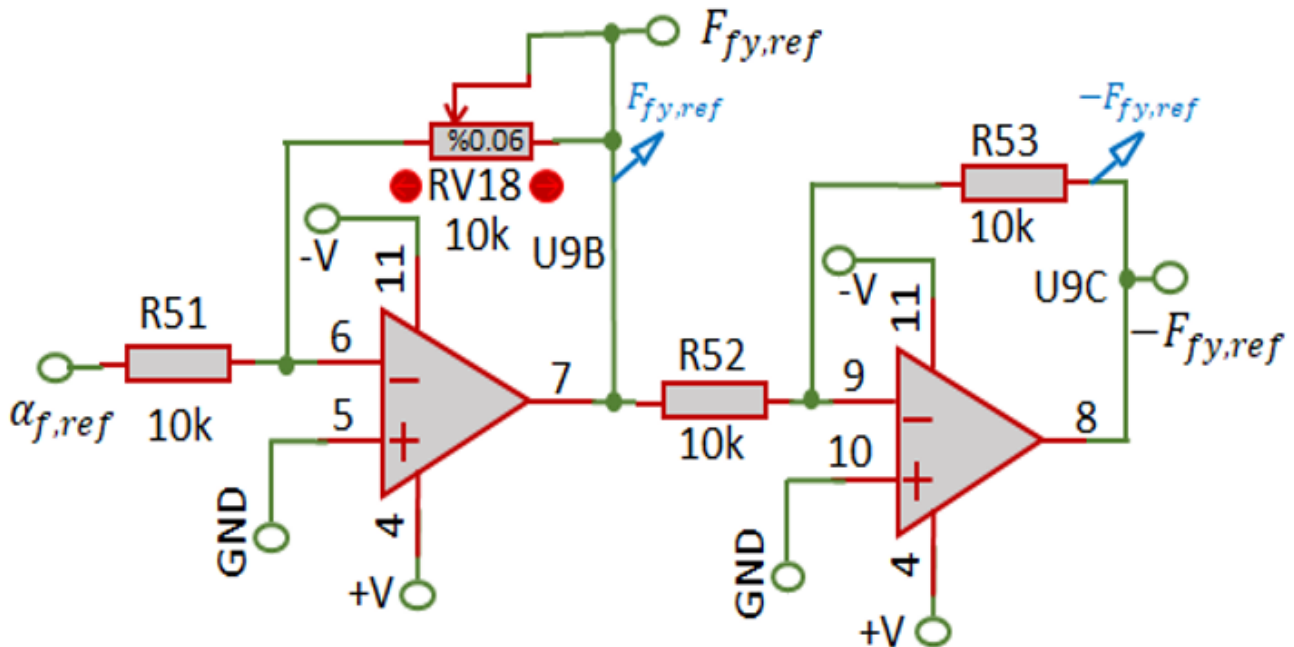
b) Ángulo de deslizamiento trasero del sistema de referencia

Figura 5. Señales: a) α_r ; b) $\alpha_{r,ref}$ en PPADV

Por lo tanto, continuando con el estudio de la plataforma PPADV, para desarrollar la fuerza frontal de las llantas $F_{f,y}$, en la Figura 6a, en el U5D, se tiene la entrada α_f sin control (salida del U5A, ver Figura 4a) multiplicada por la ganancia RV10/R28 que simulan el coeficiente C_f , para que a la salida del amplificador (U5D) se obtenga $F_{f,y}$, que al multiplicarla por la ganancia unitaria (R30/R29) del U6A, resulta la $-F_{f,y}$ (analizada en ecuación (9)), además de utilizar el mismo criterio anterior al diseñar la Figura 6b.



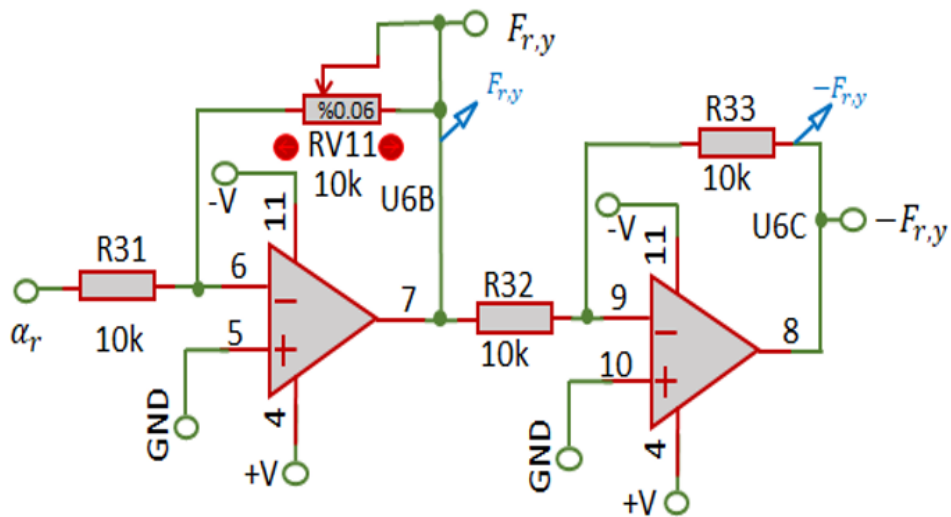
a) Fuerza frontal de planta sin control



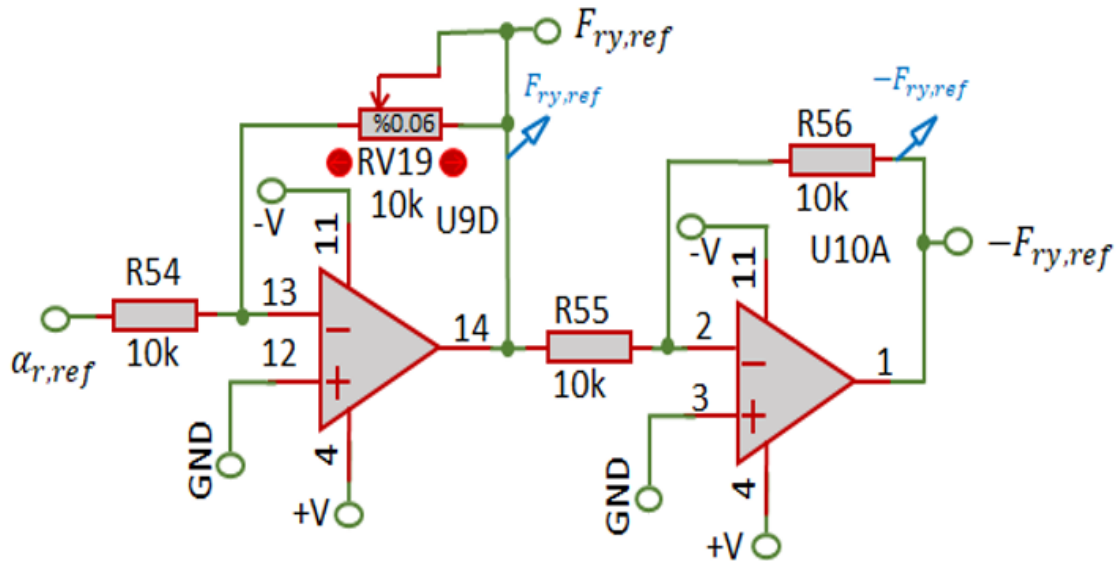
b) Fuerza frontal del sistema de referencia

Figura 6. Señales a) $F_{f,y}, -F_{f,y}$; b) $F_{fy,ref}, -F_{fy,ref}$ en PPADV

Para la Figura 7a, en el U6B, la ganancia $RV11/R31$ se denomina el coeficiente C_r que multiplica a la entrada del amplificador α_r , para desarrollar $F_{r,y}$ (a la salida del circuito (U6B)) que multiplica una ganancia unitaria de $R33/R32$ para tener a la salida de U6C a $-F_{r,y}$, estudiada en ecuación (9) y de igual forma se propone la Figura 7b.



a) Fuerza trasera de planta sin control



b) Fuerza trasera del sistema de referencia

Figura 7. Señales a) $F_{r,y}$; b) $F_{ry,ref}$ en PPADV.

Por lo tanto, entendidas las fuerzas anteriores, se establece que al diseñar dinámicas y variables:

$\dot{v}_y, \dot{v}_{y,ref}, v_y, v_{y,ref}, -\dot{v}_y, -\dot{v}_{y,ref}, -v_y, -v_{y,ref}, \dot{\omega}_z, \dot{\omega}_{z,ref}, \omega_z, \omega_{z,ref}, -\dot{\omega}_z, -\dot{\omega}_{z,ref}, -\omega_z, -\omega_{z,ref}$, no se consideran las fuerzas frontales $-F_{f,y}, -F_{fy,ref}$ y traseras $F_{r,y}, F_{ry,ref}, -F_{r,y}, -F_{ry,ref}$ porque es una aproximación de las velocidades lateral y angular de viraje, pero al considerar las fuerzas descritas en este párrafo, solamente se anexa un amplificador sumador inversor para la planta y otro para el sistema de referencia en la Figura 3 y se obtendrán dos nuevos circuitos (los incluye la PPADV), completando las ecuaciones (2), (3) sin entradas de control y (10), (11).

Para los errores (ver Anexo E), e_{vy} (ecuación (17)), se realiza utilizando un amplificador restador, con las entradas de v_y contra $v_{y,ref}$ y para e_{ω_z} , se tiene la resta de ω_z menos $\omega_{z,ref}$, mediante un amplificador operacional en modo restador (ecuación (18)).

B. Estructura del control

Por lo tanto, cuando se analiza la planta del vehículo agrícola y el sistema de referencia local, se tiene la posibilidad de establecer el diseño del controlador, iniciando con los componentes de la entrada de control δ_c , en Figura 8, definiendo la ganancia $G1= RV20/$

R67 la cual representa al valor $1/v_x + C_r/C_f v_x$ que multiplica a la entrada de la velocidad lateral v_y , para obtener a la salida de U11B, el algoritmo $-(1/v_x + C_r/C_f v_x) \cdot v_y$. Además, para la velocidad angular de viraje controlada $\omega_z \cong \delta_d R$ se multiplica por $RV21/R68=G2= l_f/v_x - C_r l_r/C_f v_x + m v_x/\mu C_f$, obteniendo a la salida de U11C $-(l_f/v_x - C_r l_r/C_f v_x + m v_x/\mu C_f) \cdot \delta_d R$, en cuanto a $\dot{v}_{y,ref}$ como entrada para U11D, se realiza el producto por la ganancia $RV22/R69=G3= m/\mu C_f$, que resulta a la salida del mismo amplificador (U11D), $-m/\mu C_f \cdot \dot{v}_{y,ref}$.

Para el error en velocidad lateral e_{vy} se multiplica por una ganancia de $RV23/R70=-G4=-k_1 \cdot m/\mu C_f$, donde en la salida de U12A, se tiene $=-m/\mu C_f \cdot k_1 \cdot e_{vy}$ y a la salida de U12B con ganancia unitaria de $R72/R71$, con entrada $-m/\mu C_f \cdot k_1 \cdot e_{vy}$, resulta $-m/\mu C_f \cdot k_1 \cdot e_{vy}$. En U13A se aplica un sumador inversor de ganancia unitaria con las siguientes entradas:

$$-\left(1/v_x + C_r/C_f v_x\right) \cdot v_y - \left(l_f/v_x - C_r l_r/C_f v_x + m v_x/\mu C_f\right) \cdot \delta_d R - m/\mu C_f \cdot \dot{v}_{y,ref} + m/\mu C_f \cdot k_1 \cdot e_{vy} + +\delta_d$$

(U12D) y a la salida (U13A) resultara;

$$\delta_c = \left(\frac{1}{v_x} + \frac{C_r}{C_f v_x}\right) v_y + \left(\frac{l_f R}{v_x} - \frac{C_r l_r R}{C_f v_x} + \frac{m v_x R}{\mu C_f}\right) \delta_d - \delta_d + \left(\frac{m}{\mu C_f}\right) \dot{v}_{y,ref} - \left(\frac{m}{\mu C_f}\right) k_1 e_{vy},$$

propuesta en ecuación (25).

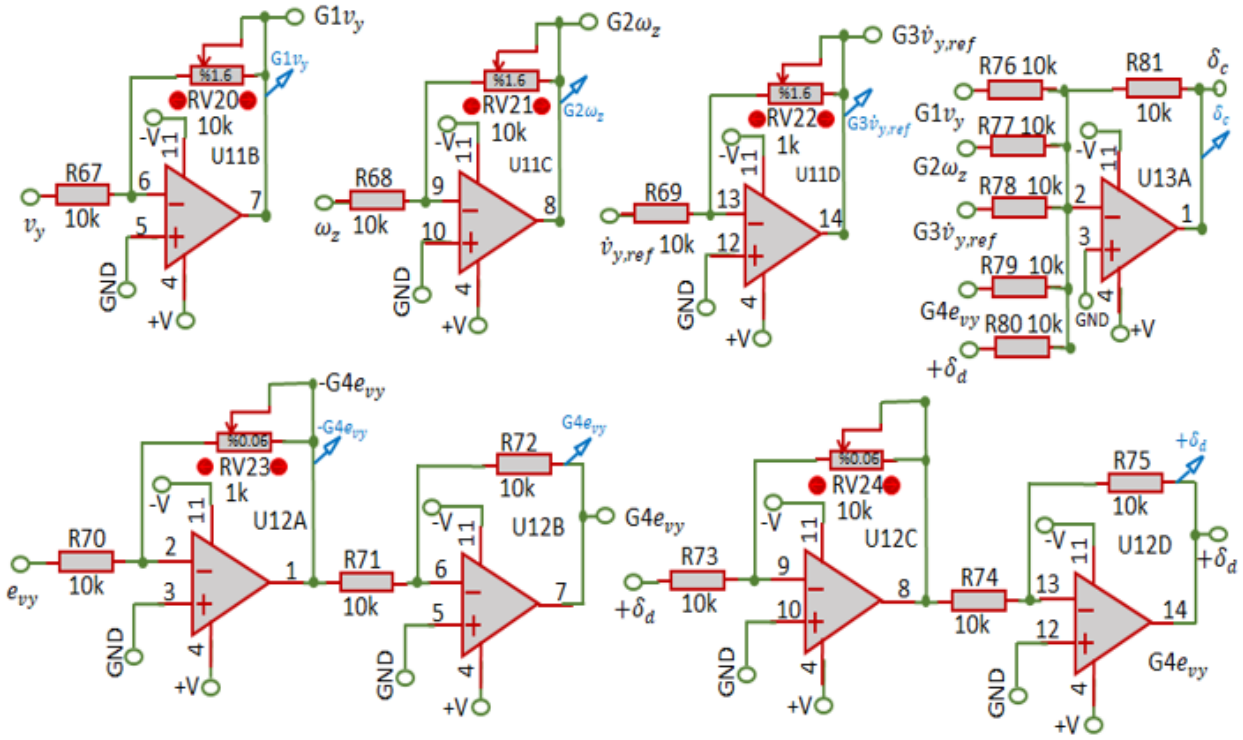


Figura 8. Entrada de control δ_c en PPADV



Siguiendo con las entradas de control, también se propone una entrada de controlador para el vehículo agrícola, cuando exista un eje trasero dinámico y no fijo, como una idea innovadora para M_z , vista en la Figura 9, donde en U13B, se tiene la entrada v_y , multiplicando la ganancia $RV25/R82=M1= \frac{\mu C_f l_f - \mu C_r l_r}{v_x}$, para a la salida resultar $-\frac{(\mu C_f l_f - \mu C_r l_r)}{v_x} \cdot v_y$. Para U13C, se multiplica $\omega_z \cong \dot{\delta}_d R$ por la ganancia $M2=RV26/R83= \frac{\mu C_f l_f^2 + \mu C_r l_r^2}{v_x}$, obteniendo a la salida, $-\frac{(\mu C_f l_f^2 + \mu C_r l_r^2)}{v_x} \cdot \dot{\delta}_d R$. En U13D, tiene la entrada $-\delta_d$ multiplicada por $RV27/R84=M3= -\mu C_f l_f$, resultando $\mu C_f l_f \cdot \delta_d$. Analizando U14A con entrada δ_c por $RV28/R85= -\mu C_f l_f = -M4$, en salida se tendrá $-\mu C_f l_f \cdot \delta_c$ que multiplicará en U14B a $R87/R86$ (ganancia unitaria), para obtener a la salida $\mu C_f l_f \cdot \delta_c$. Continuando con U14C con la entrada $\dot{\omega}_{z,ref}$ por la ganancia $RV29/R88=-M5= -J$, resulta $-J \cdot \dot{\omega}_{z,ref}$. Además en U14D, se considera como entrada $e_{\omega z}$ multiplicando a la ganancia $RV30/R89=-M6= -J \cdot k_2$ donde resulta a la salida $-J \cdot k_2 \cdot e_{\omega z}$, que multiplica en U15A a la ganancia unitaria, $R91/R90$, para obtener a la salida $J \cdot k_2 \cdot e_{\omega z}$. Con esto en U15B, el cual es un sumador inversor que tiene como entradas

$$-\left(\frac{\mu C_f l_f - \mu C_r l_r}{v_x}\right) \cdot v_y, -\left(\frac{\mu C_f l_f^2 + \mu C_r l_r^2}{v_x}\right) \cdot \dot{\delta}_d R, \mu C_f l_f \cdot \delta_d, \mu C_f l_f \cdot \delta_c, -J \cdot \dot{\omega}_{z,ref},$$

$J \cdot k_2 \cdot e_{\omega z}$, resulta en su salida,

$$M_z = \left(\frac{\mu C_f l_f - \mu C_r l_r}{v_x}\right) v_y + \left(\frac{\mu C_f l_f^2 R + \mu C_r l_r^2 R}{v_x}\right) \dot{\delta}_d - (\mu C_f l_f) \delta_d - (\mu C_f l_f) \delta_c + J \dot{\omega}_{z,ref} - J k_2 e_{\omega z},$$

vista en la Ecuación (26).

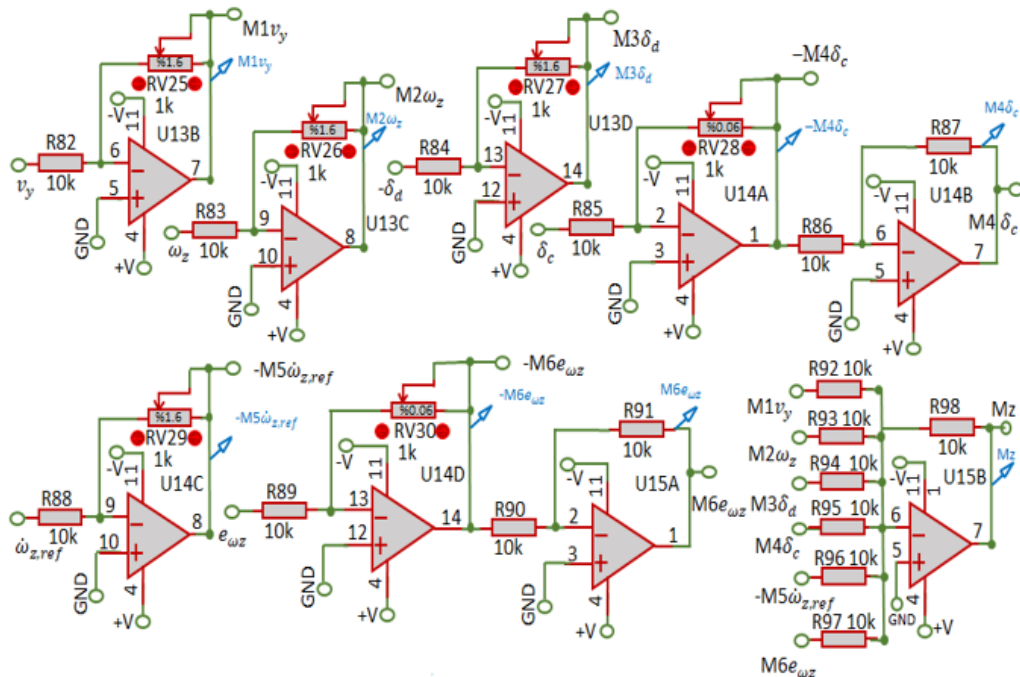


Figura 9. Entrada de control M_z en PPADV

Por último, para esta sección 3, existe un acondicionador de señal, donde este circuito (ver Anexo F), recibe la señal del actuador $a(\delta)$, $b(\delta)$, y la acondiciona para ingresarla a la PPADV.

DISEÑO DE HARDWARE

Después de haber probado la lógica del programa con la tarjeta Arduino uno o con la DAQ 6009 NI/USB, así como su implementación en el ambiente virtual del software Proteus, se procede primeramente a proporcionar una vista 3D del circuito (ver Figura 10) para obtener medidas y una vista preliminar del dispositivo a construir que será la plataforma PPADV.

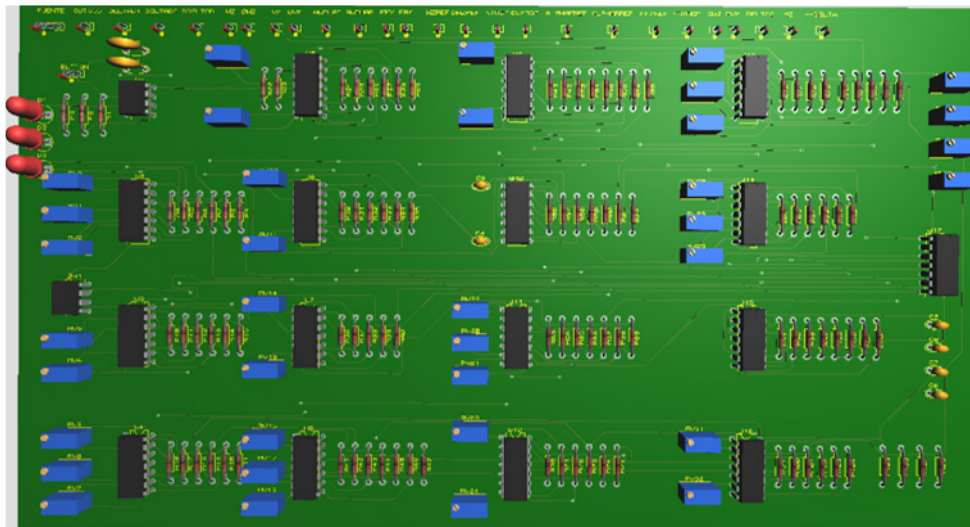


Figura 10. Vista 3D del circuito a implementar (PPADV)

Y enseguida se diseña el circuito electrónico impreso mostrado en la Figura 11 con el apoyo de la función Layout del software Proteus y se imprime para fabricarse por el método SMT o también se puede realizar con tarjetas prefabricadas PCBS tipo *protoboard* que se venden en tiendas de venta de componentes electrónicos a un bajo costo, para que cualquier estudiante las pueda adquirir y realizar el diseño completo de la PPADV.

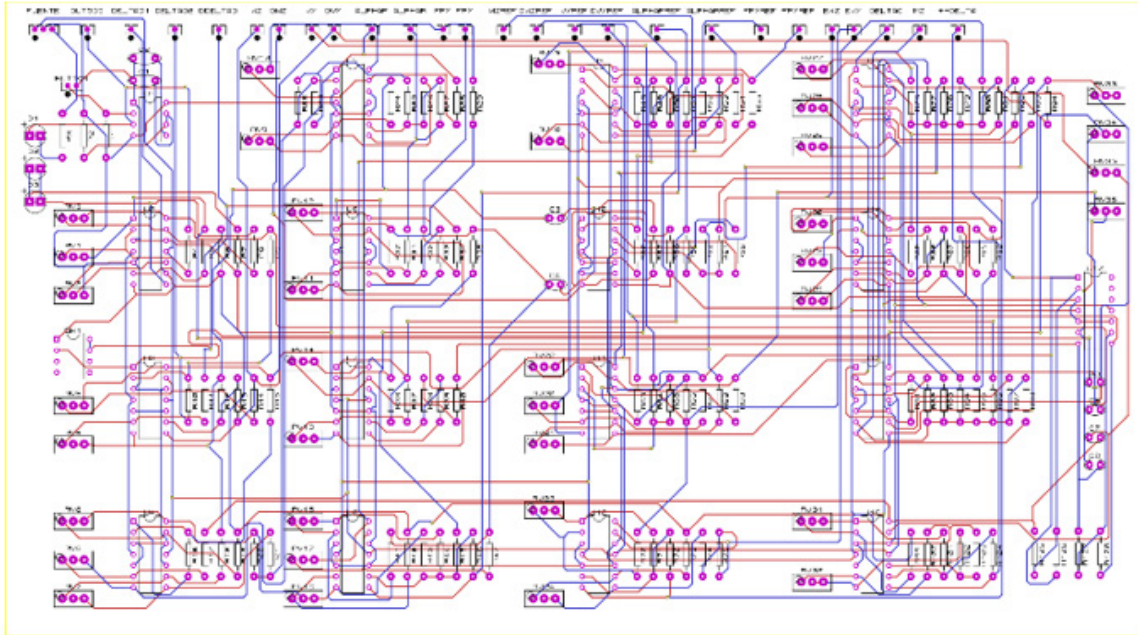


Figura 11. Diseño de las pistas del circuito electrónico impreso para PPADV en software Proteus

Una vista de la implementación final del circuito es mostrada en la Figura 12, con PCBS prefabricadas tipo *protoboard*.

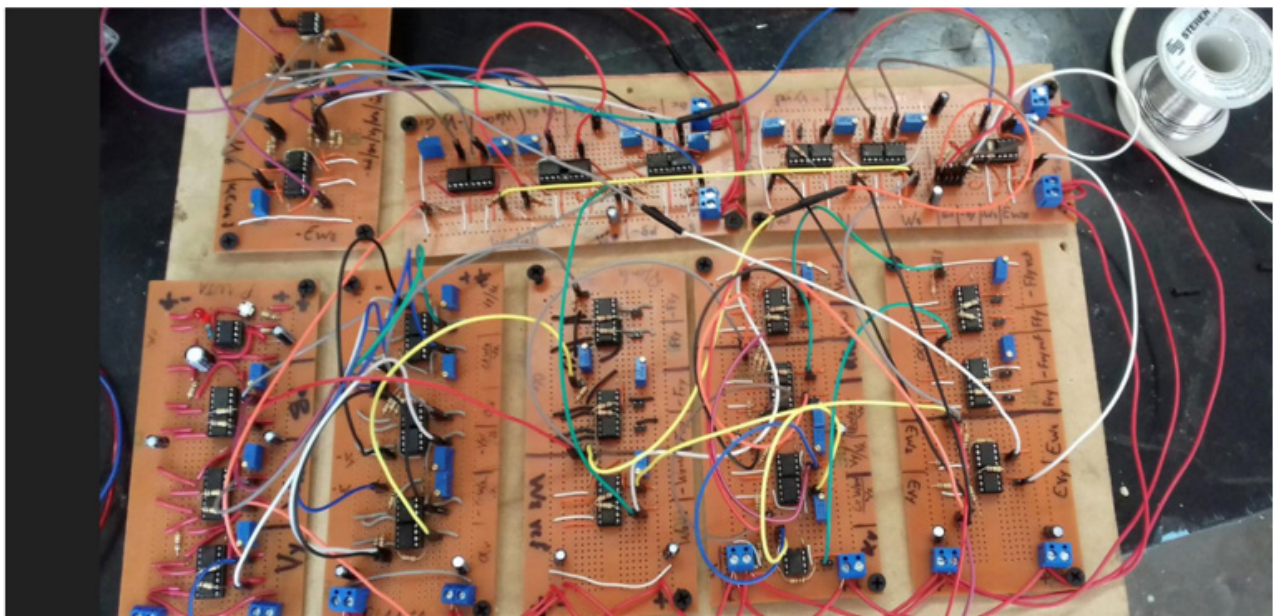


Figura 12. Prototipo para PPADV con PCBS comerciales

Por otro lado, se estudia el diagrama a bloques de la PPADV, tomando en consideración todos los elementos internos, esta etapa es crucial porque se implementa la teoría de control de la parte II sección C de este artículo de investigación, además de la implementación práctica de la PPADV. Todo lo anterior se presenta en la Figura 13.

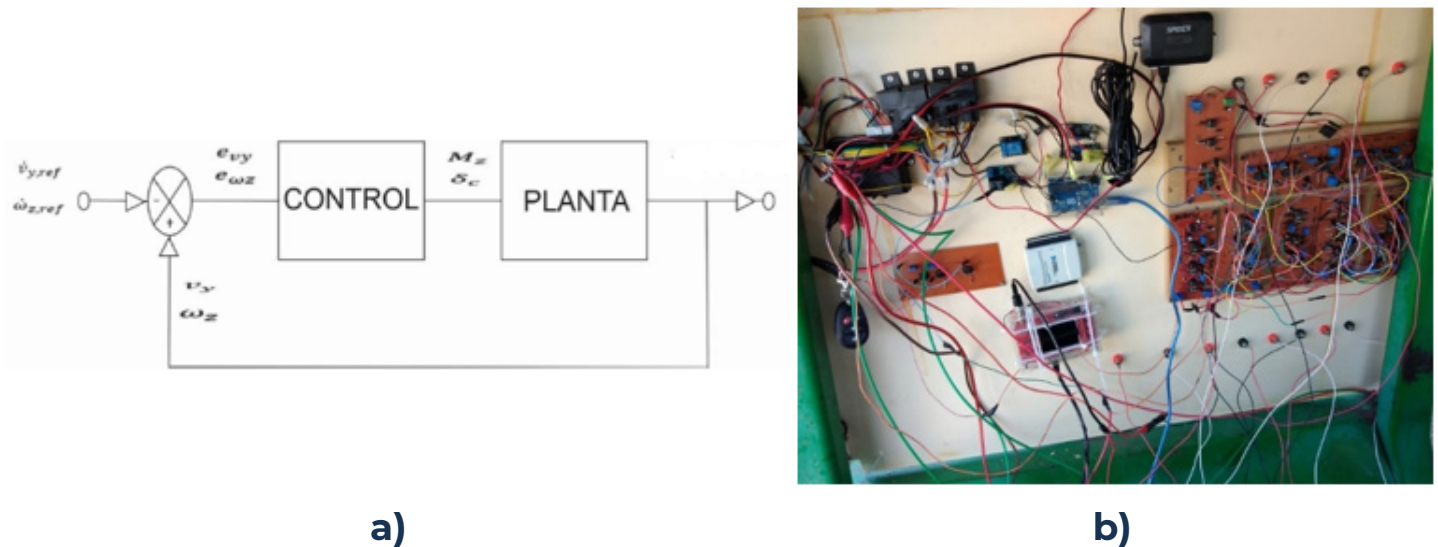
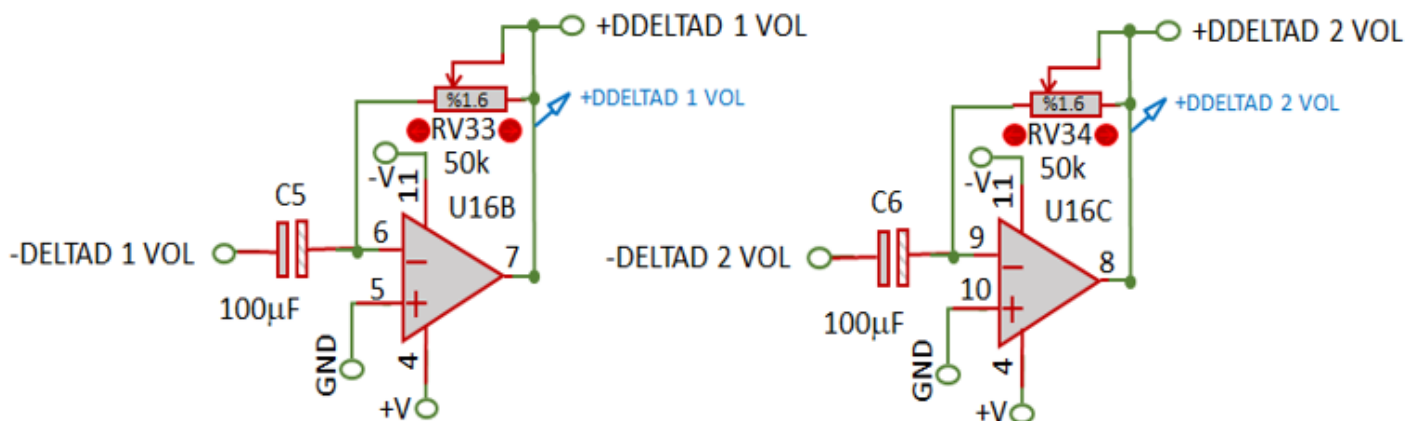


Figura 13. a) Diagrama a bloques de la PPADV; b) Implementación del circuito impreso (PPADV) en el SPADV (vista trasera)

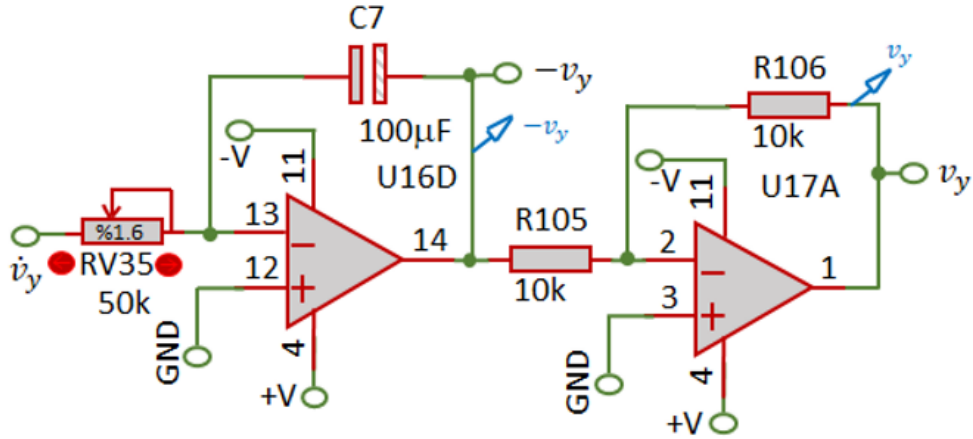
ANEXOS

ANEXO A

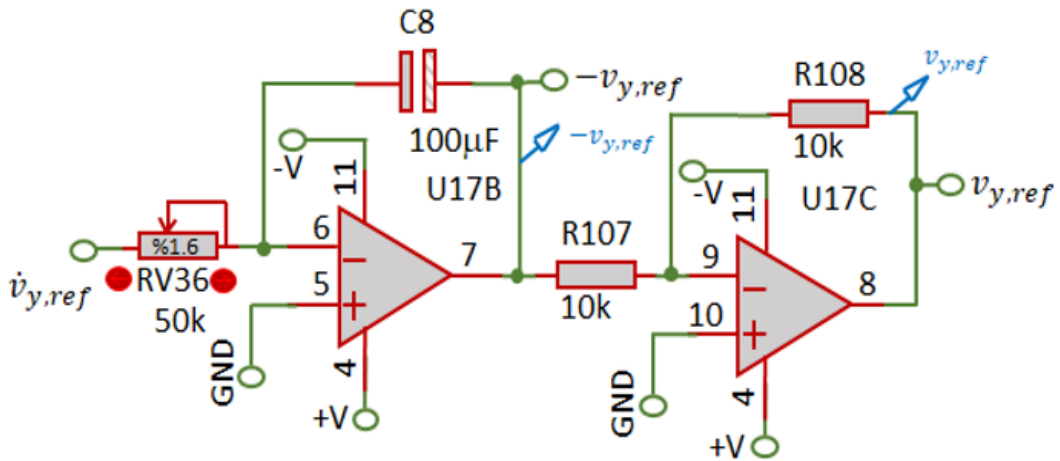




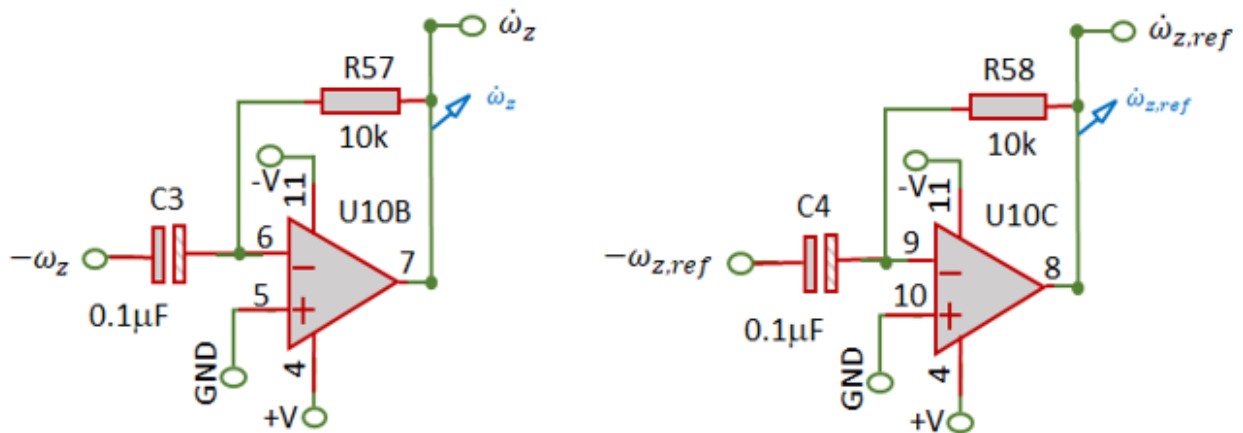
ANEXO B



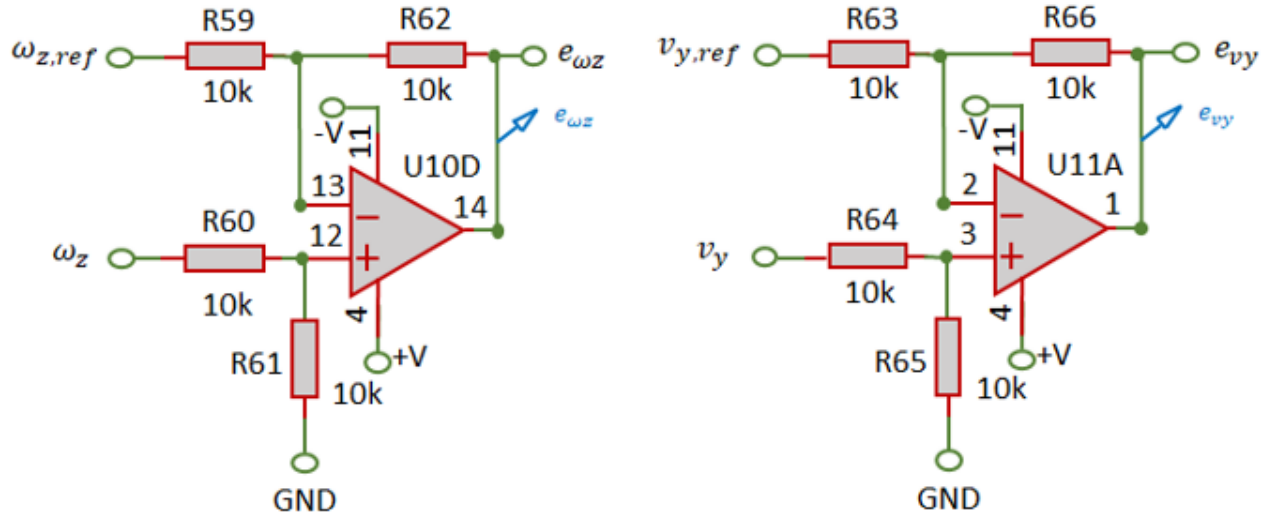
ANEXO C



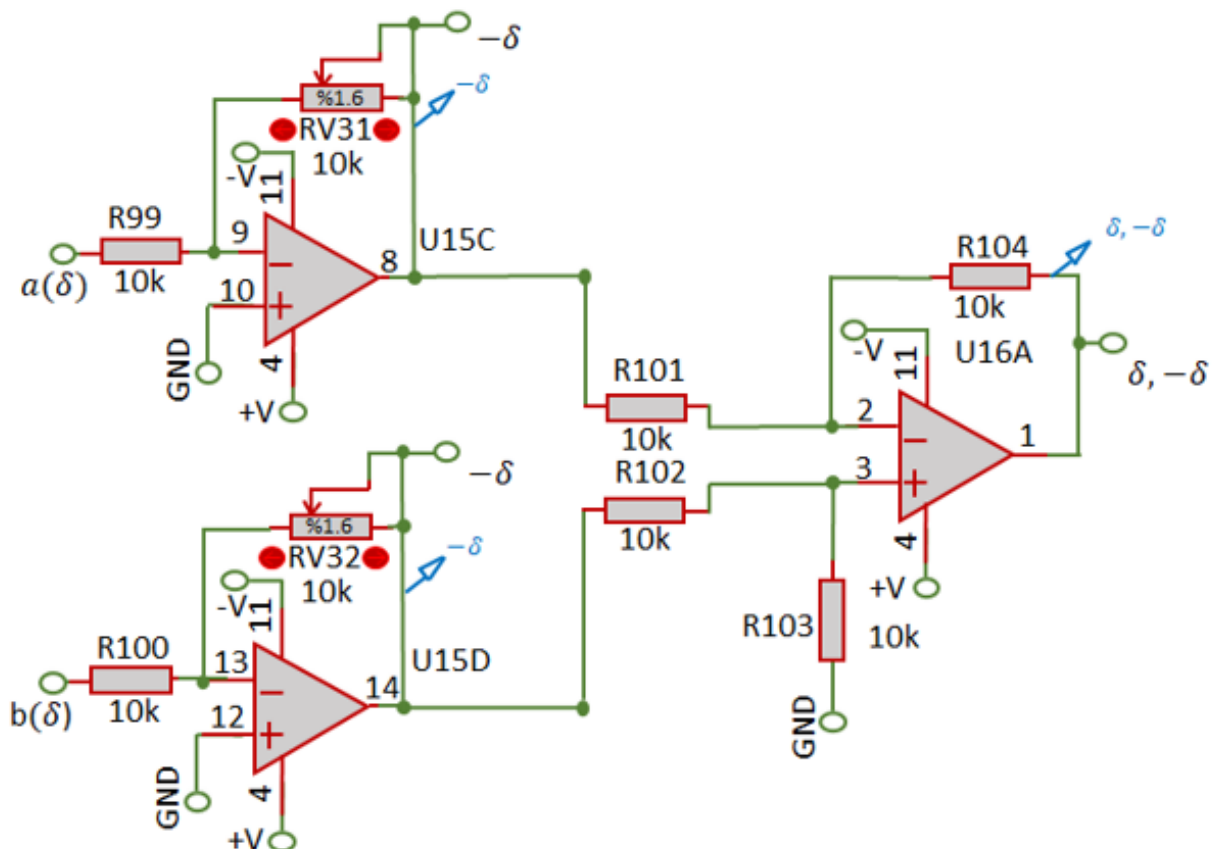
ANEXO D



ANEXO E



ANEXO F





ANEXO G

Tabla 1. Resultados de la plataforma en voltaje para la PPADV

Mediciones	ω_z	v_y	α_f	α_r	$F_{f,y}$
1	1	-0.97	0.49	-0.53	-0.4
2	2	-1.96	-0.03	-1.06	0.04
3	3	-2.92	-0.54	-1.57	0.50
4	4	-3.88	-1.05	-1.98	0.97
5	5	-4.85	-1.56	-2.49	1.45
6	6	-5.83	-2.08	-2.91	1.93
7	7	-6.80	-2.58	-3.41	2.40
8	8	-7.77	-3.08	-4.02	2.86
9	9	-8.73	-3.58	-4.35	3.33
10	10	-9.61	-4.07	-4.38	3.82

Mediciones	$F_{r,y}$	$\omega_{z,ref}$	$v_{y,ref}$	$\alpha_{f,ref}$	$\alpha_{r,ref}$
1	0.52	1	-1.05	0.53	-0.53
2	1.05	2	-2.09	0.07	-1.05
3	1.56	3	-3.11	-0.37	-1.57
4	1.96	4	-4.13	-0.82	-2.08
5	2.45	5	-5.17	-1.28	-2.60
6	2.88	6	-6.24	-1.75	-3.14
7	3.37	7	-7.27	-2.21	-3.65
8	4.02	8	-8.30	-2.65	-4.17
9	4.30	9	-9.37	-3.12	-4.74
10	4.77	10	-9.78	-3.30	-4.91

Mediciones	$F_{fy,ref}$	$F_{ry,ref}$	δ_c	M_z	ϵ_{vy}
1	-0.51	0.55	0.67	0.59	0.09
2	-0.07	1.09	1.35	1.47	0.09
3	0.36	1.62	2.01	2.68	0.16
4	0.79	2.15	2.67	3.56	0.21
5	1.23	2.69	3.35	4.46	0.26
6	1.69	3.24	4.02	5.39	0.30
7	2.13	3.78	4.68	6.31	0.36
8	2.55	4.32	5.36	7.17	0.43
9	3.01	4.92	6.01	8.10	0.46
10	3.18	5.09	6.88	8.59	-0.1



Modelo de distribución automatizado en 3D

Automated 3D layout model

Miriam Zulema González Medrano, Jesús Arturo Hernández Soberón, Claudia Elena Seguy Fernández y Rosendo De Luna Álvarez /

Universidad Tecnológica del Norte de Coahuila

Resumen

En un mundo donde la automatización de procesos industriales es un elemento clave en el crecimiento y desarrollo de un país, saber cómo y por qué funciona un sistema automatizado es crucial para una persona trabajadora. Con el fin de visualizar un proceso complejo de manera sencilla y entendible, con el Sistema de Distribución Automatizado en 3D se busca digitalizar un proceso de automatización haciendo uso de simulaciones gráficas para poder comprender de manera rápida y efectiva lo que dicho proceso hace, dando como resultado que la persona trabajadora tenga una mayor comprensión sobre la labor que debe realizar. El objetivo principal del proyecto es el modelar y animar una estación didáctica Festo en 3D con el fin de digitalizar en la mayor proporción posible un proceso de automatización, utilizando un PLC S7 200 para la automatización, un software CAD para el diseño 3D y software de diseño electroneumático.

Palabras clave: automatización, CAD, modelo, PLC, simulación.

Abstract

In a world where the automation of industrial processes is a key element in the growth and development of a country, knowing how and why an automated system works is crucial for a worker. In order to visualize a complex process in a simple and understandable way, the 3D Automated Distribution System seeks to digitize an automation process using graphic simulations to be able to quickly and effectively understand what such process does, address resulting in the worker has a better understanding of the work to be done. The main objective of the project is to model and animate a Festo teaching station in 3D in order to digitize an automation process as much as possible, using a PLC S7 200 for automation, CAD software for 3D design and design software electro-pneumatic.

Keywords: automation, CAD, model, PLC, simulation.



Introducción

A continuación se muestra uno de los métodos usados ampliamente en la industria manufacturera y automotriz, el cual se puede usar de distintas maneras dentro del sector productivo, se trata de la simulación de un proceso por medio de software del Sistema de Distribución Automatizado en 3D mediante un estudio de movimiento.

Dicho estudio permite a la persona usuaria analizar el rendimiento de un sistema, sus partes y procesos, verificando posibles errores que estos puedan provocar para, de esta forma, modificar el sistema o sus componentes de ser necesario para su correcto funcionamiento.

Se hace uso de un software de programación por PLC, integrando diagramas eléctricos y neumáticos, para finalmente representar el modelo 3D mediante un software de CAD y simulación en 3D.

Objetivo general

Modelar y animar una estación didáctica Festo en 3D, con el fin de digitalizar en lo mayor posible un proceso de automatización, utilizando conocimientos de modelado mecánico en 3D, simulación gráfica y programación, con la finalidad de visualizar un proceso complejo de una manera sencilla y entendible.

Objetivos específicos

- Modelar las piezas principales que se usan en el proceso de funcionamiento de la estación didáctica Festo en un

programa CAD.

- Ensamblar las piezas de la estación modelada haciendo uso de relaciones de posición adecuadas para su correcto ensamble.
- Realizar una simulación gráfica de movimiento para visualizar el proceso de la estación animada en marcha.
- Programar un Controlador Lógico Programable (PLC) para ejecutar el proceso de automatización requerido para la estación.

Planteamiento del problema

Diseño del proyecto

En las figuras 1 y 2 se muestran las vistas generales y el detalle del diseño, respectivamente. Los diseños se elaboraron en SolidWorks.

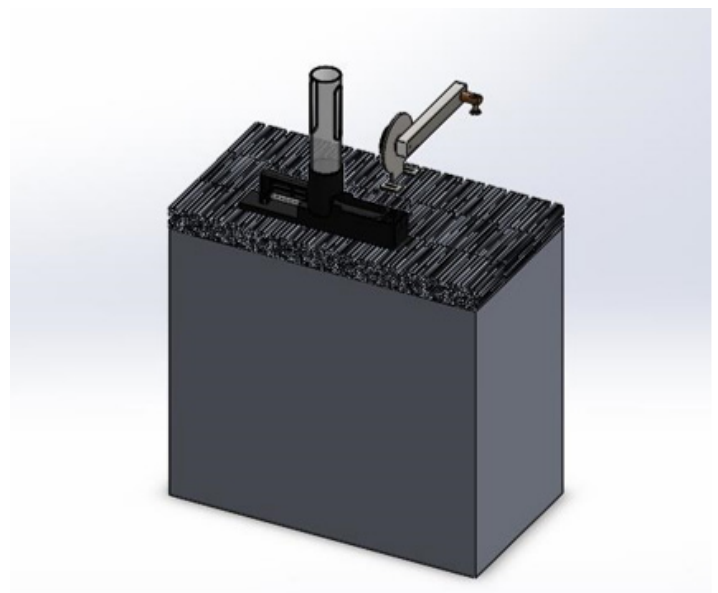


Figura 1. Vista general del diseño en SolidWorks. Fuente: elaboración propia

El uso de SolidWorks en este desarrollo es pertinente, ya que como indica el sitio adrfomacion.com (s. f.): "...es un software tipo CAD, de diseño mecánico, que utilizando un entorno gráfico basado en Microsoft Windows permite, de manera intuitiva y rápida, la creación de modelos sólidos en 3D, ensamblajes y dibujos. Se basa en el modelado paramétrico, reduciendo el esfuerzo necesario para modificar y crear variantes en el diseño, ya que las cotas y relaciones usadas para realizar operaciones se almacenan en el modelo"¹.

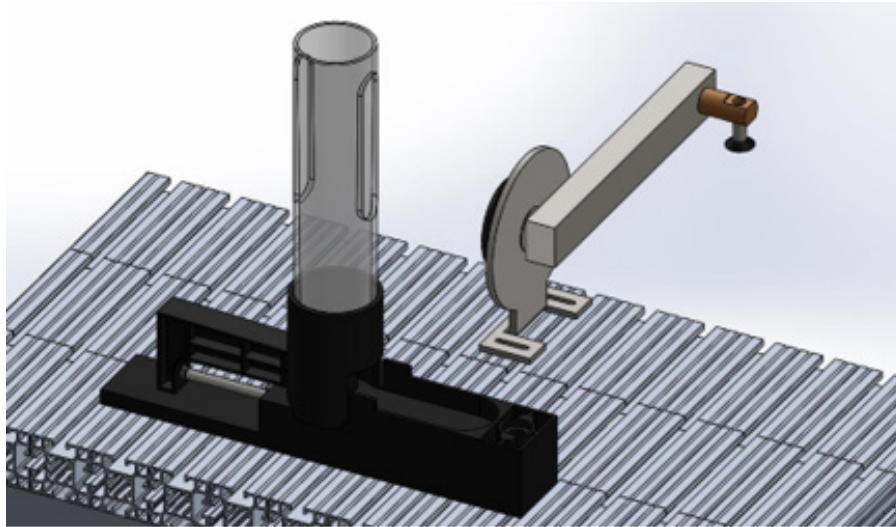


Figura 2. Vista general del diseño a detalle. Fuente: elaboración propia

En las figuras 3 y 4 se muestran la vista lateral y la vista frontal del diseño, respectivamente.

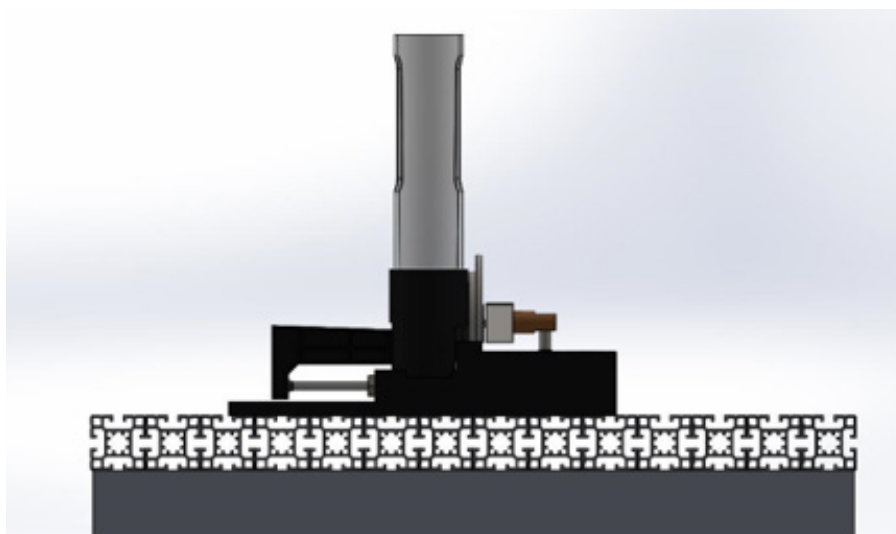


Figura 3. Vista lateral del diseño. Fuente: elaboración propia

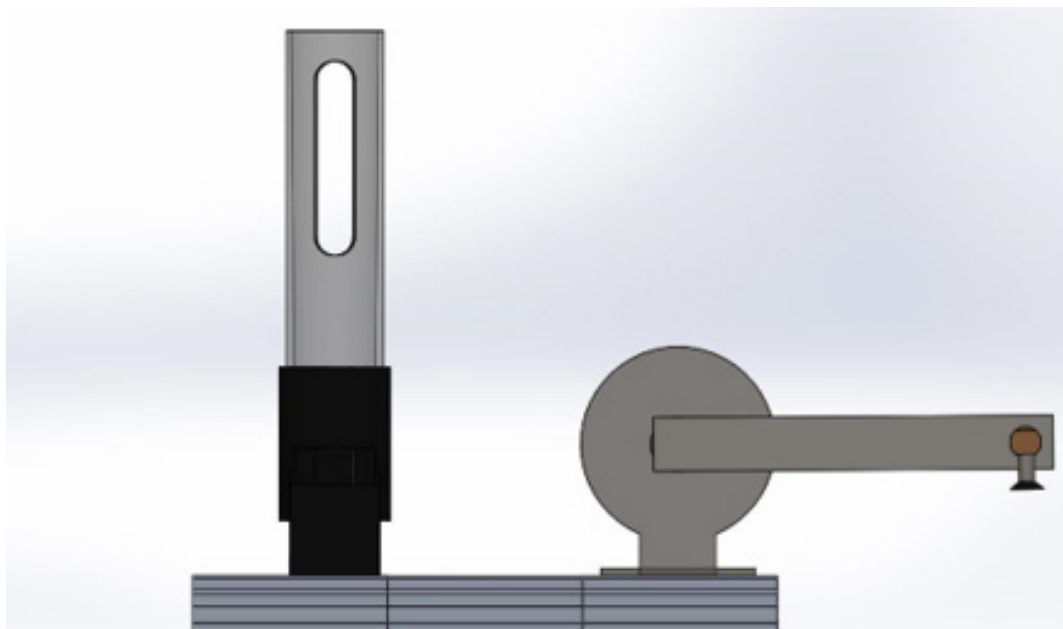


Figura 4. Vista frontal del diseño. Fuente: elaboración propia

En la Figura 5 se presenta la vista general del diseño en Blender.

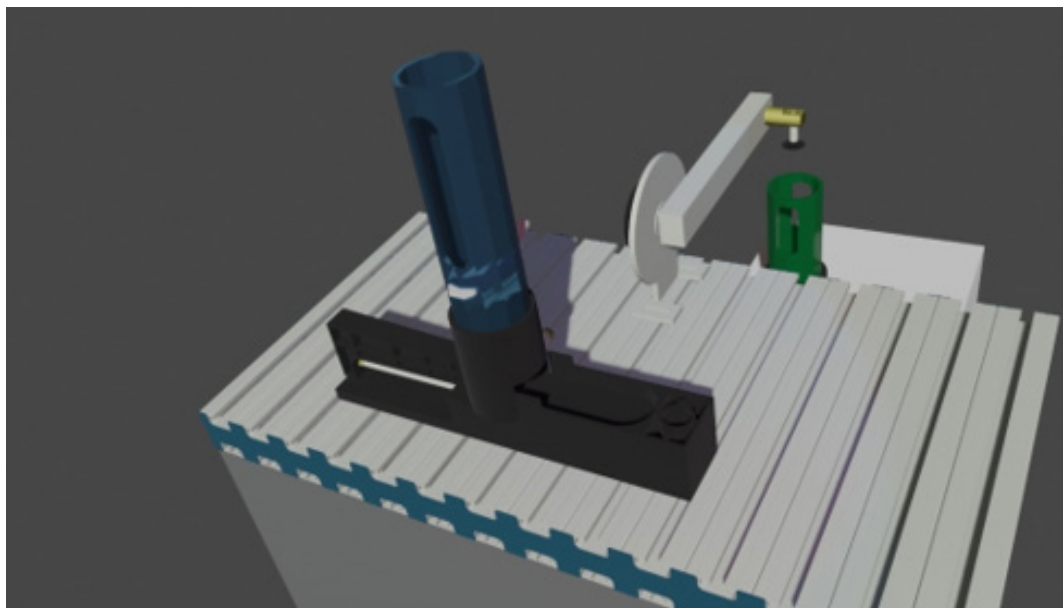


Figura 5. Vista general del diseño en Blender. Fuente: elaboración propia



Metodología

La mecatrónica actualmente es primordial para la realización de proyectos automatizados, como lo indica Festo (s. f): “La industria actual de la fabricación avanzada depende totalmente de la mecatrónica y de las técnicas de automatización lo cual las convierte en unos campos profesionales de rápido crecimiento La Mecatrónica es la combinación sinérgica de la ingeniería mecánica, la electrotécnica, la electrónica, la tecnología de la información y el pensamiento sistémico, utilizada para el diseño de productos y procesos de automatización. La automatización industrial se encarga principalmente de la automatización de los procesos de fabricación, control de calidad y manipulación de materiales. Ambas requieren unas habilidades muy demandadas, que actualmente son también escasas”².

El funcionamiento principal del proyecto se basa en recolectar información mediante un sensor simulado dentro de la estación Festo, el cual envía la señal de acción que desencadenará el proceso.

El uso del modelado 3D para la realización de simulaciones gráficas es adecuado, ya que como indica el sitio Autodesk.mx (s. f.): “El modelado 3D consiste en utilizar software para crear una representación matemática de un objeto o forma tridimensional. El objeto creado se denomina modelo 3D y se utiliza en distintas industrias”³.

Tal como lo señala Festo (s. f.): “La estación Festo es un programa de configuración en 3D que permite confeccionar combinaciones de productos específicos de Festo en formato CAD. De esta manera, en el futuro se encontrarán accesorios con mayor rapidez y fiabilidad y de forma más sencilla”⁴.

El modelo 3D se creó tomando como referencia la estación original, usando el software de Diseño Asistido por Computadora (CAD, por sus siglas en inglés) llamado SolidWorks, para desarrollar los planos y modelos 3D para, posteriormente, realizar un estudio de movimiento. Véase la Figura 6.

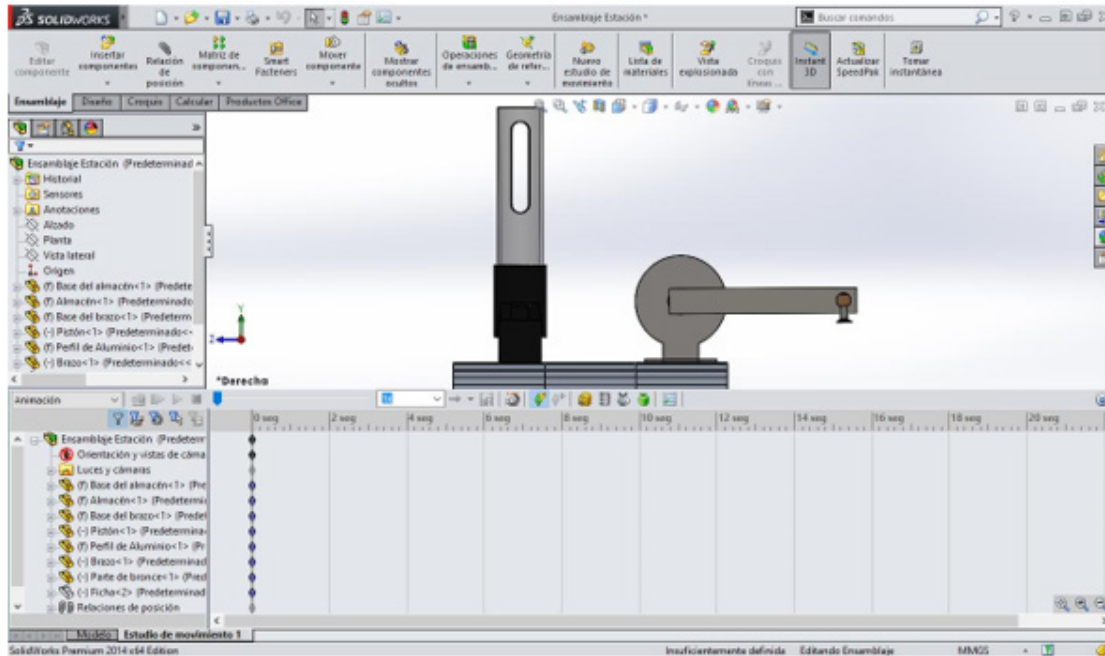


Figura 6. Interfaz del estudio de movimiento. Fuente: elaboración propia

El sistema es programado mediante Ladder, que es un lenguaje de programación de interfaz gráfica utilizando el entorno de programación Step 7 como IDE principal. Véase la Figura 7.

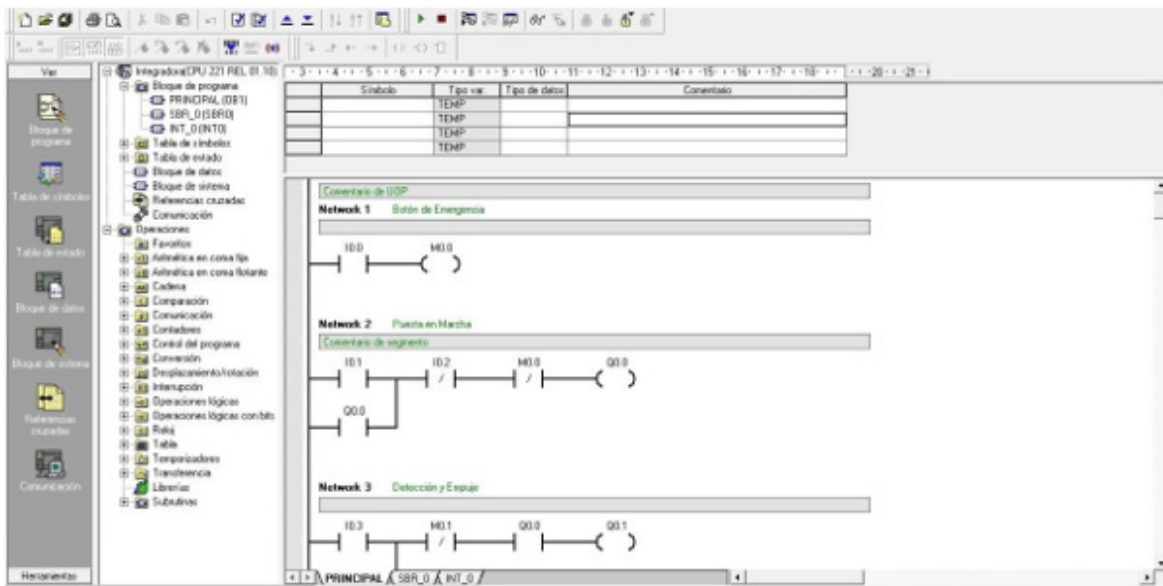


Figura 7. Step 7. Fuente: elaboración propia

El desencadenante del inicio de marcha de la estación es controlado mediante un sensor de proximidad, como se muestra en las figuras 8 y 9.

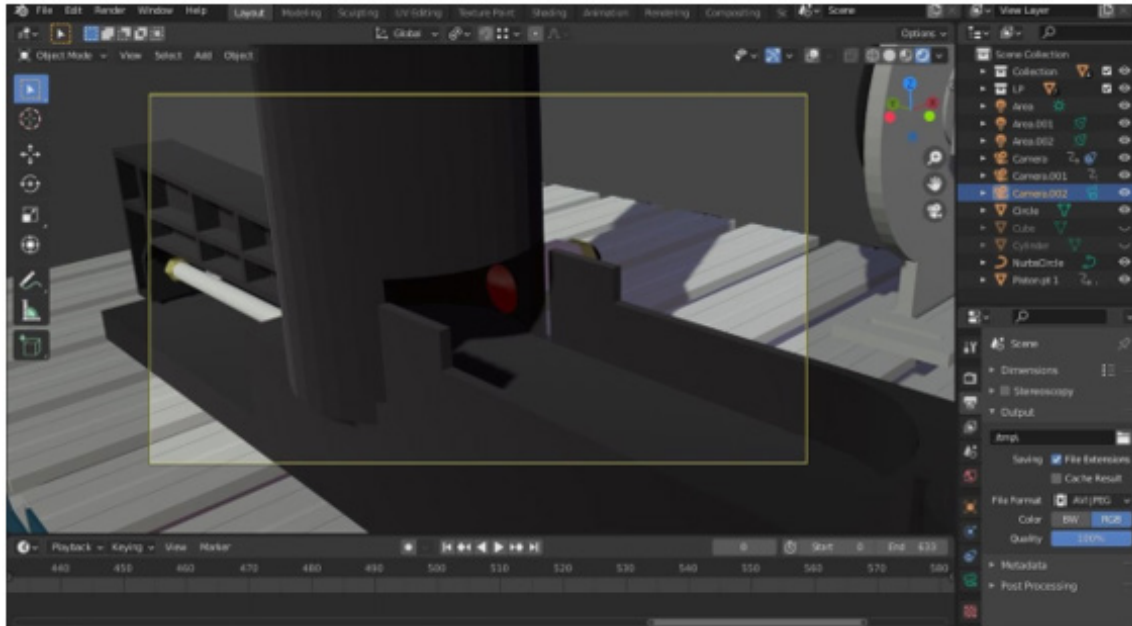


Figura 8. Sensor de proximidad. Fuente: elaboración propia

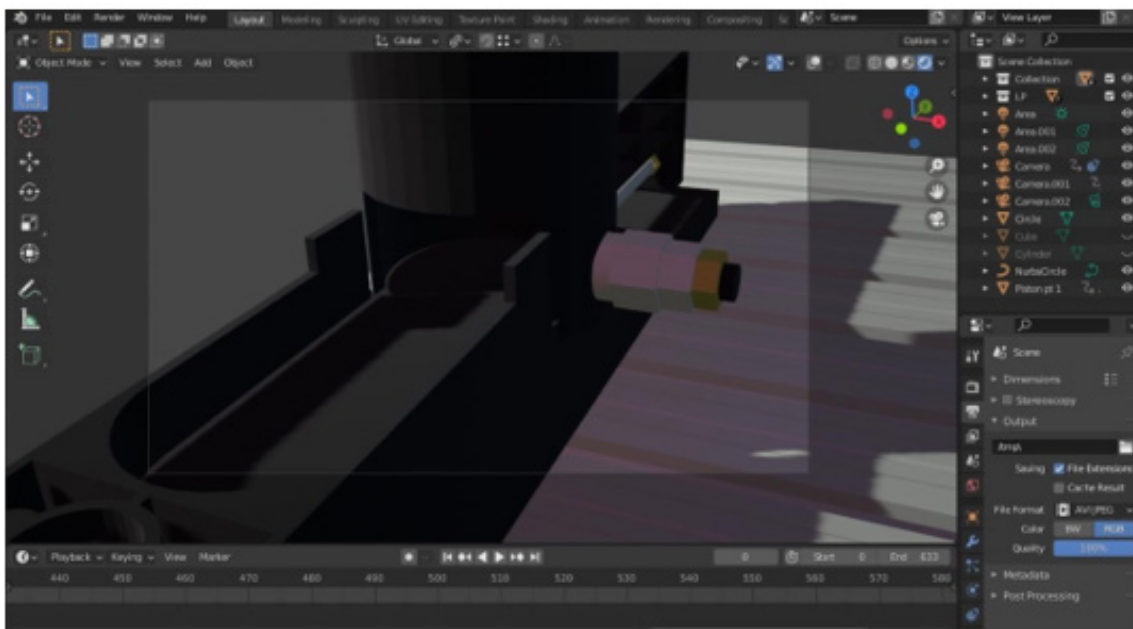


Figura 9. Sensor de proximidad. Fuente: elaboración propia



Dentro del almacén de fichas, al detectar una, activa el cilindro que empuja a la ficha y lo lleva al lugar destinado (figuras 10 y 11).

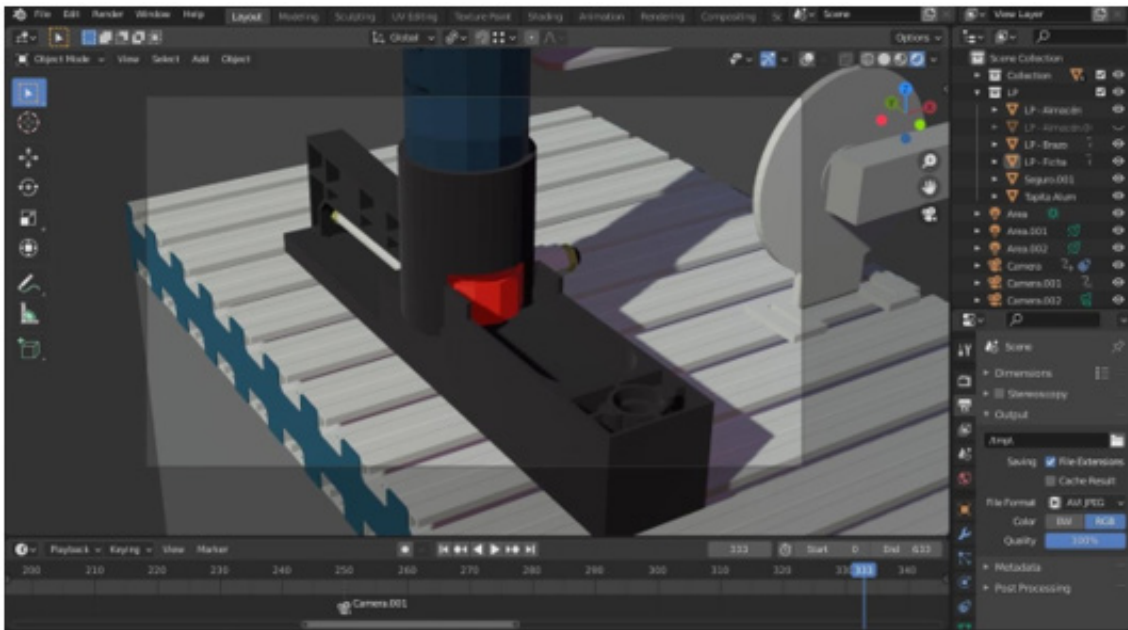


Figura 10. *Sensado de ficha.* Fuente: elaboración propia

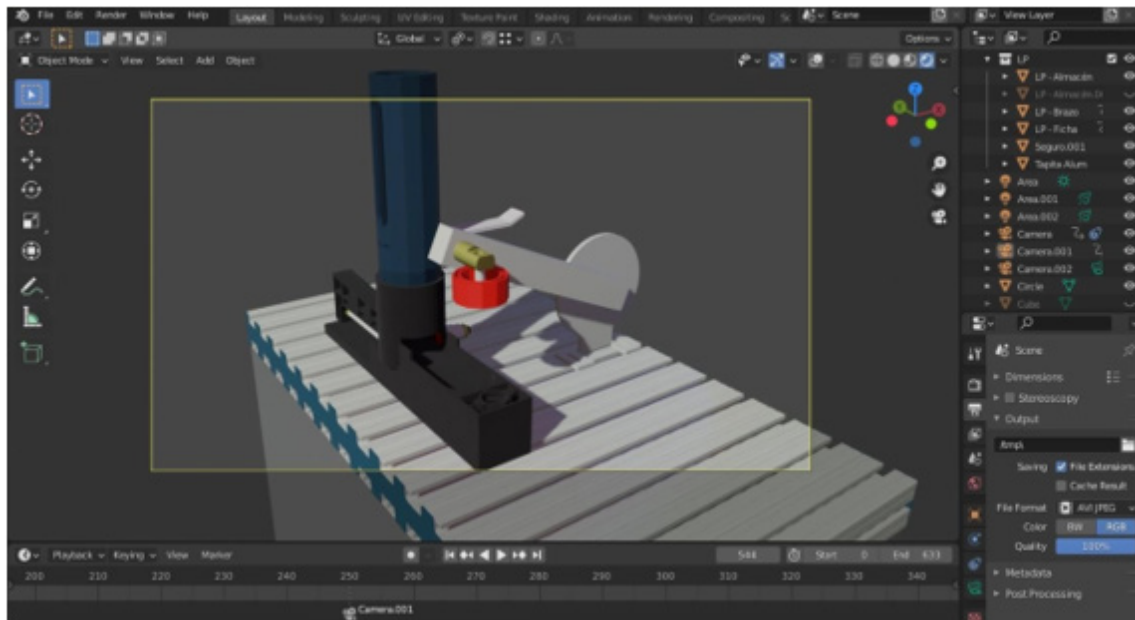


Figura 11. *Colocado de ficha.* Fuente: elaboración propia

Posteriormente, el pistón de empuje se desactiva y vuelve a su posición original. En dado caso que se encuentre más de una ficha en el almacén, estas caen, pero sin volver a activar el proceso hasta que este haya terminado por completo. Todo esto es manejado mediante un programa diseñado en Step 7 S200, el cual automatiza todo el proceso anteriormente mencionado. La programación realizada en Step 7 se muestra en la Figura 12.

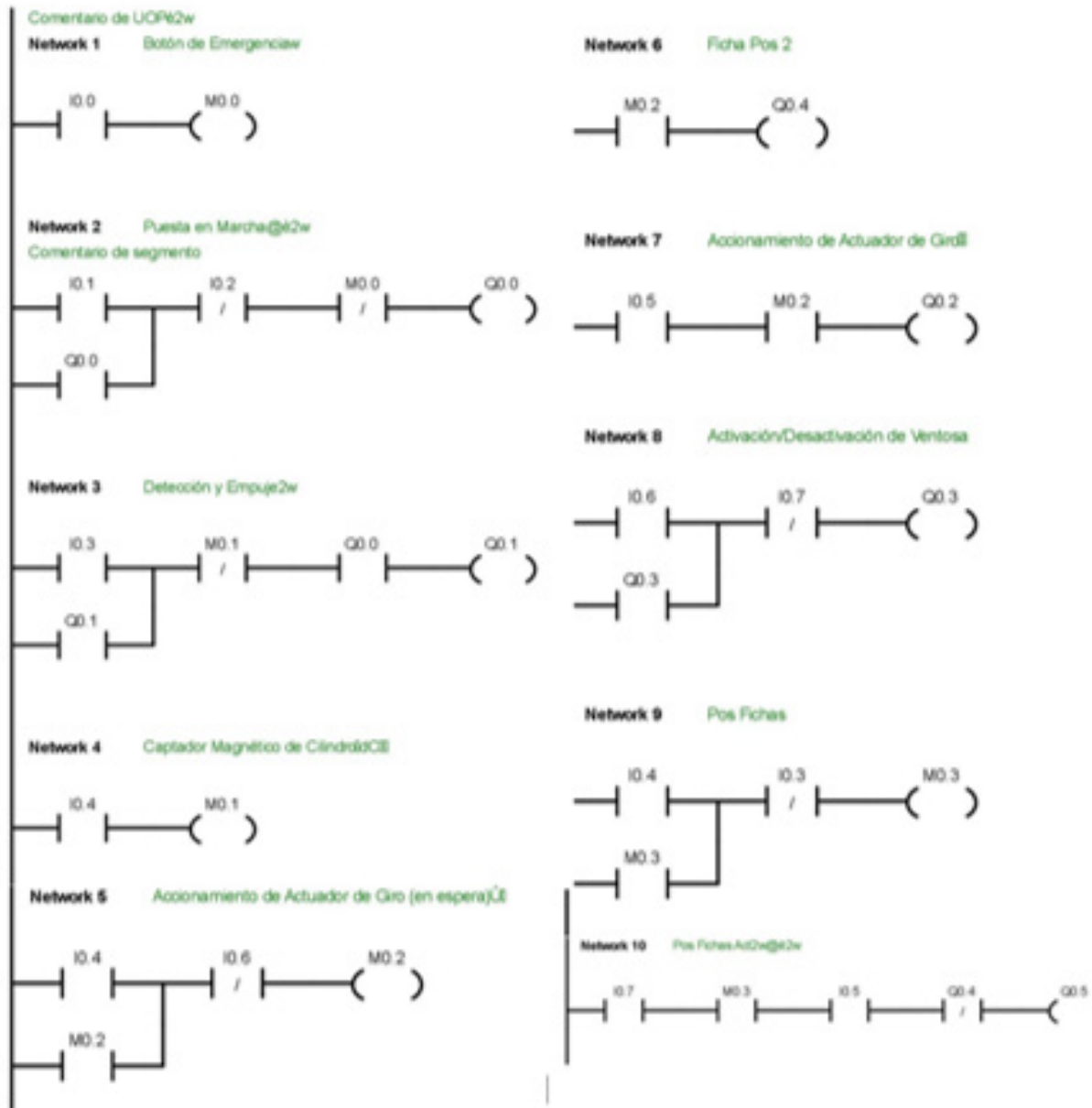


Figura 12. Programación en Step 7. Fuente: elaboración propia

El Manual del sistema de automatización S7-200 (Siemens, 2008) señala: “El S7-200 vigila las entradas y cambia el estado de las salidas conforme al programa de usuario que puede incluir operaciones de lógica booleana, operaciones con contadores y temporizadores, operaciones aritméticas complejas, así como comunicación con otros aparatos inteligentes. Gracias a su diseño compacto, su configuración flexible y su amplio juego de operaciones, el S7-200 es especialmente apropiado para solucionar numerosas tareas de automatización”⁵

Adicionalmente, haciendo uso del software para diseño neumático y eléctrico de circuitos Festo FluidSIM, y basándose en el funcionamiento de la estación de distribución de Festo, se crearon los circuitos electroneumáticos concernientes a la automatización del proyecto en cuestión. Estos circuitos se muestran en las figuras 13 y 14, respectivamente.

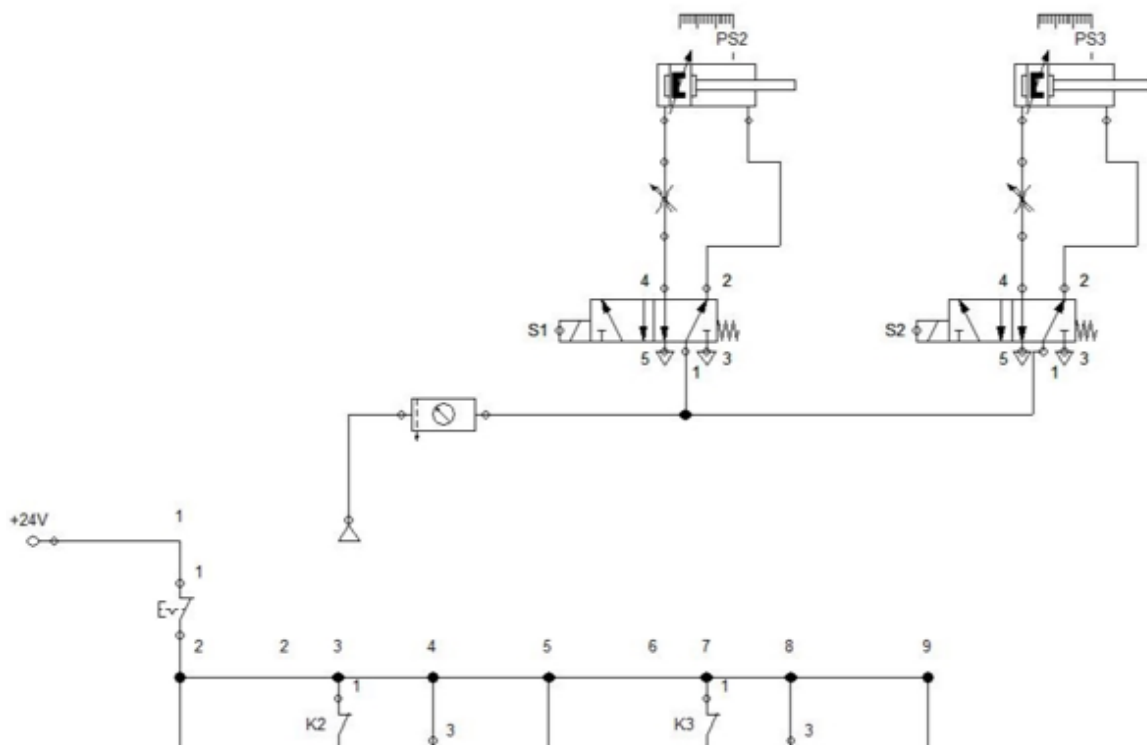


Figura 13. Circuito neumático de la estación de la distribución de Festo. Fuente: elaboración propia

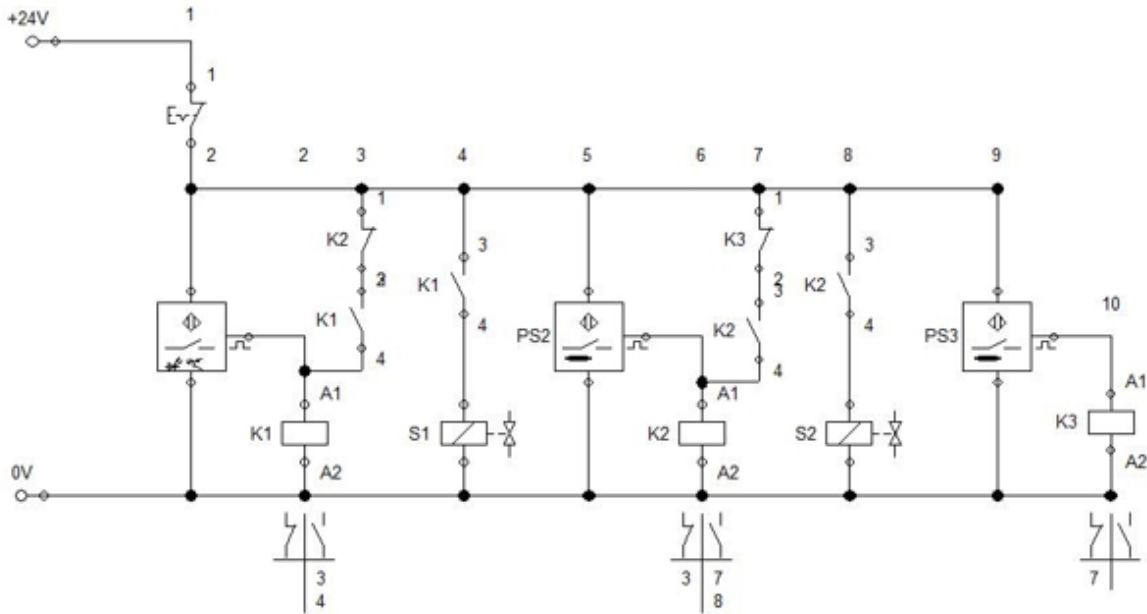


Figura 14. Circuito eléctrico. Fuente: elaboración propia

Para la simulación gráfica, las piezas diseñadas en el software CAD SolidWorks son exportadas al programa Blender de modelado y diseño 3D, el cual permite realizar dicha simulación haciendo uso de las herramientas de animación, iluminación, texturizado y renderizado que proporciona. A continuación, se muestran imágenes de las interfaces del programa en distintos puntos del proceso.

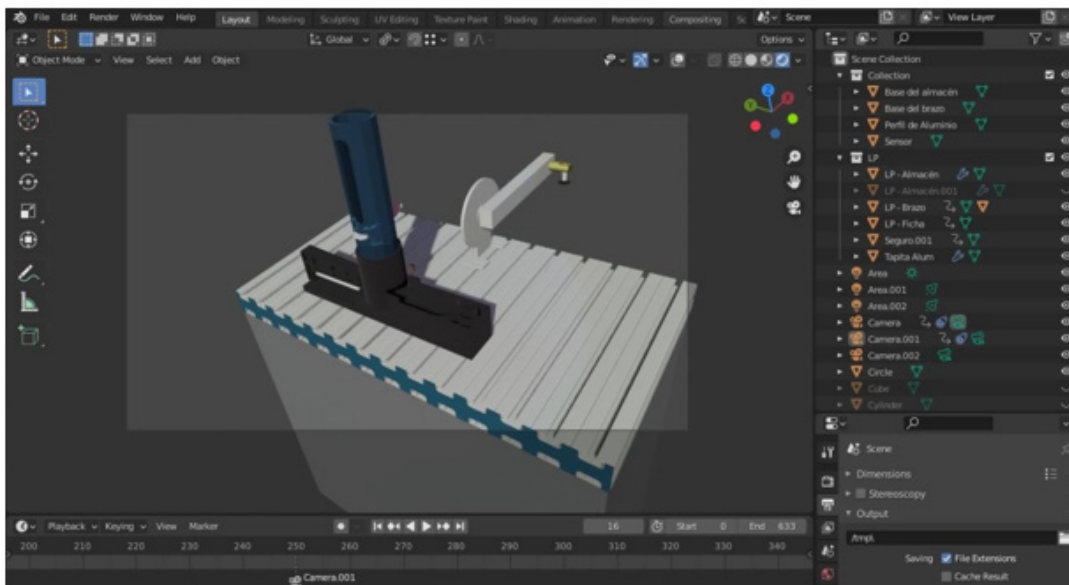


Figura 15. Blender, interfaz y modelo 3D. Fuente: elaboración propia

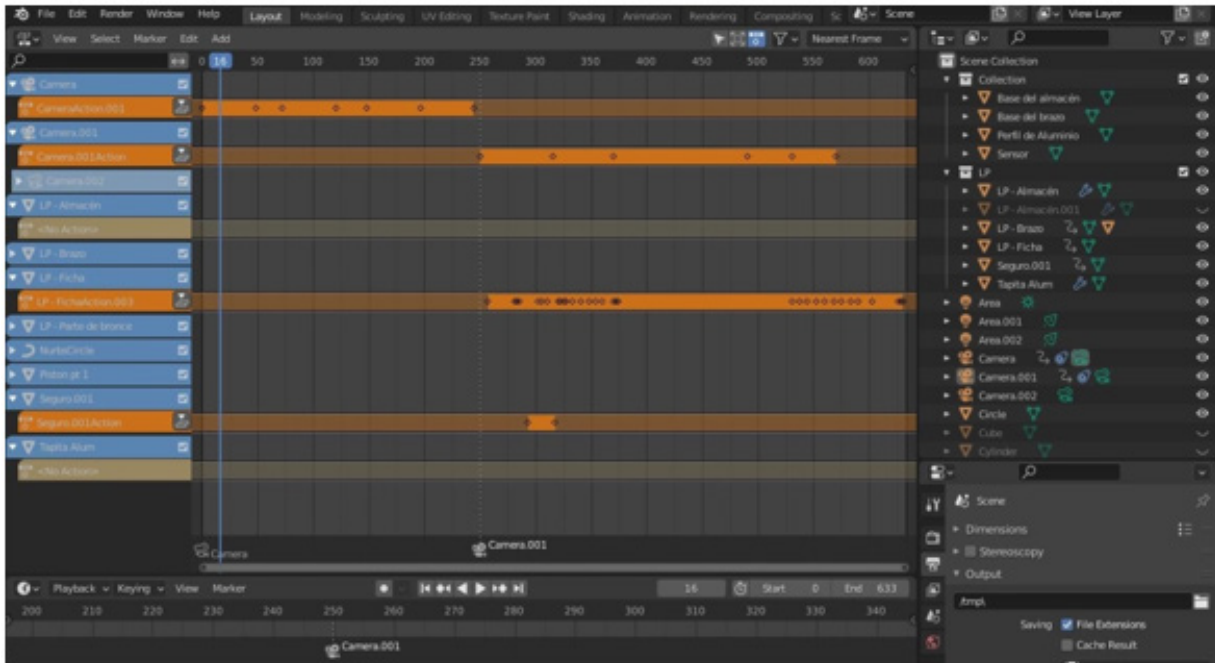


Figura 16. Blender, interfaz de animación y eventos. Fuente: elaboración propia

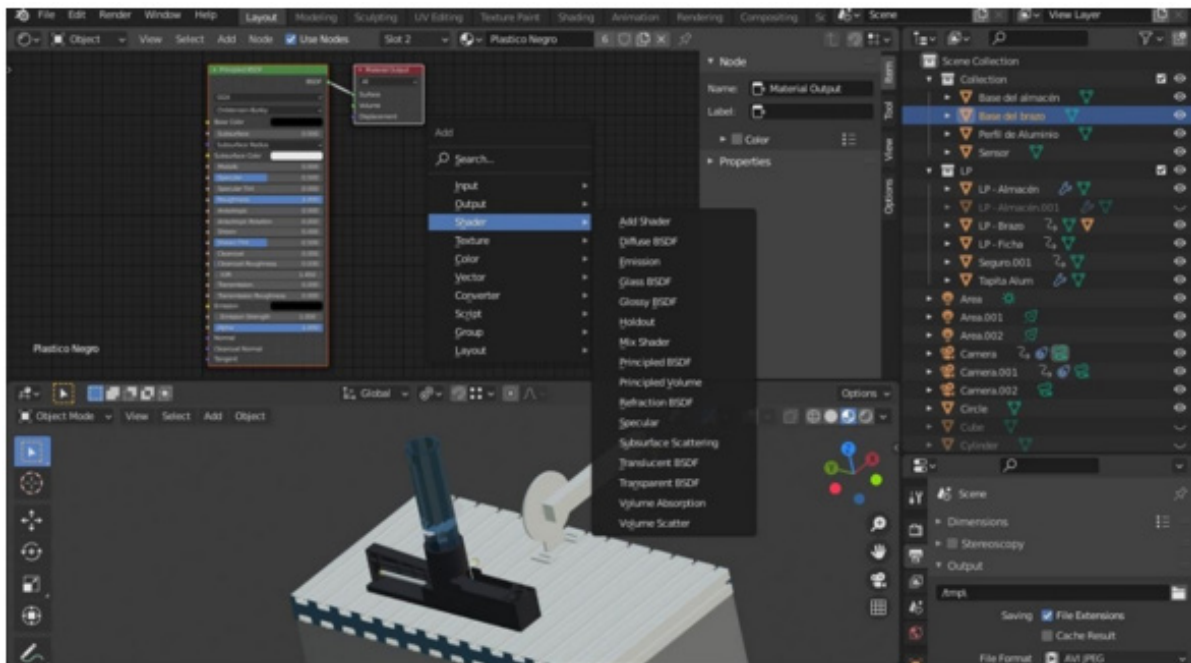


Figura 17. Blender, interfaz de texturizado. Fuente: elaboración propia



Resultados

Se diseñó un modelo 3D de la estación didáctica Festo mediante el uso del software de CAD SolidWorks y se realizó el ensamble usando el mismo programa. Los circuitos eléctricos y neumáticos de la estación se diseñaron usando el software Festo FluidSIM", así como una simulación del funcionamiento de este. En cuanto a la programación y automatización del proceso llevado a cabo por la estación, se realizó en el software Step 7 mediante uso del PLC S7-200.

Conclusiones

Se logró simplificar, modelar y animar una estación didáctica de Festo en un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D, mediante un software de programación realizando el programa de control necesario para automatizar la estación didáctica Festo. Las fichas se guardan en el almacén, el pistón empuja la ficha del fondo y se activa el brazo giratorio, enseguida toma la ficha haciendo uso de aire a presión a través de la ventosa para, finalmente, dejarla al otro lado para su posterior uso.



Referencias

1. adr formación soluciones elearning. ¿Qué es SolidWorks? [En línea] [Fecha de consulta: 15 de febrero de 2022]. https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html
2. FESTO. Soluciones educativas de mecatrónica y automatización industrial – desde los fundamentos de la tecn de febrero de 2022]. <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion-modular/soluciones-educativas-de-mecatronica-y-automatizacion-industrial-desde-los-fundamentos-de-la-tecnologia-hasta-la-total-automatizacion-industrial.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjU4NS41Mzc0Mw>
3. AUTODESK. Software de modelado 3D. [En línea]. s.f. [Fecha de consulta: 13 de febrero de 2022]. <https://www.autodesk.mx/solutions/3d-modeling-software#:~:text=El%20objeto%20creado%20se%20denomina,similar%20y%20renderizar%20dise%C3%B1os%20gr%C3%A1ficos>
4. FESTO. Software de configuración CAD Festo Design Tool 3D. [En línea]. [Fecha de consulta: 14 de febrero de 2022.] https://www.festo.com/mx/es/e/soluciones/digitalizacion/software-de-ingenieria/festo-design-tool-3d-id_330026/
5. SIEMENS. Manual del sistema de automatización S7-200. Edición 08/2008. Disponible en https://cache.industry.siemens.com/dl/files/582/1109582/att_22068/v1/s7200_system_manual_es-ES.pdf

Fecha de recepción	Fecha de aceptación	Fecha de publicación
15/02/2022	24/08/2022	30/09/2022



Impacto de las 5S para la optimización de un CEDIS de giro textil

Impact of the 5S for the optimization of a CEDIS of textile business

Luis Alonso Jasso Hernández, Aldair Legorreta Campos e Israel Becerril Rosales /
Tecnológico Nacional de México: Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán

Resumen

Este trabajo se enfoca en el *picking* de un CEDIS en una empresa del giro textil, ya que se tardan en armar los pedidos y se tiene una mala organización de la mercancía, no se tiene definido un lugar específico para cada una de ellas, no están bien definidos los pasillos por el amontonamiento de mercancía que tienen y se dificulta la fácil circulación, por lo que se vuelve complicado encontrar las piezas que se requieren para los pedidos, esto retrasa las entregas con el cliente final y causa ser acreedores de no conformidades y en ocasiones multas económicas. Por ello se implementó la metodología 5S para mejorar ese tiempo, con las acciones tomadas en cada una de ellas, pasando cada una de las auditorías realizadas, se logró una mejora en el proceso de los pantalones que va desde el 10 % y hasta un 54 %.

Palabras clave: CEDIS, 5S, picking.

Abstract

This research focuses on the picking of a CEDIS in a textile company, since it takes time to assemble orders and has a poor organization of the merchandise, it is not defined a specific place for each of them, the aisles are not well defined by the pile of goods that have and hinders the easy movement, so it becomes difficult to find the parts required for orders, delaying deliveries to the end customer and making creditors to nonconformities and sometimes financial penalties. Therefore, the 5S methodology was implemented to improve that time, with the actions taken in each of them, passing each of the audits performed, an improvement in the process of pants ranging from 10% to 54 % was achieved.

Keywords: CEDIS, 5S, picking.



Introducción

En el contexto Internacional y en Latinoamérica, las empresas incorporan en su planificación estratégica y anual, objetivos relacionados con el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad, con el propósito de alcanzar mejores niveles de competitividad en el mercado. Japón se ha convertido en punto de referencia de casos de estudio, desde el inicio de la década de los años 80, por el surgimiento de un nuevo modelo de administrar las empresas, orientado a una cultura de la calidad, comprometidos en todos los niveles gerenciales y operativos con la satisfacción total de sus clientes¹.

Hoy en día los CEDIS desempeñan un papel muy importante en muchas empresas en cuanto a la optimización de sus recursos, y esto es posible con una buena administración y organización dentro del mismo, por lo que fue indispensable implementar la metodología 5S para mejorar los tiempos de *picking* y ser más productivos.

La técnica 5S es una concepción ligada hacia la calidad total, que se originó en Japón bajo la orientación de Deming hace más de 40 años y que está incluida dentro de lo que se conoce como mejora continua. Su principal objetivo es eliminar los obstáculos que impiden un trabajo eficiente, así como mejora de la higiene y seguridad en los puestos y líneas de trabajo en los procesos productivos. Su rango de aplicación abarca desde un puesto ubicado en una línea de montaje de automóviles hasta el escritorio de una secretaria administrativa².

La 5S es una metodología en pro de la eficacia y la eficiencia de las organizaciones; refiere a la creación y mantenimiento de áreas de trabajo más limpias, más organizadas y seguras, es decir, se trata de imprimirle mayor “calidad de vida” al trabajo³. Es necesario tomar en cuenta que el éxito de dicha metodología depende del personal operativo, es por ello por lo que la disciplina es muy importante hasta lograr que se vuelva un hábito.

La metodología 5S es una herramienta mundialmente conocida, implantada inicialmente en las industrias japonesas, gracias al impacto y cambio que generan tanto en las empresas como en las personas que la desarrollan. Se centra en potenciar el aprendizaje de las personas que trabajan en las organizaciones, gracias a su simplicidad y agilidad por realizar pequeños cambios y mejoras con el fin de experimentar y aprender⁴. Si bien es cierto que es una metodología muy antigua, sigue vigente y no es nada sencilla una implementación bien realizada, los resultados son múltiples: desde una reducción del número de accidentes, almacenes más eficientes en su *picking*, reducción de tiempos de despacho, reducción de tiempos de ubicación de documentos, entre otros.

Cinco eses (5S)

Es una técnica que deriva su nombre de las iniciales de un proceso lógico y por etapas cuyas palabras (en japonés) comienzan todas por la letra ese (S): *seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke*, que significan, respectivamente: 1) eliminar lo innecesario, 2) ordenar (cada cosa en su sitio y un sitio para cada cosa), 3) limpiar e inspeccionar, 4) estandarizar (fijar la norma



de trabajo para respetarla) y, 5) disciplina (construir autodisciplina y forjar el hábito de comprometerse)⁵.

Seiri (o eliminar lo innecesario)

Es la primera “S” que se debe aplicar y consiste, como su traducción bien lo indica, en eliminar aquellos objetos que sean innecesarios y no aporten valor alguno al producto final. Para llevar a cabo dicha tarea se deben clasificar los objetos del espacio de trabajo según su utilización, identificando y separando aquellos que son necesarios de los que no lo son. De este modo, se eliminan objetos innecesarios en el área de trabajo y se controla el flujo de objetos en la zona de trabajo mejorando la capacidad del espacio⁶.

Seiton (u ordenar)

La palabra seiton hace referencia al orden. En este apartado se propone ordenar aquellos elementos necesarios para la realización de las tareas. De este modo, se definen las ubicaciones y se establecen las identificaciones necesarias para cada objeto. Mediante las identificaciones se mejora la búsqueda y retorno de los objetos en el espacio de trabajo, de ese modo cada objeto tiene su sitio y existe un sitio para cada objeto⁶.

Seiso (o limpieza e inspección)

La tercera “S” indica que tras haber eliminado lo innecesario y clasificado aquello que realmente se requiere para las operaciones a realizar, es necesario realizar una limpieza en el área de implantación de las 5S. De este modo se pretende identificar

el defecto y eliminarlo. Así mismo, *seiso* incluye la integración de la limpieza diaria como parte de inspección del puesto de trabajo ante posibles defectos, y da importancia más al origen de la suciedad y defectos encontrados que a sus posibles consecuencias⁶.

Seiketsu (o estandarizar)

Es la “S” mediante la cual se establecen las rutinas necesarias para una correcta implantación de la herramienta en la empresa. Se definen los estándares necesarios para llevar a cabo las tres primeras “S”, de este modo se asegura que las órdenes anteriores se realizan del mejor modo posible⁶.

Shitsuke (o disciplina)

La última de las “S” corresponde a la de disciplina, mediante esta se procura normalizar la aplicación del trabajo y convertir en hábito todos aquellos estándares establecidos en el punto anterior. Junto a dicho término aparecen ligadas las palabras autodisciplina y autocontrol en la nueva cultura adoptada en la pyme, todo ello es con la finalidad de que la herramienta perdure⁶.

Objetivo

Disminuir los tiempos de *picking* mediante la implementación de las 5S para mejorar el manejo de los recursos y reducir el desaprovechamiento de los espacios y almacenaje para incrementar la productividad en el área de preparación de pedidos.



Planteamiento del problema

Durante el proceso de *picking* en el CEDIS el personal pierde tiempo buscando las prendas para realizar las entregas diarias a la o el cliente, debido a la falta de organización y a la deficiente clasificación de la mercancía, además de observarse un notable desorden y escasa limpieza de zonas de paso, almacenaje y distribución.

Método de trabajo

El trabajo se desarrolló en cinco etapas, que se describen a continuación:

Etapa 1. Comité 5S

Se conformó un comité encargado de gestionar la ejecución del Programa 5S; las tareas a realizar se muestran en la Tabla 1 bajo el enfoque de mejora continua del ciclo de Deming.

Tabla 1. Actividades del ciclo PHVA. Adaptada de Álvarez y Paucar (2014)¹

Fase	Tareas a realizar
Planificar	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar actividades de trabajo • Comunicar a las partes involucradas las actividades planificadas
Hacer	<ul style="list-style-type: none"> • Dirigir reuniones del Comité 5S • Planificar los programas de capacitación • Motivación para el trabajo en equipo y fomentar la participación de todo el personal • Realizar y dirigir las actividades de ejecución del programa 5S
Verificar	<ul style="list-style-type: none"> • Dar seguimiento a las actividades de trabajo • Analizar los resultados obtenidos por parte de los indicadores propuestos • Realizar inspecciones y auditorías internas
Actuar	<ul style="list-style-type: none"> • Tomar Acciones correctivas de ser necesarias • Registrar los acontecimientos ocurridos y acciones realizadas • Identificar nuevas oportunidades de mejora



Etapa 2. Difusión de 5S

Consiste en realizar la difusión de la metodología 5S a todo el personal y se asignan responsabilidades:

- **Contador/a:** brindar todos los recursos necesarios para la implementación de este manual.
- **Jefe/a de CEDIS:** encargado/a de transmitir e inspeccionar las actividades 5S al personal de producción.
- **Personal de CEDIS:** implementa las actividades 5S en sus áreas de trabajo.
- **Comité 5S:** dar seguimiento a las actividades 5S, así como aprobarlas y proponer mejoras.

Etapa 3. Planificación de las actividades

Se planifican las actividades a realizar para la implementación de la metodología 5S y se realiza el cronograma que abarca desde la capacitación, formación del comité y hasta el desglose de actividades a realizar en cada "S".

Etapa 4. Capacitación de personal

Se realizan capacitaciones internas con la finalidad de transmitir los conocimientos y bases necesarias sobre las 5S. La idea es concientizar a las y los trabajadores sobre la importancia y beneficios que pueden traer el orden y la limpieza en las áreas de trabajo, así como la responsabilidad y disciplina como nueva cultura en la empresa.

Etapa 5. Evaluaciones

Fue necesario realizar evaluaciones en cada una de las 5S, para ello se realizó una matriz de apoyo para las actividades a realizar en cada una de ellas (Tabla 2), además de que se realizó un *check list* para cada "S" que sirve para realizar la auditoria y poder definir si se pueda avanzar a la siguiente "S" o si las acciones tomadas no fueron eficientes.


Tabla 2. Diagrama de implementación de las 5S. Adaptada de Solís (2017)²

5s	Limpieza	Optimización	Formalización	Perpetuidad
Clasificar	Separa lo que es útil de lo inútil.	Clasificar las cosas útiles.	Revisar y establecer las normas de orden.	Estabilizar
Orden	Tirar lo que es inútil.	Definir la forma de dar un orden a los objetos.	Colocar a la vista las normas definidas.	Mantener
Limpieza	Limpiar las instalaciones.	Localizar los lugares difíciles de limpiar y buscar una solución.	Buscar las causas de suciedad y poner solución a las mismas.	Mejorar
Estandarizar	Eliminar lo que no es higiénico.	Determinar las zonas sucias.	Implantar las ganas de limpieza.	Evaluar (auditoría 5S)

Implementación de 5S

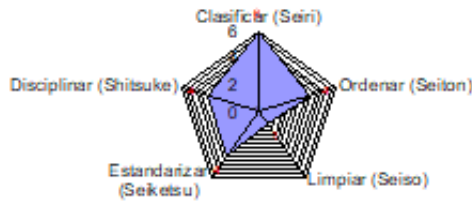
Antes de implementar la metodología 5S se realizó una auditoría en el mes de septiembre de 2019 para conocer cuáles eran las condiciones en las que se encontraba el CEDIS y así poder tomar acciones de mejora, los resultados se muestran en la Figura 1, lo que evidencia lo mal que se encontraba.

5S Formulario de auditoría rutinaria

Fecha auditoría: 04-oct-19

Auditor: equipo 5's

Área auditada: centro de distribución (cedis III)



Salir de la aplicación

Id	5S	Título	Puntos
S1	Clasificar (Seiri)	"Separar lo necesario de lo innecesario"	6
S2	Ordenar (Seiton)	"Un sitio para cada cosa y cada cosa en su sitio"	4
S3	Limpiar (Seiso)	"Limpiar el puesto de trabajo y los equipos y prevenir la suciedad y el desorden"	1
S4	Estandarizar (Seiketsu)	"Formular las normas para la consolidación de las 3 primeras S"	4
S5	Disciplina (Shitsuke)	"Respetar las normas establecidas"	4
Planes de acción		Puntuación 5S	19

Conclusión: **AUDITORÍA RE CHAZADA**

0 0 0 0 0 0

Auditorías Previas

	1	2	3	4	5	6	Objetivo
4/10/19	2	5	8	8	9	9	10
11/10/19	1	3	5	7	6	8	10
18/10/19	0	2	5	5	7	7	10
25/10/19	1	2	2	5	5	7	10
31/10/19	0	1	3	5	5	7	10
8/11/19	4	13	23	30	32	38	50

Figura 1. Primera auditoría 5S. Fuente: Elaboración propia

Primera "S": Seiri (clasificación)

Los criterios para clasificar y evaluar los elementos son:

- Mantener lo necesario en las áreas de mejora
- Identificar la situación real de los elementos que están presentes en un área
- Relevancia y conveniencia de objetos
- Periodicidad de uso
- Cantidad

La herramienta que se diseñó fue una tarjeta roja que va a permitir identificar los elementos innecesarios de los necesarios, para así decidir qué se hace con ellos (Figura 2).



TARJETA ROJA 5'S		No.
Fecha:		
Responsable:		
Vigencia:		
Área/depto:		
Descripción de artículo:		
CATEGORÍA		
	Máquina/equipo	Trabajo en proceso
	Herramienta	Producto terminado
	Instrumento	Otros
	Partes mecánicas	Especifique
RAZÓN DE TARJETA		
	Innecesarios	Otros
	Defectuoso	Especifique
	Fuera de especificación	
ACCIÓN REQUERIDA		
	Eliminar	Reubicar
	Donar a otra área	Reciclar
	Arreglar	Otros
		Especifique

Figura 2. Tarjeta roja. Adaptada de Álvarez y Paucar (2014)¹

Para ello se procedió a identificar los elementos necesarios e innecesarios por personas con experiencia en los procesos de la empresa, como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Elementos necesarios e innecesarios. Fuente: elaboración propia

Una vez identificados los elementos innecesarios, se les coloca la tarjeta roja en un lugar visible y se asegura que se desprenda fácilmente. Se coloca una tarjeta por artículo o por grupo de ellos (Figura 4).



Figura 4. Aplicación de tarjetas rojas. Fuente: elaboración propia

Todo lo que se realiza debe documentarse, cada departamento o área de trabajo elabora y registra el listado de los elementos innecesarios identificados. Estos son trasladados temporalmente a un espacio asignado, denominado “Bodega de Seiri” (Figura 5), el cual tiene como fin crear una bodega temporal, donde se retiene los elementos innecesarios, mientras no se lleve a cabo la decisión final.



Figura 5. Bodega Seiri. Fuente: elaboración propia

La Alta Dirección o el personal designado debe evaluar las acciones sugeridas en el informe de notificación de desecho (Figura 6), para tomar una decisión final que se fundamente en la información que proporcione el encargado de área o departamento. Las decisiones finales son: vender, donar, transferir a otro sitio, reubicar, reutiliza, reparar o eliminar.

Área ó departamento					Fecha	
Responsable						
Nombre de elemento	Cantidad	Estado	Ubicación	Motivo del retiro	Acción sugerida	Decisión final

Figura 6. Informe de notificación de desecho (Álvarez y Paucar, 2014)¹

En la segunda auditoría realizada en el mes de octubre de 2019 se observó un cambio dentro del CEDIS y se puede observar en la gráfica de la Figura 7 que los resultados mejoraron y de forma indirecta impacta en otras “S”, esto refleja que las acciones tomadas para la primera “S” tuvieron un impacto positivo dentro del CEDIS, agilizando el proceso de *picking*.

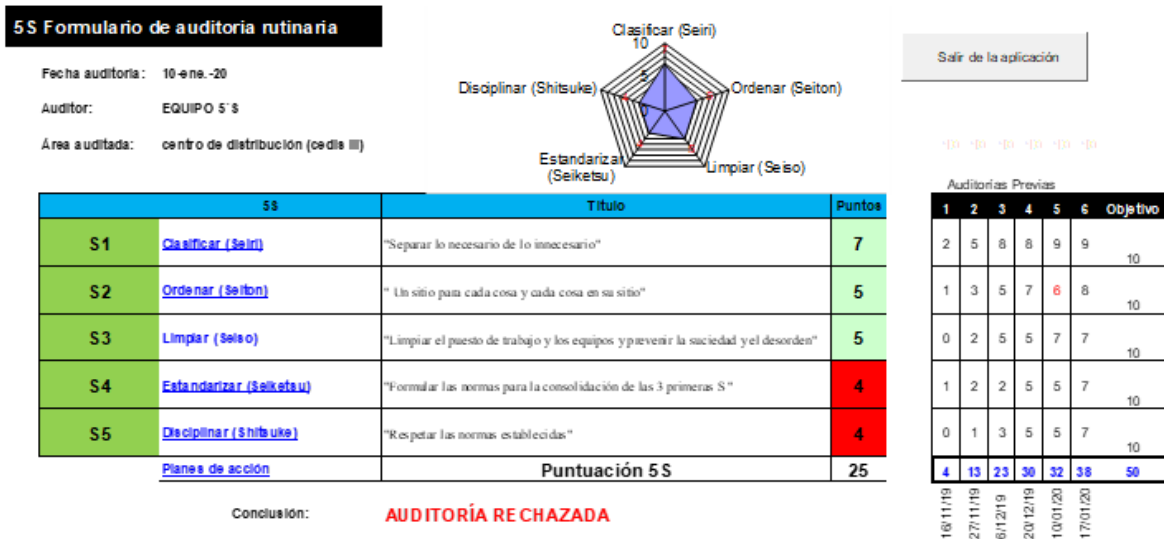


Figura 7. Segunda auditoria 5S. Fuente: elaboración propia



Segunda “S”: *Seiton* (organización)

Una vez que se termina la etapa de “clasificación”, el resultado es espacio físico liberado, se buscan zonas disponibles, las cuales tienen como finalidad ubicar y/o acomodar de manera adecuada y efectiva elementos útiles, se debe tener como base lo siguiente:

- Disponibilidad de espacio físico
- Reiterado uso, relevancia, utilidad y cantidad
- Fácil acceso y retorno a su lugar correspondiente
- Mismo lugar para elementos destinados para actividades específicas o consecutivas

La ubicación de un elemento en el lugar que no le corresponde genera errores que incidirán negativamente en la realización del trabajo.

Para decidir la forma de colocación se describe lo siguiente:

- Precisar la forma práctica y funcional.
- Describir con precisión el nombre, además es importante tener cuidado los objetos similares, del mismo modo con los códigos y figuras, para evitar errores futuros.
- Hacer uso del método de inventario que más convenga.
- Es importante colocar los elementos de acuerdo con criterios de seguridad y eficiencia.
- Localizar los elementos según su utilidad, ya sea en procesos similares o específicos.

La rotulación es una herramienta visual que ayuda a identificar un lugar donde se colocan una variedad de elementos y se localizan las áreas de trabajo, esto ayuda a disminuir el tiempo en la búsqueda cuando se requiera un elemento. El diseño debe ser entendible y visible (Figura 8).



Figura 8. Áreas de trabajo antes y después. Fuente: elaboración propia

Se hizo una identificación por colorimetría para cada área y realizar el picking con mayor rapidez al encontrar lo que se desea en menor tiempo, para ello los rótulos fueron con colores llamativos, como se observa en la Figura 9.



Figura 9. Identificación por colorimetría



En la tercera auditoría, realizada en noviembre de 2019, cuyos resultados se muestran en la Figura 10, se sigue evidenciando una mejora en el CEDIS y dando fe de que las acciones tomadas para la segunda “S” fueron las adecuadas.

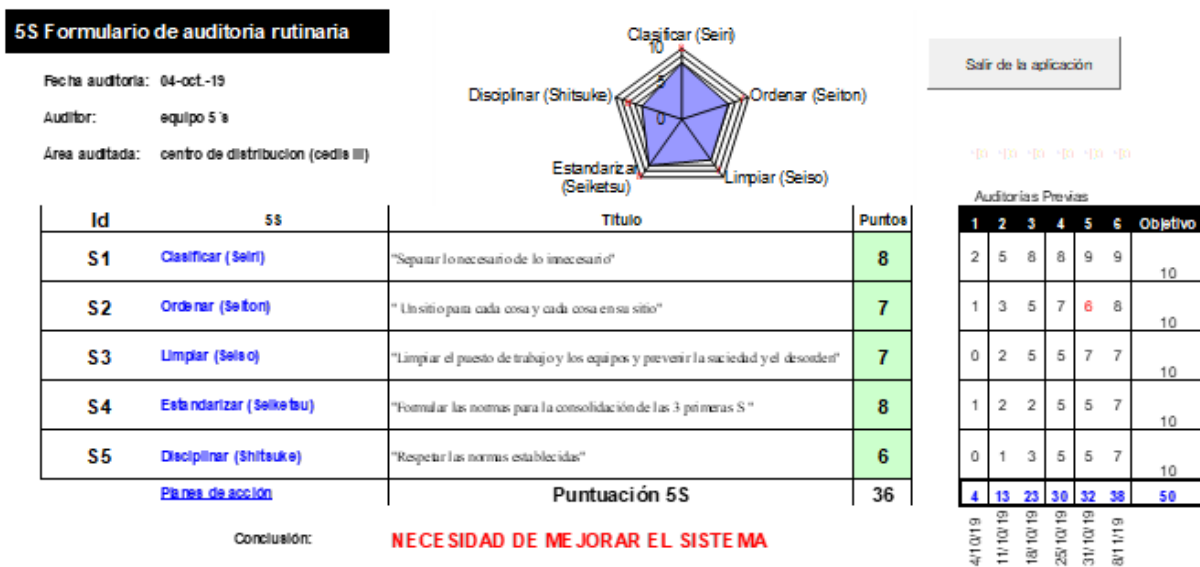


Figura 10. Tercera auditoría. Fuente: elaboración propia

Tercera “S”: Seiso (limpiar)

Seiso busca mejorar el aspecto físico, del mismo modo tiene como objetivo evitar pérdidas y accidentes causados por la suciedad, porque desaniman a las y los trabajadores y generan una mala percepción ante los visitantes.

La aplicación de limpieza debe de accionar sobre lo siguiente:

- Áreas físicas: pisos, paredes, ventanas, áreas verdes, alrededores y otros.
- Elementos de trabajo: herramientas, mobiliario, inventarios, etc.
- Máquinas y equipos.

El responsable de mantener impecable las áreas de trabajo es el mismo personal, ya que ellas y ellos son responsables de los instrumentos, herramientas, equipos y otros elementos que son usados con frecuencia.

Las responsabilidades se pueden definir de acuerdo con el:

- Plano de asignación de áreas.
- Plan semanal o mensual de limpieza: con especificaciones de qué, cuándo, dónde y quiénes.

La limpieza debe ser una actividad rutinaria, la cual tiene que estar supervisada constantemente para asegurar el buen funcionamiento de maquinarias, herramientas; adicionalmente para mantener ambientes de trabajos agradables, se puede desarrollar de la siguiente manera para tener los resultados que se observan en la Figura 11:

- Contar con artículos de limpieza y en cantidades suficientes.
- Realizar un formato de verificación de limpieza, además de ello incluir un formato de mantenimiento de la maquinaria, herramientas, instrumentos y elementos críticos que requieren de una verificación periódica de su estado.



Figura 11. Áreas de trabajo limpias. Fuente: elaboración propia

Cuarta “S”: *Seiketsu* (estandarizar)

El objetivo de esta “S” es mantener y mejorar de manera continua las primeras 3S, de modo que estas mejoras se conviertan en hábitos y responsabilidades del personal y se tenga un ambiente ideal para trabajar.

Se deben desarrollar de manera continua, actividades que mantengan lo realizado por las tres primeras:

- **Seiri**: procurar en todo momento retirar cualquier elemento innecesario para la actividad de trabajo, así este no se encuentre identificado en las tarjetas rojas.
- **Seiton**: asignar un lugar a cada elemento, codificación e identificación de modo que



se facilite su localización e inventario.

- **Seiso:** limpiar frecuentemente las fuentes de contaminación y suciedad del área, con la finalidad de reducir los tiempos de limpieza.

La verificación de cumplimiento de las primeras 3S se realizarán periódicamente con el *check list* que se muestra en la Tabla 3.

Evaluación	Criterio	Calificación (0-3)
Seiri	¿Existen objetos innecesarios en el área y centros de trabajo?	
Seiton	¿El área de trabajo está organizada y ordenada?	
Seiso	¿El área de trabajo, elementos, maquinaria, etc., se encuentran limpias?	
Puntaje total		
Clasificación Puntaje total obtenido		
0-2	Deficiente	
3-5	Regular	
6-7	Bueno	
8-9	Excelente	
Donde: 0 significa Deficiente y 3 Excelente.		

El Comité 5S debe incentivar y fomentar en su personal que proponga ideas y mejoras para el área y centro de trabajo. Esto se realiza mediante sugerencias o reuniones. Dichas propuestas deberán ser evaluadas posteriormente por el Comité 5S.

En la cuarta y última auditoria aplicada en diciembre de 2019 los resultados fueron más concretos (Figura 12) y se vio un gran cambio en el CEDIS, a partir de esta última auditoria se continuó dando seguimiento para mantener las 3S anteriores.

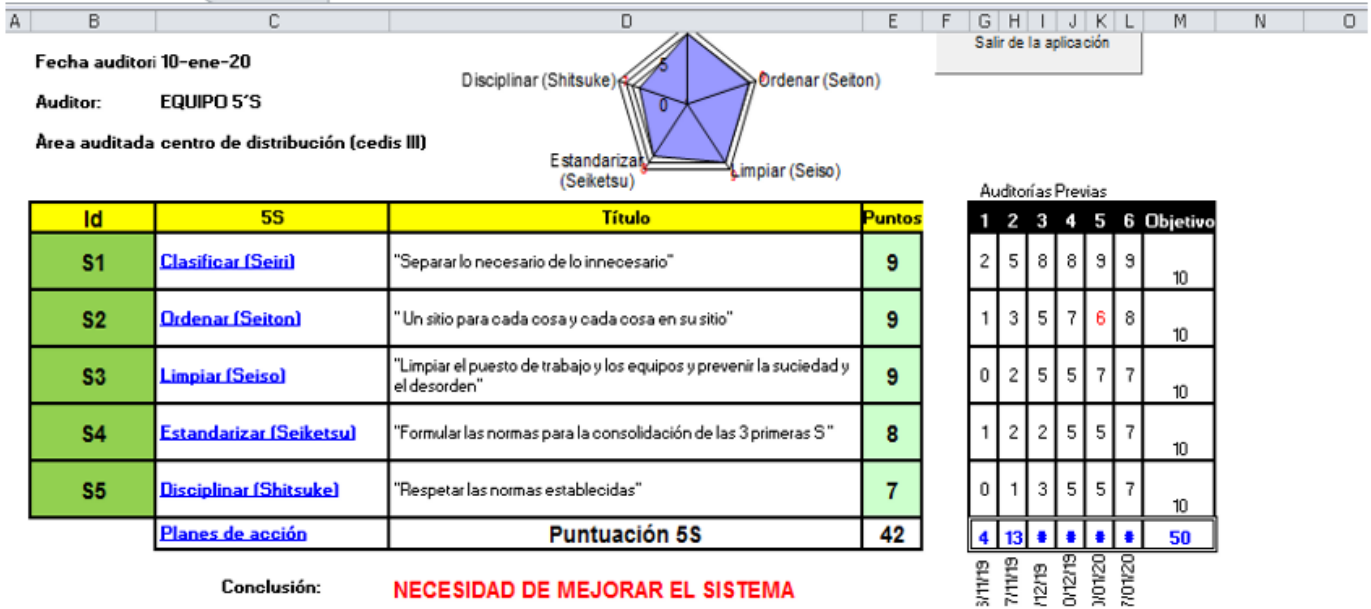


Figura 12. Cuarta auditoria. Fuente: elaboración propia

Quinta "S": Shitsuke (disciplina)

Esta etapa es de vital importancia puesto que se refiere al compromiso, responsabilidad, disposición y disciplina del personal para realizar las labores 5S.

La autodisciplina y el sentido de responsabilidad del personal pueden propiciarse mediante los siguientes pasos:

- **Realizar actividades que fomenten la participación del personal**
 - Fortalecer la comunicación y coordinación interna.
 - Discutir de manera abierta las decisiones a tomar.
 - Coordinar medidas de mejora con el Comité 5S.
 - Capacitar constantemente.
- **Establecer situaciones que requieran disciplina**
 - Puntualidad.
 - Dejar los elementos de trabajo en su sitio original luego de haber sido usados.
 - Limpiar y ordenar luego de terminar de trabajar.
 - Usar los implementos de seguridad.
 - Respetar las normas y políticas de la empresa.



Resultados y análisis de datos

Una vez que se implementaron las 5S y las auditorias fueron satisfactorias en cada una de las "S", se procedió a validar qué tan efectivas habían sido las acciones tomadas en el proceso de *picking*, para ello se comparó el proceso de los pantalones, ya que es uno de los productos con mayor rotación; los resultados obtenidos se muestran en la Figura 13.

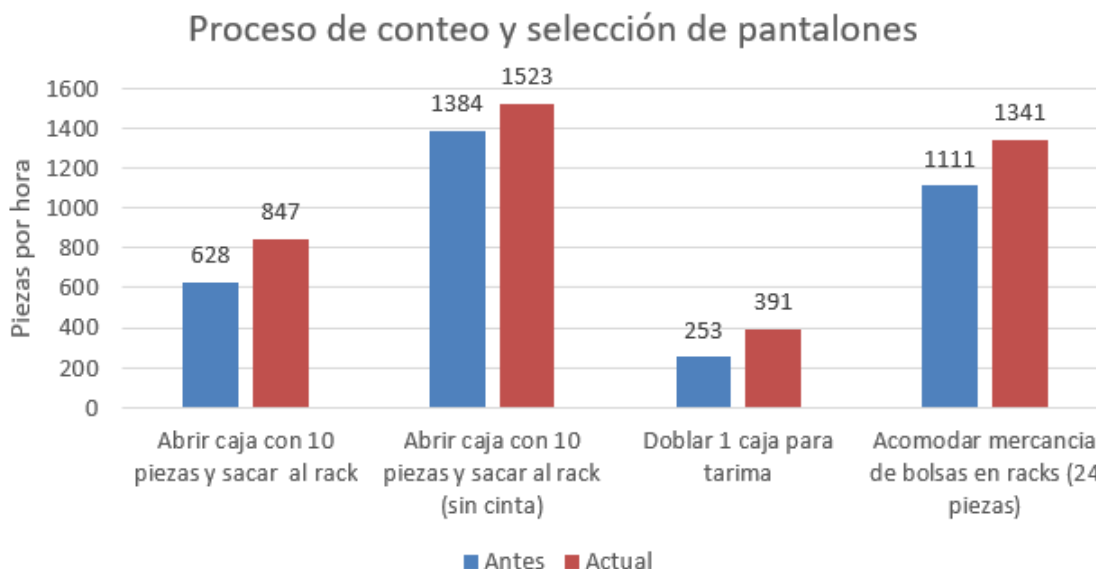


Figura 13. Picking de pantalones. Fuente: elaboración propia

La gráfica permite ver incrementos de hasta 219 paquetes de 10 pantalones cada uno y 230 bolsas de 24 pantalones, todo ello debido a la aplicación de las 5S y a la redistribución que sufrió el CEDIS para una rápida identificación de la mercancía: en porcentaje representan desde un 10 % hasta un 54 %.

Discusión

Se tiene la idea de que la metodología 5S solamente es limpieza y estética, es muy complicado romper con ese paradigma y con la cultura de las personas, ya que son ellas las que realizan las acciones y de ellas depende el éxito de dicha metodología, los resultados que se obtienen con una buena implementación va más allá de eso, como mejorar la gestión del almacén en una distribuidora, mejorar el tiempo de atención al cliente, reducir la ubicación de documentos en el área de aseguramiento y control de calidad de una entidad bancaria, incrementar la productividad en una planta embotelladora de agua, mejora en una línea de producción de panes de molde, para mejorar la gestión



de materiales remanentes de campo en una consultora ambiental, entre otros tantos beneficios.

La realidad es que una adecuada aplicación de la metodología 5S lleva bastante tiempo si se quieren obtener resultados permanentes y no solo momentáneos, tiene que existir un cambio en la cultura del personal para lograr la disciplina con una tendencia hacia la mejora continua.

Conclusiones

Con la implementación de la metodología 5S no solo se mejora el tiempo de *picking*, también:

- Se redujo el tiempo en la búsqueda de mercancía al tener ubicaciones específicas e identificables.
- Se disminuyó el tiempo de preparación de pedidos al contar con un eficiente control y ordenamiento de la mercancía.
- Se tiene mayor espacio libre para la circulación y acomodo de mercancía.
- Se mejora el ambiente laboral y la seguridad para todo el personal.
- Se trabaja en equipo y la comunicación se mejora en todos los niveles del CEDIS.
- Hay una organización más eficiente de los elementos necesarios para las actividades diarias y se incrementa la productividad.



Referencias

1. **ÁLVAREZ Velezmoro, Manuel Alberto y PAUCAR Poma, Paúl Róger.** Desarrollo e implementación de la metodología de mejora continua en una mype metalmeccánica para mejorar la productividad. [En línea]. Diciembre de 2014. [Fecha de consulta: 20 de marzo de 2021]. Disponible en <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/337910>
2. **SOLÍS Mancera, Alexander José.** Diseño e implementación de un programa de 5S en la estación FENOCO S.A. con sede en Fundación-Magdalena. [En línea]. Noviembre de 2017. [Fecha de consulta: 27 de marzo de 2021]. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/270124915.pdf>
3. **DIAZ ROSELLO, J.A.** *Sistema CAD para el diseño de brochas para hacer estrías a compresión.* [Tesis de grado]. Holguín, Cuba. Universidad de Holguín. 1996. Pág. 6.
4. **MCGRAW-HILL ESPAÑA.** *El almacén en la cadena de logística.* [En línea] 15 de abril de 2011. [Fecha de consulta: 27 de marzo de 2021]. Disponible en <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448199278.pdf>
5. **PÉREZ Sierra, Valeria y QUINTERO Beltrán, Lewis Charles.** Metodología dinámica para la implementación de 5's en el área de producción de las organizaciones. *Revista Ciencias Estratégicas.* Vol. 25 (38): pp. 411-423. Julio-diciembre, 2017. ISSN 1794-8347.
6. **ORIZANO Acuña, V. et al.** Instauración de la metodología 5S en una microempresa agroindustrial. *Journal of Agro-Industry Sciences.* Vol. 4 (1). 2019. ISSN 2707-7373.
7. **PIÑERO, E. Alexander; VIVAS, F. Esperanza y FLORES, L. Kaviria.** Programa 5S´s para el mejoramiento continuo de la calidad y la productividad en los puestos de trabajo. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias,* Vol. VI (11), número 20: pp. 99-110. 2018, ISSN 1856-8327.
8. **CARRILLO LANDAZÁBAL, Martha Sofía, et al.** Lean manufacturing: 5 s y TPM, herramientas de mejora de la calidad. Caso empresa metalmeccánica en Cartagena, Colombia. *Revista Signos. Investigación en Sistemas de Gestión.* Vol 11 (1): pp. 71-86. 2021. ISSN 2145-1389.
9. **NAVA Martínez, Irais, et al.** Metodología de la aplicación 5'S. *Revista de Investigaciones Sociales.* Vol 3 (8): pp. 29-41. Junio de 2017. ISSN 2414-4835.
10. **MANZANO Ramírez, María y GISBERT Soler, Víctor.** Lean Manufacturing: Implantación 5S. *3C Tecnología.* Vol. 5 (4). Marzo 2017. ISSN 2254 – 4143.

Fecha de recepción	Fecha de aceptación	Fecha de publicación
06/07/2021	03/05/2022	30/09/2022

La Revista Reacción actúa como mero difusor, por lo que el contenido y opiniones del artículo son responsabilidad exclusiva de los autores y autoras, y no representan la opinión oficial de la Revista Reacción, ni de la Universidad Tecnológica de León.

La revista adquiere los derechos patrimoniales de los artículos solo para difusión sin ningún fin de lucro. Las personas que utilicen la información contenida en la revista para su difusión están obligadas a referenciar la revista como fuente de información.

REA>XION

Ciencia y tecnología universitaria

10 AÑOS

latindex

Google Académico



Actualidad Iberoamericana
Indice Internacional de Revistas

PERIÓDICA
Indice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias

