

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**“IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO LMS EN PLC PARA
LA ATENUACIÓN DE RUIDO ELÉCTRICO EN SEÑALES
ANALÓGICAS”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MODELADO E IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS DE
CONTROL**

AUTORES:

Br. Gastañaduí Cabos, Jimmy Alfredo

Br. Sánchez Rosales, Yonel Eduardo

ASESOR:

Ing. Saúl Noé Linares Vértiz

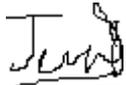
Trujillo – Perú

2020

Fecha de Sustentación: 26/06/2020

“IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO LMS EN PLC PARA LA ATENUACIÓN DE
RUIDO ELÉCTRICO EN SEÑALES ANALÓGICAS”

Elaborado Por:



Br. Gastañadú Cabos, Jimmy Alfredo



Br. Sánchez Rosales, Yonel Eduardo

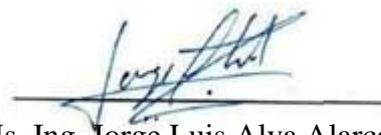
Aprobado por:



Ing. Luis Alberto Vargas Díaz
PRESIDENTE
CIP N° 104175



Ing. Lenin Humberto Llanos León
SECRETARIO
CIP N° 139213



Ms. Ing. Jorge Luis Alva Alarcón
VOCAL
CIP N° 214251



Ing. Saúl Noé Linares Vértiz
ASESOR
CIP N° 142213

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego y el Reglamento Interno de la Carrera Profesional de Ingeniería Electrónica para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, se pone a vuestra disposición el presente trabajo de tesis titulado: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO LMS EN PLC PARA LA ATENUACIÓN DE RUIDO ELÉCTRICO EN SEÑALES ANALÓGICAS”**.

Este trabajo, es el resultado de la aplicación de los conocimientos adquiridos en la formación profesional en la universidad, excusando anticipadamente de los posibles errores involuntarios cometidos en su desarrollo.

Trujillo, 10 Junio del 2020.

Br. Gastañadú Cabos, Jimmy Alfredo

Br. Sánchez Rosales, Yonel Eduardo

DEDICATORIA

Inicio agradeciendo a Dios, por permitirme continuar desarrollándome humana y profesionalmente.

Mi tesis la dedico con todo mi amor a mi madre Rosa del Corazón de María Rosales Farro, por su esfuerzo y dedicación por darme una carrera, motivarme a seguir adelante, confiar en mi capacidad y estar siempre a mi lado.

A mi papá Santos Rosales Cornelio, gracias por tus enseñanzas eres mi ejemplo a seguir, que ha trabajado duro para darle lo mejor a su familia.

A mi tía María Emilia Rosales, que durante mi formación profesional me aconsejaba y continúa haciéndolo para ser mejor cada día.

A mis queridos hermanos Víctor y Armando, por su apoyo durante el camino de mi formación profesional para alcanzar mis metas, sus consejos y buenos deseos.

De manera muy especial dedico esta tesis a mi mamá Teresa Farro, no va haber manera de devolverte todo lo que me has dado desde pequeño, y todo lo que vengo logrando gran parte es gracias a ti, donde te encuentres sé que estas feliz por este logro, gracias por todo tu amor.

Yonel.

Este trabajo es un logro más para mi vida, gracias a mis padres Juan José Gastañadú Rodríguez y Emma Victoria Cabos Castillo por el apoyo, cariño y comprensión que desde niño me han brindado, por guiarme por el buen camino de la vida y siempre estar al pendiente de este servidor, gracias por estar en los buenos y malos momentos, porque desde pequeño han sido para mí personas que, por su forma de luchar en la vida, siempre admiraré.

A mi único hermano José Antonio Gastañadú Cabos, por el apoyo brindado durante mi formación profesional, me siento afortunado de tenerlo a mi lado para luchar por un mejor futuro.

A mi abuela Emma Rosario Castillo, quien desde pequeño siempre me ha brindado mucho amor y comprensión, es alguien muy importante que siempre llevo en mi corazón.

A mis amigos y familiares, quienes siempre me han apoyado y nunca me dieron la espalda, gracias por seguir compartiendo conmigo muchos momentos de alegría y felicidad.

Esta tesis en mi vida es un ejemplo de superación del cual me siento orgulloso, porque me dio a entender que jamás te puedes rendir en ninguna circunstancia y que se puede salir adelante a pesar de todas las adversidades que se crucen en el camino.

Este triunfo no es sólo mío, es de ustedes también.

Con amor, admiración y respeto.

Jimmy.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que con su infinito amor nos da la vida, salud, fuerzas y empuje para lograr nuestras metas.

A nuestros padres que nos durante toda nuestra formación en la universidad nos brindaron su total apoyo en forma incondicional.

A nuestra casa de estudios, la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo, por la formación que hemos recibido por parte de la plana docente de ingenieros y demás catedráticos de la escuela de Ingeniería Electrónica, que es la razón por la cual nos ha permitido realizar esta tesis.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito implementar un algoritmo LMS en PLC para la atenuación de ruido eléctrico en señales analógicas. Debido a que en la industria las señales provenientes de sensores están susceptibles al ruido, en especial al de corriente alterna cuya frecuencia es de 60 Hz, y para cual muchos PLCs en el proceso de lectura no disponen de algún filtro, y pueden ocasionar serios problemas en los casos que estas señales son de vital importancia para el control del proceso donde interviene, es por eso que se vio en la necesidad de implementar un algoritmo LMS, para atenuar este ruido presente en señales analógicas.

En el presente trabajo de implementación se desarrolla un algoritmo, su implementación y se hacen las simulaciones y pruebas necesarias para validar el desarrollo.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to implement an LMS algorithm in PLC for the attenuation of electrical noise in analog signals. Because in the industry the signals from sensors are susceptible to noise, especially that of alternating current whose frequency is 60 Hz, and for which many PLCs in the reading process do not have a filter, and can cause serious problems in the cases that these signals are of vital importance for the control of the process where it intervenes, that is why it was seen in the need to implement an LMS algorithm, to attenuate this noise present in analog signals.

In the present implementation work an algorithm is developed, its implementation and the necessary simulations and tests are made to validate the development.

Contenido

1. EL PROBLEMA.....	2
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Definición del problema.....	4
1.3. Formulación del problema:	4
1.4. Hipótesis.....	4
1.5. Objetivos de la investigación	4
1.6. Justificación de la investigación.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.2. Bases teóricas	9
2.2.1. Filtros adaptativos	9
2.2.2. Estructuras de los filtros lineales.....	10
2.2.3. Aplicaciones	12
2.2.4. Cancelador adaptativo de ruido	16
2.2.5. Distorsión armónica total (THD%)	19
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	21
3.1. Material	21
3.1.1. Población	21
3.1.2. Muestra	21
3.2. Métodos.....	21
3.2.1. Nivel de investigación	21
3.2.2. Diseño de investigación.....	21
3.2.3. Variables de estudio.....	21
3.2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	23
4. RESULTADOS.....	44
5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	48
6. CONCLUSIONES	50
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

Índice de Figuras

Figura 1. Filtro pasa bajos de 4to orden	3
Figura 2. Estructura de un filtro digital.	11
Figura 3. Diversas configuraciones de los filtros adaptativos	13
Figura 4. Filtro LMS como cancelador de ruido adaptativo.....	16
Figura 5. Circuito contaminador de ruido.	23
Figura 6. Direcciones y rangos de las entradas y salidas analógicas, tipo de medición y Filtrado usando Tia Portal V15.	25
Figura 7. Adecuación de la salida usando bloques de normalización y escalamiento. ...	25
Figura 8. Adecuación canal de entrada IW64 ,	26
Figura 9. Adecuación del canal de entrada IW66.....	26
Figura 10. Configuración del tiempo de interrupción para el filtro a 12 ms.	26
Figura 11. Actualización de las muestras del ruido y de los coeficientes del filtro.	27
Figura 12. Cálculo de la salida de filtro y coeficientes.	28
Figura 13. Variables temporales declaradas en el bloque Cyclic interrupt.	28
Figura 14. Respuesta en el tiempo del filtro.....	29
Figura 15. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.....	29
Figura 16. Respuesta en el tiempo del filtro.....	30
Figura 17. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.....	31
Figura 18. Respuesta en el tiempo del filtro.....	32
Figura 19. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.....	32
Figura 20. Respuesta en el tiempo del filtro.....	33
Figura 21. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.....	33
Figura 22. Respuesta en el tiempo del filtro.....	34
Figura 23. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.....	34
Figura 24. Respuesta en el tiempo del filtro.....	35
Figura 25 . Respuesta en el tiempo del filtro en el Osciloscopio Gwinstek.....	35
Figura 26. Respuesta en el tiempo del filtro.....	36
Figura 27. Respuesta en el tiempo del filtro en osciloscopio Gwinstek.....	36
Figura 28. Respuesta en el tiempo del filtro.....	37
Figura 29. Respuesta en el tiempo del filtro en osciloscopio Gwinstek.....	37
Figura 30. Respuesta en el tiempo del filtro.....	38

Figura 31. Respuesta en el tiempo del filtro en osciloscopio Gwinstek.....	38
Figura 32. Respuesta en el tiempo del filtro.....	39
Figura 33. Respuesta en el tiempo del filtro en osciloscopio Gwinstek.....	39
Figura 34. Comportamiento de W_i en función de U	40
Figura 35. Tiempo de adaptación versus el factor de convergencia.....	41
Figura 36. Relación señal a ruido versus “U”.	41
Figura 37. Distorsión armónica para diferentes valores del factor de convergencia.....	42
Figura 38. Programa del Algoritmo LMS implementado en SCL.	44
Figura 39. Bloque de normalización y escalamiento de las entradas y salidas análogas.	44
Figura 40. Pantalla HMI de visualización de la respuesta del filtro.....	45
Figura 41. Pantalla auxiliar para visualizar y cargar los coeficientes del algoritmo LMS.	45

Índice de Tablas

Tabla 1. Configuración básica de los filtros adaptativos.....	15
Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente.	22
Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente.	22
Tabla 4. Presentación de los valores de THD%, señal deseada VD y ruido VR.....	46
Tabla 5. Presentación del tiempo de adaptación y el error y el factor “U”.	46
Tabla 6. Presentación de los pesos W_i en función de “U”.	46

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Los filtros que generalmente se utilizan son aquellos que están formados por amplificadores operacionales, los que permiten la atenuación de las señales que se encuentran dentro de un cierto rango de valores como por ejemplo frecuencias mayores que una denominada frecuencia de corte a ello se le denomina filtro pasa bajos, de igual manera si es que se quiere atenuar bajas frecuencias ello nos llevaría a implementar un filtro pasa altos, o también si es que se requiere dejar pasar señales que se encuentran dentro de un cierto rango de frecuencias se implementaría un filtro pasa banda que tenga características especiales como frecuencia de resonancia, ancho de banda y factor de calidad, todo esto nos lleva a seleccionar un filtro para un propósito específico en el que se requiere atenuar una señal y potenciar el complemento de esta.

En un ambiente real las señales no suelen presentarse solas, por el contrario, están acompañadas de ruido (señal no deseada), cuando este ruido tiene un espectro conocido y no varía en el tiempo es posible implementar un filtro analógico con el afán de atenuar este ruido, de igual manera se puede implementar un filtro digital, la ventaja de este frente al analógico es que su hardware es mínimo y la desventaja es la velocidad que debe de tener el sistema de muestreo para poder filtrar la señal deseada. Pero en ambos casos, sea analógico o digital el ruido o señal a atenuar debe ser de frecuencia no variable en el tiempo.

Existen señales que están siempre con ruido proveniente del entorno, pero este no tiene una frecuencia fija, ella cambia y puede estar en valores menores a la señal deseada o a valores superiores a la señal deseada y en algunos casos esta frecuencia se mueve en los rangos descritos anteriormente. Esto hace que el filtrado de la señal sea casi imposible de realizar con filtros analógicos clásicos, debido a su elevado orden y complejidad circuital como en la Figura 1.

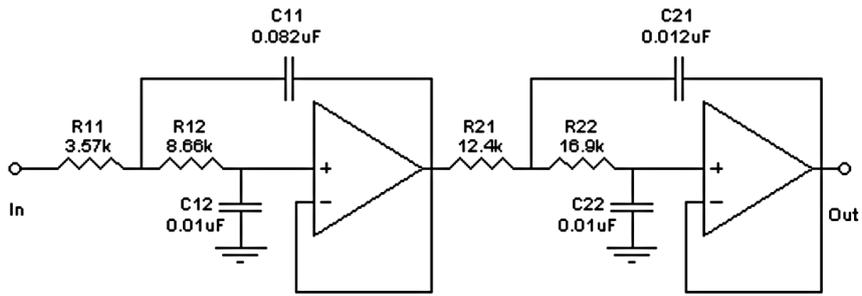


Figura 1. Filtro pasa bajos de 4to orden
Fuente: Autoría propia

Según SKOOG. (1998, p. 104) existe ruido instrumental y este es inherente a cada parte del instrumento y este ruido se incrementa en cascada, propagándose desde la entrada hasta la salida del instrumento, además este ruido puede provenir de múltiples orígenes por lo que es muy difícil caracterizarla por completo.

Se pueden reconocer ciertos tipos de ruido:

- (1) ruido térmico o Jonson.
- (2) ruido de disparo.
- (3) ruido de parpadeo o $1/f$.
- (4) ruido ambiental.

De los ruidos antes mencionados el más común es el ruido ambiental; se produce a causa de que cada conductor de un instrumento es una antena potencial capaz de captar radiación electromagnética y convertirla en una señal eléctrica. En el entorno existen numerosas fuentes de radiación electromagnética tales como líneas de alimentación de corriente alterna, emisoras de radio y de televisión, sistemas de encendido de los motores de gasolina, conmutadores de arco eléctrico, escobillas de motores eléctricos, alumbrado y perturbaciones ionosféricas.

Las señales analógicas que son captadas por un PLC, tanto en corriente como en voltaje no están ajenas al ruido que proviene del entorno, ya estas se encuentran inmersas en un ambiente repleto de fuentes de ruido provenientes de diferentes equipos como motores, arrancadores de estado sólido, transformadores, etc.

Tomar acciones de control sobre una variable con ruidos extremos, es realizar un trabajo infructuoso, ya que esta no reflejaría el verdadero valor de la misma, logrando de esta manera que nunca se llegue a realizar un control efectivo de la misma.

Los controladores de campo y PLCs no cuentan con sistemas de filtrado en su repertorio, por ello al momento de tener señales ruidosas optan por utilizar acciones externas al controlador para minimizar el ruido como, por ejemplo, utilizan un cable que tenga apantallamiento para minimizar la interferencia electromagnética, implementan filtros pasa bajos usando resistencias y capacitores los que son difíciles de calcular inclusive para el experto. Pero a pesar de todos estos intentos no se logra un buen resultado.

1.2. Definición del problema

El ruido eléctrico en el ambiente industrial es crítico para los controladores lógicos programables PLC, que no tienen bloques implementados que filtren de ruido al captar señales analógicas.

1.3. Formulación del problema:

¿Cómo atenuar el ruido eléctrico en la adquisición de señales analógicas por un PLC?

1.4. Hipótesis

La implementación de un algoritmo LMS en un controlador lógico programable reduce el ruido en la captación de señales analógicas conociendo la fuente de ruido.

1.5. Objetivos de la investigación

General

Implementar un filtro LMS para la atenuación de ruidos con fuente conocida en señales analógicas captadas por un PLC.

Específicos

- Implementar el algoritmo LMS en el PLC.
- Determinar el grado de atenuación del ruido en las señales captadas.
- Calcular el tiempo de adaptabilidad.

1.6. Justificación de la investigación

Al poder implementar bloques que permitan reducir la señal de ruido inducida en la señal analógica permitirá una mejor visualización y control sobre las variables captadas por el Controlador Lógico Programable.

Permite la incorporación de algoritmos LMS al filtrado de señales en los PLC de manera sencilla.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

- **AVALOS O. (2008)** en su tesis “**ALGORITMO LMS CON ERROR CODIFICADO USANDO UN DSP**”, se propuso realizar diversas aplicaciones de filtrado adaptativo en tiempo real usando algoritmos LMS y ECLMS, con el objetivo de comparar la velocidad de procesamiento y convergencia. En él se determinó que el algoritmo LMS tenía el menor tiempo de procesamiento, lo que nos permite identificar los parámetros importantes.

- **ZELAYA W. (2004)** en su tesis “**DISEÑO DE UN FILTRO DIGITAL ADAPTATIVO COMO CANCELADOR DE RUIDO BASADO EN EL ALGORITMO LMS**”, se propuso estudiar las propiedades del algoritmo LMS para la cancelación de ruido e implementó su algoritmo en el software MatLab. Al cual le inyectó ruido blanco para poder comprobar la cancelación del ruido, luego esta fue implementada en DSP56L811EVM, esto nos permitirá estimar los tiempos de convergencia y adaptabilidad del algoritmo LMS.

- **SIMON G.(2004)** en su tesis “**FILTRO ADAPTIVO LMS Y SU APLICACIÓN EN EL RECONOCIMIENTO DE PALABRAS AISLADAS PARA EL CONTROL DE UN EQUIPO DE SONIDO POR MEDIO DE LA VOZ**” , se propuso realizar un filtro adaptativo usando MatLab y 2 micrófonos uno para captar la señal de voz y otro para la captación de la señal no deseada, esto nos permite estimar el nivel de atenuación que tiene el filtro adaptativo con respecto a la señal no deseada.

- **FERREL M. (2008)** en su tesis “**FILTRADO ADAPTATIVO MULTICANAL PARA CONTROL LOCAL DE CAMPO SONORO BASADO EN ALGORITMOS DE PROYECCIÓN AFÍN**”, esta tesis

doctoral está centrada en el desarrollo e implementación de algoritmos eficientes multicanal, basados en el algoritmo de proyección afín, aplicados al control activo de ruido. Para abordar esta cuestión primeramente se estudian diferentes algoritmos eficientes de proyección afín que fueron analizados y validados mediante simulación, finalizando con la implementación, en un recinto, de un sistema real de control activo de ruido multicanal ejecutado en un DSP controlado por dichos algoritmos.

- **VELEZMORO J. KAHN A.** en su tesis “**IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO PARA LA ELIMINACIÓN DE RUIDOS ELÉCTRICOS DE BAJA FRECUENCIA EN LA TOMA DE DATOS ANALÓGICOS PARA CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES**”, realizaron la implementación de un filtro pasa bajos en un controlador S7-1200 mediante ecuaciones en diferencias para la eliminación de ruidos de baja frecuencia., esto nos permite incorporar el algoritmo LMS en el controlador como una ecuación en diferencia.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Filtros adaptativos

Los filtros Wiener están basados en la información estadística de los datos para procesarlos. Es posible implementarlos cuando las características de los datos de entrada son conocidos previamente, si esta información no es conocida en totalidad, no será posible su diseño en forma óptima. Esto se puede solucionar si se realiza un proceso de “estimación y actualización”. Este proceso se lleva a cabo en dos etapas por las cuales el filtro, inicialmente “estima” los parámetros estadísticos de la señal y entonces “actualiza” los resultados obtenidos en la fórmula no recursiva para determinar el error y nuevamente comenzar la estimación. Poner a funcionar esto en tiempo real requeriría de mucho hardware dedicado y especializado siendo esto una desventaja. Una

forma barata y eficaz es implementar en una plataforma digital el filtro adaptativo.

Estos son los factores que determinan que algoritmo debe de usarse:

- Velocidad de convergencia.
- Desajuste.
- Rastreo
- Robustez.
- Requisitos computacionales
- Estructura
- Propiedades numéricas.

2.2.2. Estructuras de los filtros lineales

Zelaya (2004, p.6) indica que los filtros lineales están basados en dos procesos, el primero es EL filtrado para determinar la salida en combinación lineal con los datos obtenidos de la entrada y el segundo proceso de adaptación, con el objetivo de que el sistema de control adaptativo se pueda mantener dentro de un grupo de parámetros con valores ajustables que serán usados para el filtrado de la señal. Estos procesos mencionados interactúan constantemente entre sí. Generalmente, la elección de una secuencia para que el proceso de filtrado es un factor muy importante en el funcionamiento y desempeño del algoritmo.

Los filtros FIR (Respuesta Finita al Impulso) son generalmente usados en aplicaciones de síntesis de cuerdas, filtrado adaptativo para la mejora en sistemas de control de ruido e identificación procesos de control, existen muchas razones para que los filtros adaptativos FIR sean conocidos

- Son estables y de fácil control debido a que los valores de los coeficientes del filtro son acotados.
- Su algoritmo es simple y eficiente para determinar los coeficientes del filtro.

- La convergencia y estabilidad es predecible en estos algoritmos.

El algoritmo adaptativo debe estar en función del error $e(n)$ para calcular los coeficientes, ya que $e(n)$ nos permitirá definir los mejores valores de los coeficientes para el filtro y obtener la manera en que estos se calcularan.

Para Zelaya (2004, p.06) la eficiencia de un filtro adaptativo lineal depende de una serie de factores como el tipo de filtro (IIR o FIR), la estructura del mismo (transversal, de celosía o sistólico), o la función de costo usada como criterio de adaptación (error cuadrático medio, mínimo error cuadrático, etc.).

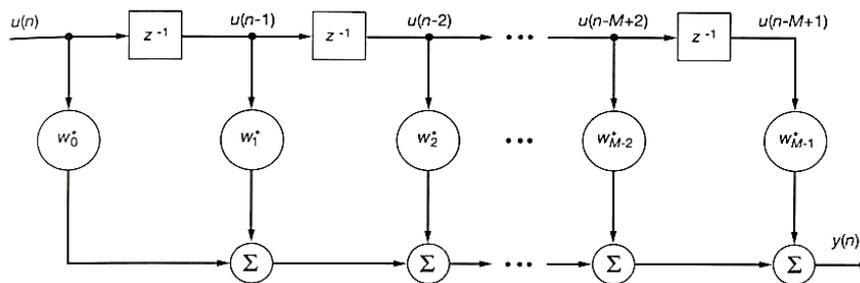


Figura 2. Estructura de un filtro digital.

Fuente: Zelaya (2004, p.7).

Los filtros de respuesta impulsiva finita, también llamados filtros directos de pesos desfasados están compuestos en tres elementos básicos, como se observa en la Figura 2, la respuesta finita al impulso es determinada por la cantidad de elementos de retardados en el tiempo mostrado como $M-1$, por lo general está referido al orden del filtro.

Los multiplicadores en el filtro realizan el producto del valor que ingresa al bloque retardador por un peso asignado a el. De esta manera un multiplicador conectado j veces a entrada retardadas $u(n-j)$ producirá la versión escalar de la salida del filtro que es el producto

interno, $W_j * \mu(n - j)$, donde W_j va desde $j = 1$ a M . El asterisco denota la conjugación compleja que asume la entrada y por consiguiente también los pesos actualizables son valores complejos. La función de los bloques sumadores en el filtro es acumular los resultados de los productos individuales de cada peso por la entrada retardada correspondiente y entregar una salida total del filtro. La salida del filtro transversal se muestra en la Figura 2:

$$y(n) = \sum_{j=0}^{n-1} W_j \mu(n - j)$$

La ecuación anterior es llamada sumatoria de convolución finita, debido a que W_j es la respuesta impulsiva del filtro FIR se multiplica con la entrada $\mu(n)$ del filtro, luego se suman dichos productos para dar como resultado $y(n)$.

Zelaya (2004, p.8) La estructura de un filtro FIR es la más fácil de realizar, y conduce a algoritmos muy sencillos de implementar.

2.2.3. Aplicaciones

Existen muchas aplicaciones para los filtros adaptativos que van desde comunicaciones, biomédica, sismología, radares, control de procesos. Si bien es cierto estas aplicaciones son de naturaleza distinta pero siempre tienen en común dos cosas, un vector que contiene a la señal de entrada y una respuesta deseada que se usa para determinar el error de estimación y así poder determinar los coeficientes del filtro.

En la figura 3 se muestran cuatro formas de cómo usar los filtros adaptativos.

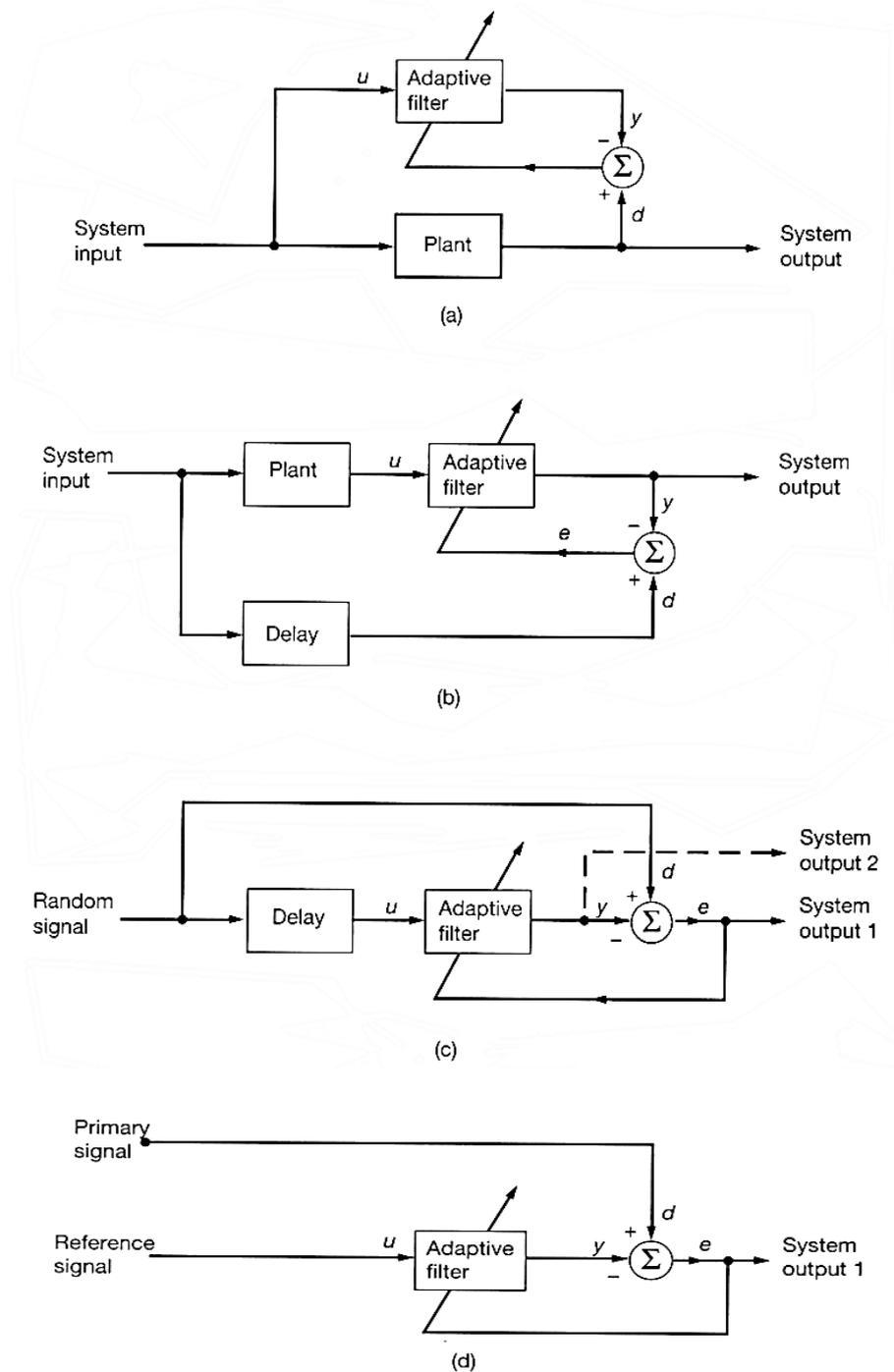


Figura 3. Diversas configuraciones de los filtros adaptativos
Fuente: Zelaya (2004, p.10)

De la figura 3 se observa que la principal diferencia de las diversas aplicaciones de los filtros adaptativos inicia con la forma de cómo se obtiene la respuesta deseada. Bajo esta premisa, podemos indicar

algunas configuraciones básicas de aplicaciones de filtros adaptativos, como se describen en la Figura 3.

Es importante recordar que en esta figura:

u es la entrada aplicada al filtro adaptativo.

y es la salida del filtro adaptativo.

d representa la respuesta deseada.

$e = (d - y)$ define el error de estimación.

A continuación, se describe brevemente las aplicaciones de filtros adaptativos mostrados en la figura 3.

1. **Identificación.** En ingeniería de control de procesos el conocimiento del modelo de la planta es crucial ya que esto permite conocer la dinámica de la planta y así proponer estrategias de control. La planta y el filtro adaptativo poseen la misma señal entrada.

La salida del filtro es un grupo de coeficientes que modelan el sistema desconocido. Si la planta es de naturaleza dinámica (sistema o señal no estacionaria), el modelado será variante en el tiempo, esto se muestra en la figura 3(a).

2. **Modelado inverso.** En la figura 3(b) el filtro contiene el modelo inverso de la planta ya que la señal deseada es la entrada, en algunos casos este modelo puede ser usado como un controlador adaptativo debido a que la señal deseada es la entrada a la planta. En algunas aplicaciones, la señal de entrada a la planta se usa sin retardo como la respuesta deseada.

3. **Predicción.** El filtro adaptativo mostrado en la figura 3(c) tiene la misión de predecir el valor de la señal de entrada, se observa que la señal que ingresa al filtro ha sufrido un retraso y el filtro vaticina el valor presente de la señal de entrada. Los valores anteriores de

la señal son aplicados a la entrada del filtro adaptativo. Dependiendo de la aplicación de interés, la salida del filtro adaptativo o la estimación (predicción) del error, podría ser la salida que se busca.

4. **Cancelación de Interferencia.** El filtro en este caso se usa para cancelar una señal no deseada, en la figura 3(d) se observa que la señal primaria contiene la señal a eliminar (ruido no deseado) y la señal de referencia que ingresa al filtro es la señal contaminada que está conformada por la señal deseada y el ruido la salida del filtro se adaptará para generar la señal del ruido de esta manera el error solo tendrá la señal deseada.

En la Tabla 1 se muestran las aplicaciones más importantes de los filtros adaptativos.

Tabla 1. Configuración básica de los filtros adaptativos.

Clase de filtro adaptativo	Aplicación
I. Identificación.	Identificación de Procesos, Modelado de capas subterráneas
II. Modelado Inverso.	Deconvolución Predictiva Ecuilización Adaptativa Ecuilización Ciega
III. Predicción.	Codificación por Predicción Lineal (LPC) Codificación Diferencial Adaptativa (ADPCM) Análisis Espectral Autorregresivo Detección de Señal

Fuente Zelaya (2004, p.13).

2.2.4. Cancelador adaptativo de ruido

Zelaya (2004, p.20) para eliminar ruido con frecuencia variable en el tiempo, por lo general se hace uso de un cancelador de ruido para atenuar el ruido de una señal recibida.

comúnmente, es imprudente eliminar el ruido de una señal recibida, debido a que semejante operación pudiera producir resultados no deseados, causando un aumento en la potencia promedio del ruido en la señal de salida. No obstante, si se toman las precauciones adecuadas en el control del filtrado y la atenuación del ruido se realiza por medio de un proceso adaptativo, es factible llevar a cabo un buen filtrado comparado al filtrado tradicional de la señal recibida”.

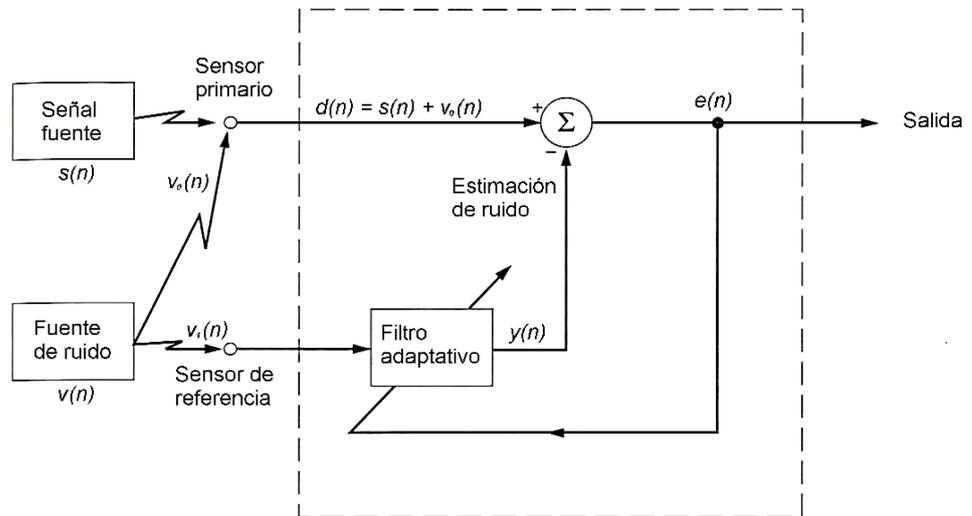


Figura 4. Filtro LMS como cancelador de ruido adaptativo.
 Fuente: Zelaya (2004, p.14).

Un cancelador de ruido adaptativo está conformado por un doble lazo cerrado del sistema de realimentación adaptativo como muestra en la Figura 4. Se toman las dos entradas del sistema de un par de sensores: un sensor primario que contiene la señal contaminada, y un sensor de referencia que contiene la fuente de ruido que contamina la señal. Específicamente, nosotros tenemos lo siguiente:

1. El sensor primario recibe una señal que lleva información $s(n)$ modificada por un ruido aditivo $v_0(n)$, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$d(n) = s(n) + v_0(n)$$

La señal $s(n)$ y el ruido $v_0(n)$ no están correlacionadas; esto es:

$$E[s(n)v_0(n - k)] = 0 \quad \text{para todo } k$$

Donde $s(n)$ y $v_0(n)$ se suponen que son valores reales.

2. El sensor de referencia recibe un ruido $V_1(n)$ que no está correlacionado con la señal $S(n)$, pero si se correlaciona con el ruido $V_0(n)$, este se obtiene del sensor primario cerca a la señal que se desea recuperar; por lo tanto:

$$E[s(n)v_1(n - k)] = 0 \quad \text{para todo } k$$

y

$$E[v_0(n)v_1(n - k)] = p(k)$$

Donde $p(k)$ es una correlación cruzada desconocida para el retardo k .

La señal de referencia $V_1(n)$ se procesa por un filtro adaptativo para generar la salida:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} W_k \mu(n - k)$$

Donde los $W_k(n)$ son los pesos (reales) ajustables que se multiplican por las entradas retardadas y dan valor al filtro adaptativo. La salida del filtro $y(n)$ es retirada de la señal principal $d(n)$, denominada como la “respuesta deseada” para el filtro adaptativo. La señal de error está definida por:

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

Así, sustituyendo la primera ecuación en la anterior, se obtiene:

$$e(n) = s(n) + V_0(n) - y(n)$$

En la ecuación anterior se observa la relación importante del ruido en el cálculo de los coeficientes del filtro adaptativo, esto debido a que la estrategia del filtro es minimizar el error cuadrático medio.

La forma de minimizar el error es determinando el gradiente del error $e(n)$, como se sabe el gradiente de una ecuación indica la dirección donde debe desplazarse el vector para maximizar su valor, por ello la estrategia es desplazarse en dirección opuesta a él.

$$g = \|e\|^2 = \|d(n) - y(n)\|^2$$

$$g = \left\| d(n) - \sum_{k=0}^{M-1} W_k \mu(n-k) \right\|^2$$

$$\frac{dg}{dW_k} = -2\|e\| \frac{dy(n)}{dW_k} = -2\|e\| \sum_{k=0}^{M-1} \mu(n-k) = \overline{\nabla g}$$

$$W_k = W_{k-1} - \beta \overline{\nabla g}$$

$$W_k(n) = W_{k-1}(n) + \beta \|e(n)\| \mu(n-k)$$

La ecuación anterior muestra como calcular los pesos del filtro.

2.2.5. Distorsión armónica total (THD%)

Cuando una señal está compuesta por diversas señales trigonométricas como se indica en la siguiente ecuación.

$$V_T = \sum_{i=1}^n V_i = V_1 + V_2 + V_3 \dots + V_n, \quad \text{donde } V_i = \|V_i\| \sin(\omega_i t)$$

En ocasiones es necesario determinar cómo influyen las señales con respecto a una de ellas, para ello se toma la norma de la señal y se compara con la norma de las señales que influyen en ella. Esto se aprecia en la siguiente ecuación.

$$THD\%_j = \frac{\sqrt{(\sum_{i=1}^n V_i^2 - V_j^2)}}{V_j} 100\%$$

Esta ecuación indica la distorsión armónica total para el j-ésimo término, para el primer término se tendría la siguiente ecuación.

$$THD\% = \frac{\sqrt{(\sum_{i=2}^n V_i^2)}}{V_1} 100\%$$

Si las señales V_i desde $i=2$ hasta n son consideradas como ruido y V_1 es considerada como la señal a recuperar, entonces el THD% sería un indicador de atenuación del ruido.

CAPÍTULO III

MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Material

3.1.1. Población

Ruidos eléctricos instrumentales con ancho de banda de hasta 60 Hz.

3.1.2. Muestra

Ruidos eléctricos instrumentales con ancho de banda de hasta 60 Hz.

3.1.3. Unidad de análisis

Filtro LMS.

3.2. Métodos

3.2.1. Nivel de investigación

La investigación planteada para la presente tesis según su carácter es Aplicada.

3.2.2. Diseño de investigación

$$O_1 \quad x \quad O_2$$

O₁: Entrada contaminada.

Una señal con ruido aleatorio será ingresada a un PLC que tiene implementado un filtro adaptativo, se determinará el tiempo que demora en atenuar el ruido en función de los coeficientes usados, y determinar la distorsión armónica a la salida.

3.2.3. Variables de estudio

Variable independiente:

Algoritmo LMS.

Variable dependiente:

Atenuación de ruido en señales analógicas captadas por PLC.

3.2.4. Operacionalización de las variables

Tabla 2. Operacionalización de la variable independiente.

Variable independiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Filtro adaptativo.	Filtro lineal basado en un filtro FIR que permite la actualización de sus pesos en forma dinámica.	Diseño del algoritmo.	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de coeficientes.
		Implementación del algoritmo.	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad de muestras. • Código de programa.

Fuente: Autoría propia.

Tabla 3. Operacionalización de la variable dependiente.

Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensión	Indicador
Atenuación de ruido.	Disminuir el nivel de una señal no deseada.	Nivel de atenuación.	<ul style="list-style-type: none"> • Distorsión armónica total. • Nivel de señal ruido.
		Adaptación.	<ul style="list-style-type: none"> • Periodo de adaptación. • Factor de convergencia.

Fuente: Autoría propia.

3.2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.2.5.1. Técnicas:

- **Observación.** Se realiza la simulación de la señal contaminada haciendo uso de un divisor de tensión y esta será ingresada al filtro, para luego observar la atenuación del de la señal no deseada (ruido) y determinar la convergencia del filtro.

3.2.5.2. Descripción de los instrumentos:

- **Generación de la señal contaminada.** Existen muchas formas que permiten mezclar señales en amplitud, pero la más sencilla es haciendo uso de un divisor de tensión como se muestra en la figura 5.

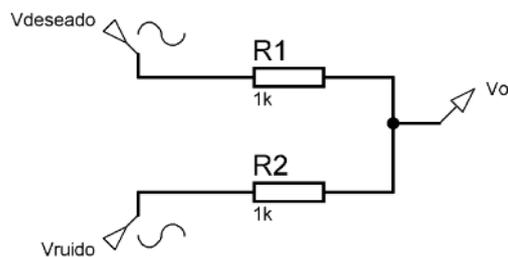


Figura 5. Circuito contaminador de ruido.

Fuente: Autoría propia.

Para calcular la tensión V_o se pueden aplicar cualquiera de los métodos usados en circuitos eléctricos, se sabe que, si dos fuentes de tensión se encuentran unidas por dos resistencias iguales, el valor de la tensión en ellas es el valor medio de las fuentes.

$$V_o = \frac{V_{deseado} + V_{ruido}}{2}$$

- **Implementación del algoritmo LMS en el PLC.** El desarrollo del filtro adaptativo se realizará en un controlador lógico programable de la marca Siemens, por tal motivo se hará uso del software Tia Portal V15.

El PLC S7-1200 tiene embebidas dos entradas analógicas con una resolución 12 bits y un rango de entrada de 0 a 10v y tienen el siguiente direccionamiento.

Entrada	Dirección física
0	<i>IW64</i>
1	<i>IW66</i>

De la misma manera la recuperación de la señal filtrada se realizará por un módulo que tiene este PLC denominado signal board.

Salida	Dirección física
0	<i>QW80</i>

El software Tia Portal permite cambiar varios parámetros esto se observa en la figura 6:

- Las direcciones, el rango de variación de las direcciones van desde 0 hasta 1020.
- El tipo de medición del canal.
- El rango de tensión del canal.
- Filtrado, con este parámetro se ajusta el tiempo de integración del dispositivo en función de la selección de las frecuencias perturbadoras.

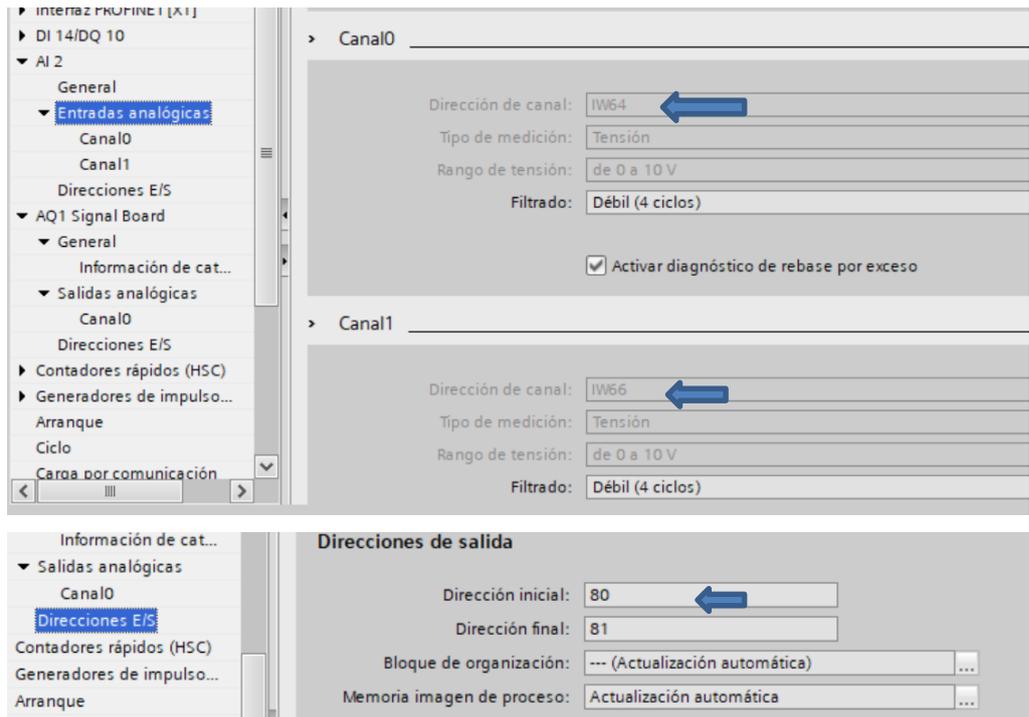


Figura 6. Direcciones y rangos de las entradas y salidas analógicas, tipo de medición y Filtrado usando Tia Portal V15.

Fuente: Autoría propia.

La ejecución del algoritmo requiere de la adecuación de las señales de entrada y salida, cada adecuación requiere de un bloque de normalización y otro de escalamiento, en la figura 7 se muestra la adecuación de la señal de salida para obtener voltajes normalizados de 0 a 10v en la salida QW80 y en la figura 8 y 9 se observan respectivamente la adecuación de las señales contaminadas recibida a través del canal IW64 y la señal no deseada por la entrada IW66.

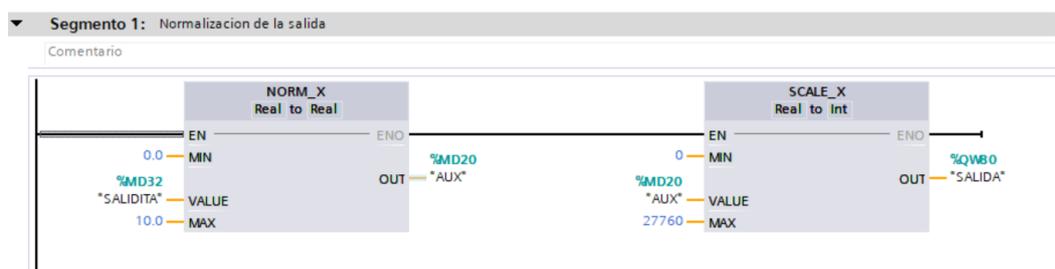


Figura 7. Adecuación de la salida usando bloques de normalización y escalamiento.

Fuente: Autoría propia.

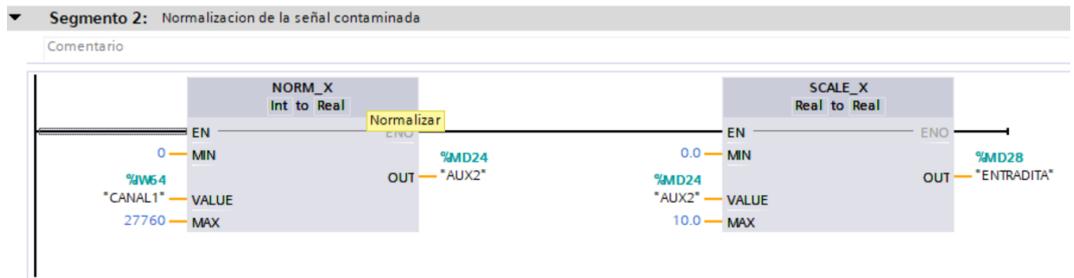


Figura 8. Adecuación canal de entrada IW64.
Fuente: Autoría propia.

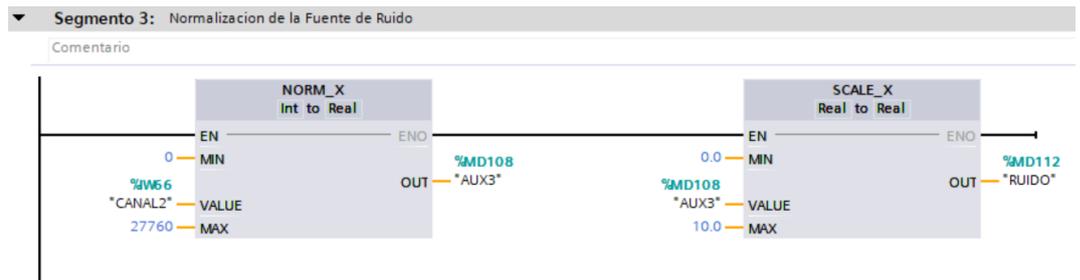


Figura 9. Adecuación del canal de entrada IW66.
Fuente: Autoría propia.

Para realizar el filtro en el PLC fue necesario el uso de una interrupción con una tasa de muestreo de 12 milisegundos, su realización fue posible gracias al bloque Cyclic interrupt, esto se observa en la figura 10.

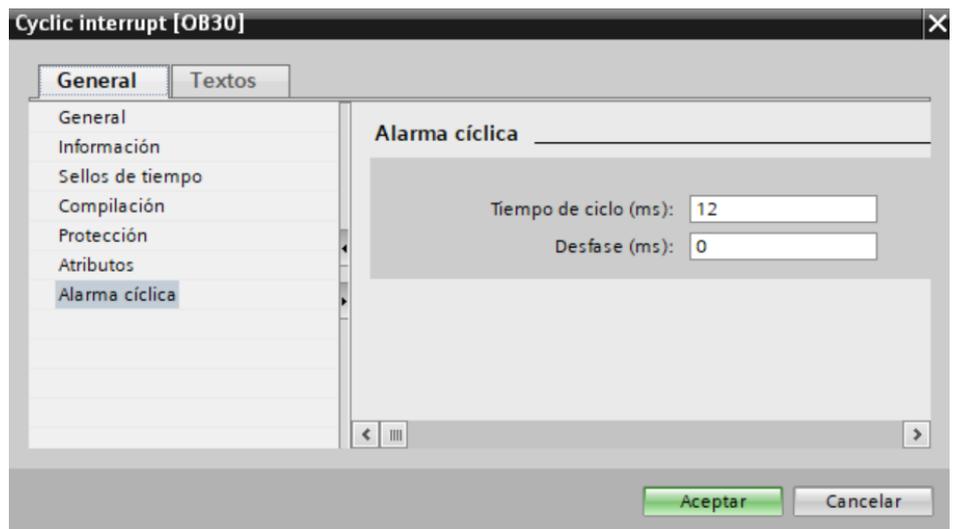


Figura 10. Configuración del tiempo de interrupción para el filtro a 12 ms.
Fuente: Autoría propia.

La implementación del algoritmo no se realizó en lenguaje Ladder debido a su poca facilidad para realizar retardo de variables, en su reemplazo se usó el lenguaje SCL que consiste en programación de alto nivel.

De acuerdo al algoritmo, se deben de actualizar los coeficientes del algoritmo y los datos de la señal a eliminar, para este caso se usaron 6 términos, esto se muestra en la figura 11.

$$W_{anterior} = W_{actual}$$

$$R_{anterior} = R_{actual}$$

```
1  "W0F" := "W0I";
2  "W1F" := "W1I";
3  "W2F" := "W2I";
4  "W3F" := "W3I";
5  "W4F" := "W4I";
6  "W5F" := "W5I";
7  "R5"  := "RF4";
8  "R4"  := "RF3";
9  "R3"  := "RF2";
10 "R2"  := "RF1";
11 "R1"  := "RF0";
12 "R0"  := "RUIDO";
```

Figura 11. Actualización de las muestras del ruido y de los coeficientes del filtro.

Fuente: Autoría propia.

De acuerdo al algoritmo se determina la salida del filtro con los valores de señal ruido muestreada multiplicada con los coeficientes del filtro, cabe indicar que tanto la señal de ruido como los coeficientes del filtro son vectores y el producto de ellos es el producto punto (escalar), calculado esto se determina la señal de error la cual es necesaria para actualizar los coeficientes del filtro esto se ilustra en la figura 12.

```

13 #Y := "R0" * "W0F" + "R1" * "W1F" + "R2" * "W2F" + "R3" * "W3F" + "R4" * "W4F" + "R5" * "W5F";
14 #ERROR := "ENTRADITA" -#Y;
15 "W0I" := "R0" * #ERROR * #U + "W0F";
16 "W1I" := "R1" * #ERROR * #U + "W1F";
17 "W2I" := "R2" * #ERROR * #U + "W2F";
18 "W3I" := "R3" * #ERROR * #U + "W3F";
19 "W4I" := "R4" * #ERROR * #U + "W4F";
20 "W5I" := "R5" * #ERROR * #U + "W5F";
21 "RF4" := "R4";
22 "RF3" := "R3";
23 "RF2" := "R2";
24 "RF1" := "R1";
25 "RF0" := "R0";
26 "SALIDITA" := #ERROR;

```

Figura 12. Cálculo de la salida de filtro y coeficientes.

Fuente: Autoría propia.

En la figura 13 se observan 2 variables adicionales, “Y” que contiene el valor actual del filtro y el ERROR estas son variables temporales ya que no serán usadas para la salida en el PLC.

Cyclic interrupt			
	Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
4	Temp		
5	Y	Real	
6	ERROR	Real	
7	Constant		
8	U	Real	0.001

Figura 13. Variables temporales declaradas en el bloque Cyclic interrupt.

Fuente: Autoría propia.

➤ Ensayo para un Ruido de $2v\sin(2\pi 6.23t)$ y una señal deseada de $2.14V\sin(2\pi 1.77t)$:

- a) Factor de convergencia de 0.002 y tiempo de muestreo de 12ms. Se tiene una adaptación en 110 segundos, en la figura 14 se muestra la respuesta en el tiempo del filtro ya adaptado captado por el panel HMI, en la figura 15 se muestra el mismo resultado, pero captado por el osciloscopio.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	0.89812061
W1F	%MD40	-0.08716350
W2F	%MD44	-0.1032137
W3F	%MD48	-0.0987969
W4F	%MD72	-0.0816005
W5F	%MD56	0.3936602

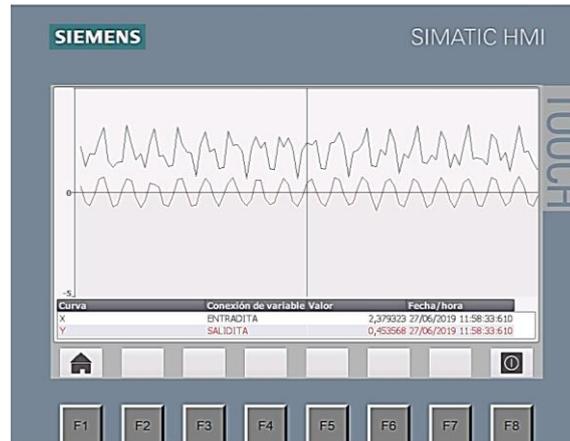


Figura 14. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

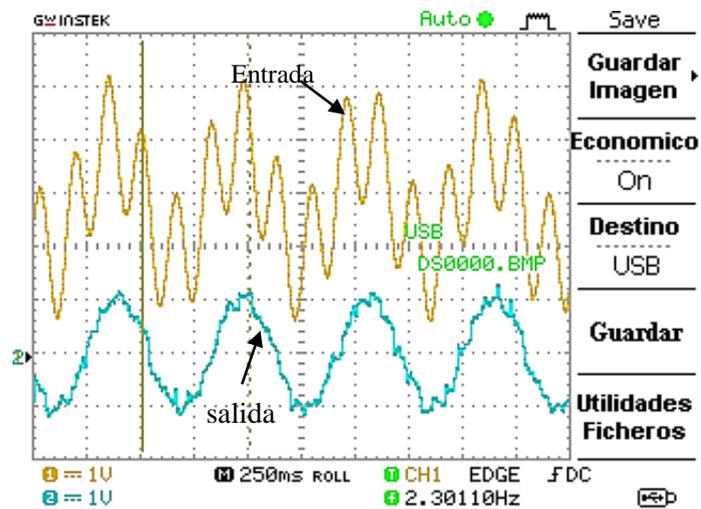


Figura 15. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.
Fuente: Autoría propia.

- b) Factor de convergencia de 0.0002 y tiempo de muestreo de 12ms. Se obtiene la adaptación en aproximadamente 21 minutos.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	0.642934
W1F	%MD40	0.2109702
W2F	%MD44	-0.0598389
W3F	%MD48	-0.1328334
W4F	%MD72	-0.0024002
W5F	%MD56	0.3111430

En la figura 16 se muestra la respuesta en el tiempo del filtro en régimen estable (adaptado), se puede observar que la respuesta no es muy buena esto se debe a que el tiempo de muestreo es de 100ms para el panel HMI.

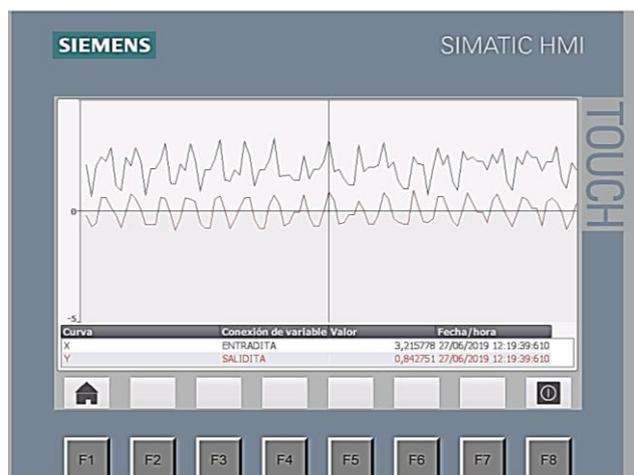


Figura 16. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

En la figura 17 se muestra la respuesta del filtro, pero en el osciloscopio, aquí se nota una mejor forma de onda, esto es debido a que el osciloscopio tiene mayor tiempo de muestreo.

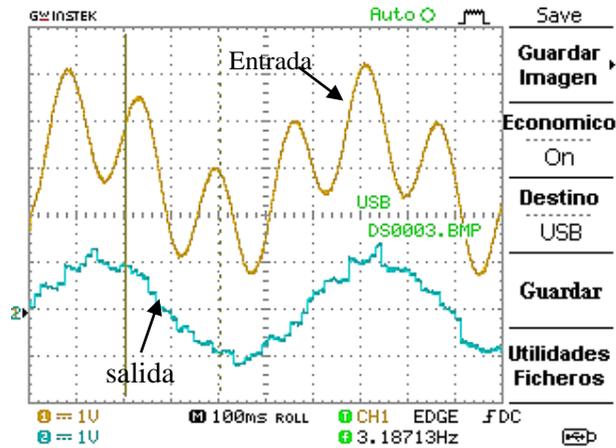


Figura 17. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.

Fuente: Autoría propia

- c) Factor de convergencia de 0.02 y tiempo de muestreo de 12ms. Luego de la experimentación se tiene un tiempo de adaptación de 33 segundos.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

OF	%MD36	0.8206298
W1F	%MD40	0.027425
W2F	%MD44	-0.1353348
W3F	%MD48	-0.1577203
W4F	%MD72	-0.07697917
W5F	%MD56	0.4035700

En la figura 18 se puede observar la respuesta del filtro en el HMI, en la que se nota que la recuperación no es muy buena.

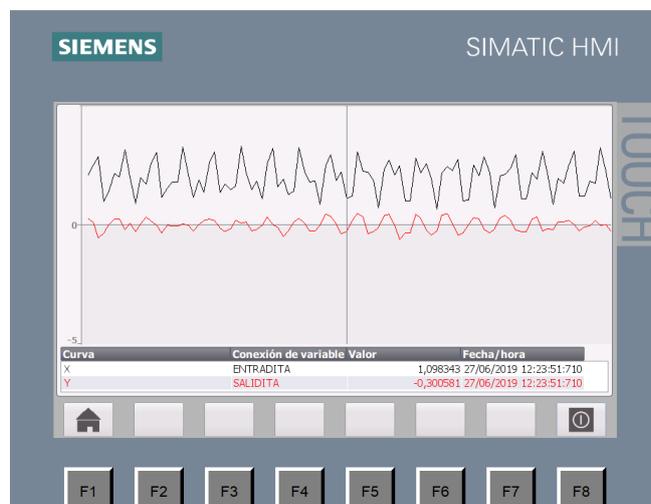


Figura 18. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

En la figura 19 observamos la respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio y se nota que la recuperación no es muy buena.

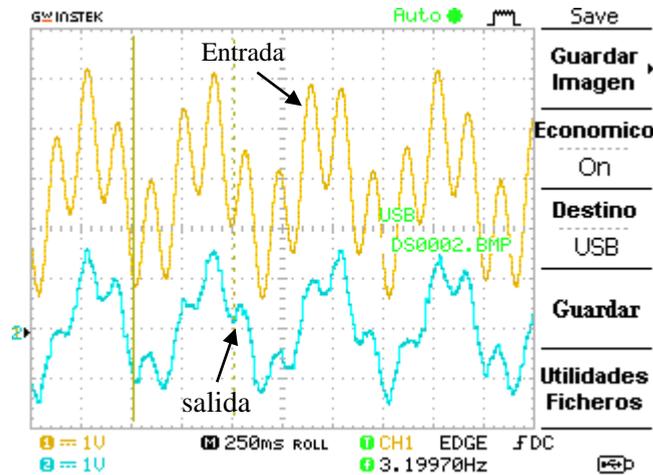


Figura 19. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.
Fuente: Autoría propia.

- d) Factor de convergencia de 0.0004 y tiempo de muestreo de 12ms.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	0.7831398
W1F	%MD40	0.09781001
W2F	%MD44	-0.1748501
W3F	%MD48	-0.2088612
W4F	%MD72	-0.2088703
W5F	%MD56	0.3966771

En la figura 20 se observa la recuperación de la señal usando el HMI, y en esta oportunidad se nota una mejor recuperación.

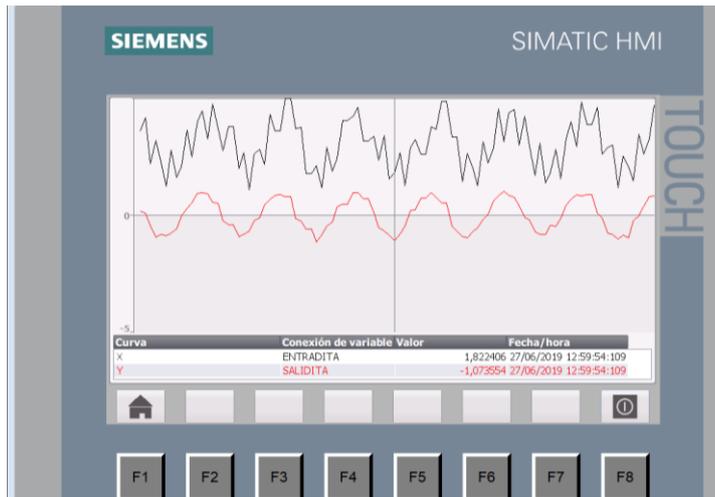


Figura 20. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

En la figura 21 observamos la respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio y se nota que la recuperación es buena

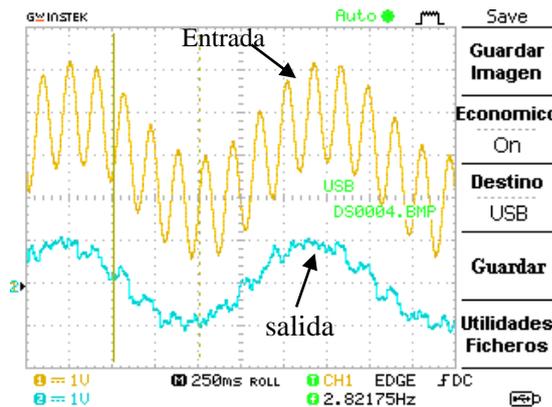


Figura 21. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.
Fuente: Autoría propia.

- e) Factor de convergencia de 0.0008 y tiempo de muestreo de 12ms.
El filtro se adapta en aproximadamente 310 segundos.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	0.7136701
W1F	%MD40	0.1820677
W2F	%MD44	-0.1264069
W3F	%MD48	-0.1957806
W4F	%MD72	-0.02611731
W5F	%MD56	0.3698231

En las figuras 22 y 23 se muestran la respuesta del filtro en función del tiempo, el cual evidencia una buena recuperación de la señal deseada.

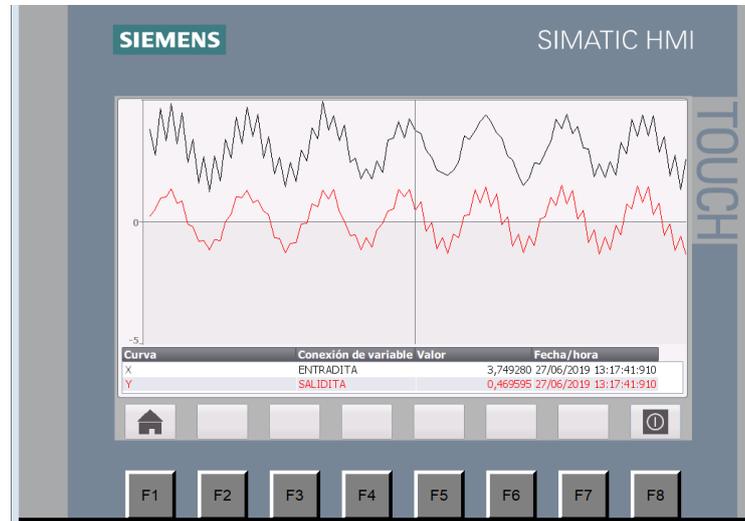


Figura 22. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

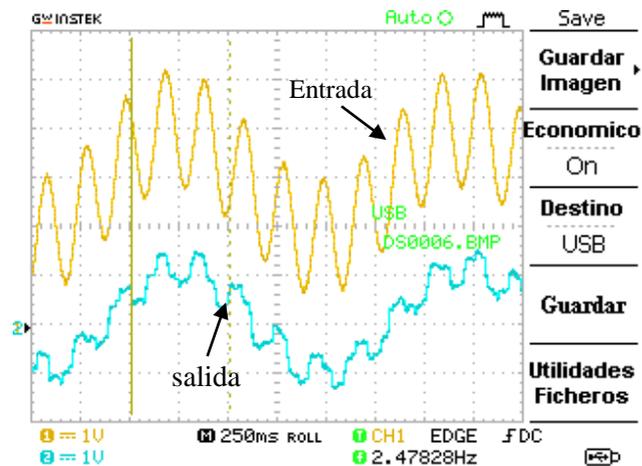


Figura 23. Respuesta en el tiempo del filtro en el osciloscopio Gwinstek.
Fuente: Autoría propia.

- Captura de valores para un ruido de $2v \sin(2\pi 5t)$ y una señal deseada de $2.14v \sin(2\pi 0.7t)$.
 - a) Factor de convergencia de 0.0004 y tiempo de muestreo de 12ms. El filtro se adapta en aproximadamente en 580 seg.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	0.7831455
W1F	%MD40	0.09781023
W2F	%MD44	-0.1748471
W3F	%MD48	-0.2088707
W4F	%MD72	-0.2088701
W5F	%MD56	0.3966769

Las figuras 24 y 25 evidencian la recuperación de la señal deseada tanto en el HMI como en el osciloscopio.

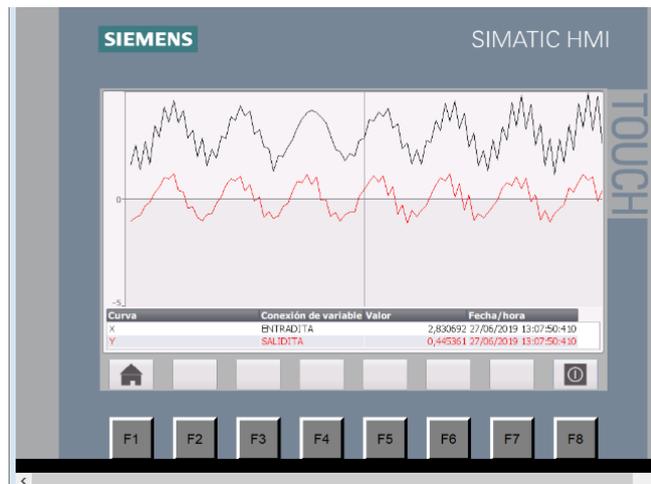


Figura 24. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

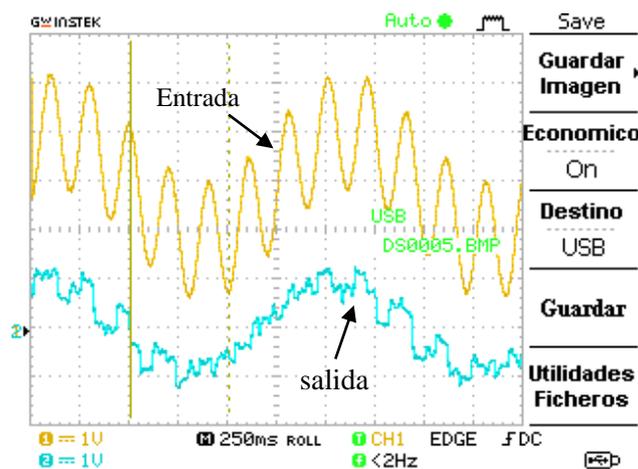


Figura 25 . Respuesta en el tiempo del filtro en el Osciloscopio Gwinstek.
Fuente: Autoría propia.

- Cambio de señal deseada. A $2.14v \sin(2\pi 2t)$, 2Hz.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	0.938544
W1F	%MD40	0.1312961
W2F	%MD44	-0.2775905
W3F	%MD48	-0.3359579
W4F	%MD72	-0.05938299
W5F	%MD56	0.5762411

Las figuras 26 y 27 reflejan respuesta favorable del filtro a la señal deseada, captadas por el HMI y el osciloscopio.

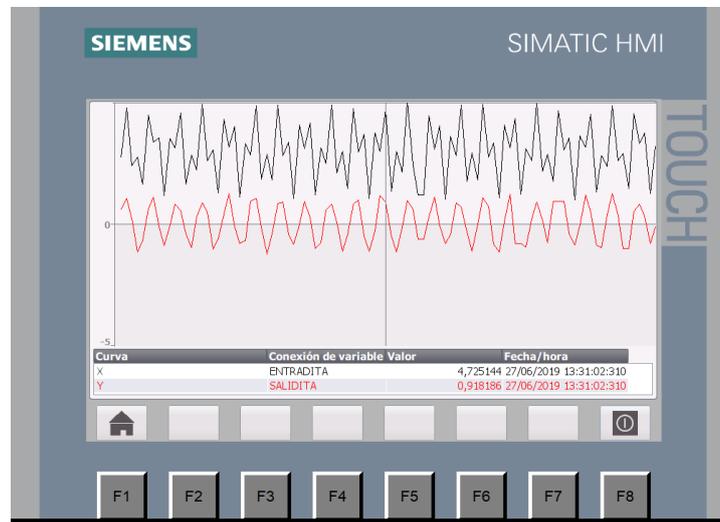


Figura 26. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

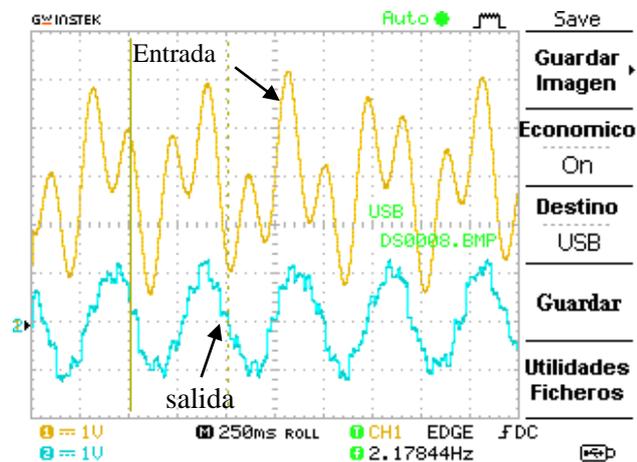


Figura 27. Respuesta en el tiempo del filtro en osciloscopio Gwinstek.
Fuente: Autoría propia.

b) Para un factor de convergencia 0,0002. El filtro se adapta en aproximadamente 1160 seg.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	0.9665343
W1F	%MD40	0.1150689
W2F	%MD44	-0.2952088
W3F	%MD48	-0.3489901
W4F	%MD72	-0.06735521
W5F	%MD56	0.5985496

La figura 28 y 29 muestran la respuesta en el tiempo del filtro, mediante el panel HMI y el osciloscopio.

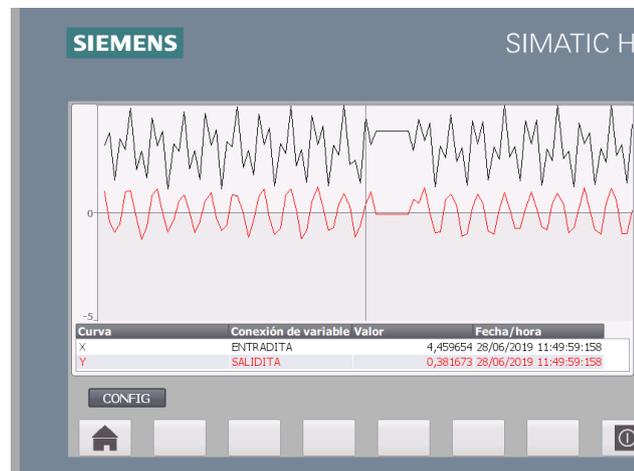


Figura 28. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

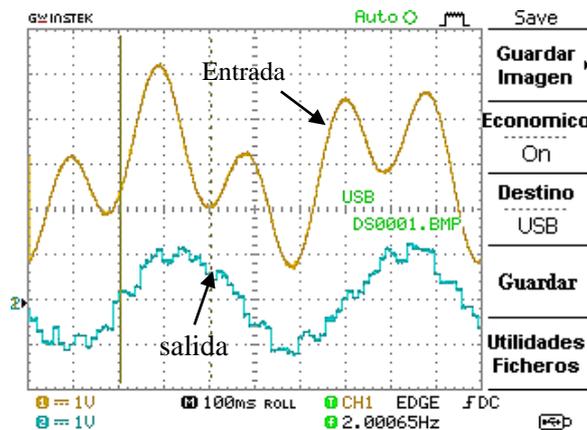


Figura 29. Respuesta en el tiempo del filtro en osciloscopio Gwinstek.
Fuente: Autoría propia.

c) Factor de conversión de 0,002. El filtro se adapta en aproximadamente 155 seg.

Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	1.003467
W1F	%MD40	0.1045288
W2F	%MD44	-0.2912793
W3F	%MD48	-0.3365269
W4F	%MD72	-0.06042585
W5F	%MD56	0.6334827

En las figuras 30 y 31 se muestran la respuesta en el tiempo del filtro adaptativo, usando el panel HMI y el osciloscopio respectivamente.

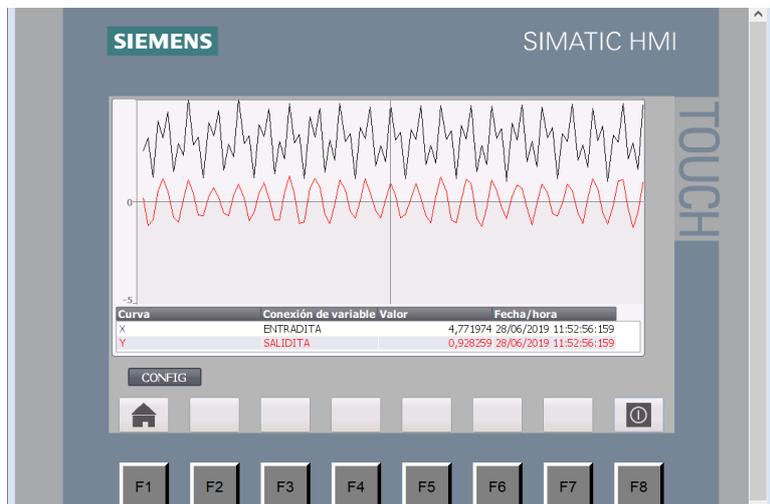


Figura 30. Respuesta en el tiempo del filtro.
Fuente: Autoría propia.

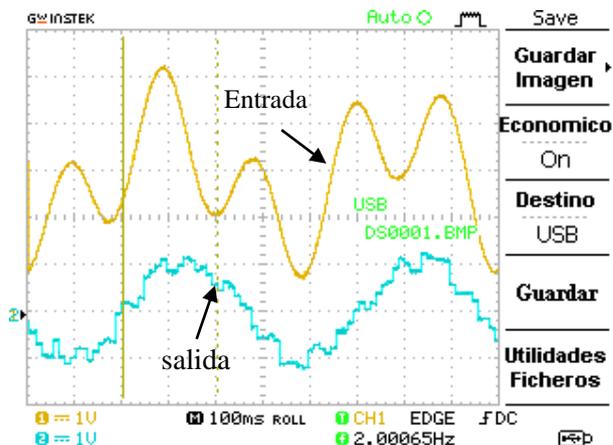


Figura 31. Respuesta en el tiempo del filtro en osciloscopio Gwinstek.
Fuente: Autoría propia.

d) Para un factor de convergencia de 0,004. Se pierde adaptabilidad.
 Lista de variables, posiciones de memoria y valores de los coeficientes.

W0F	%MD36	1.113127
W1F	%MD40	-0.02035012
W2F	%MD44	-0.179801
W3F	%MD48	-0.2056486
W4F	%MD72	-0.1195918
W5F	%MD56	0.6988407

En las figuras 32 y 33 se evidencia la mala recuperación de la señal deseada:

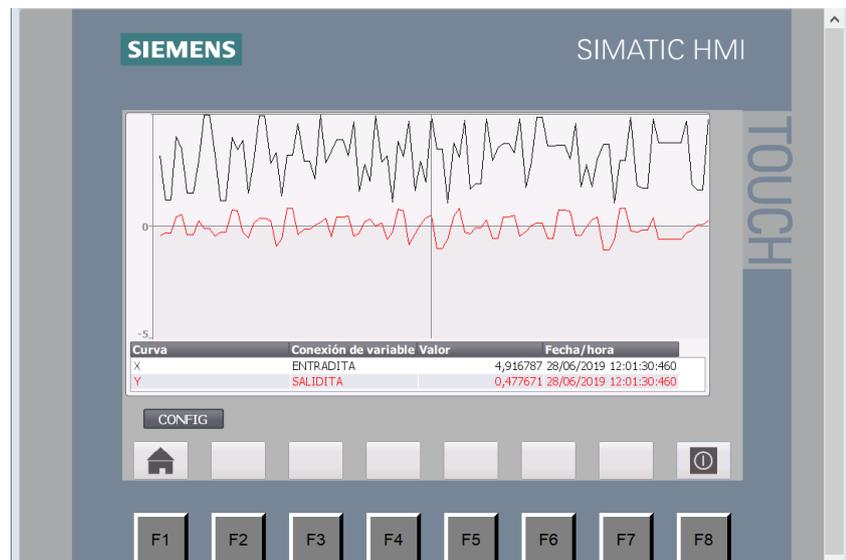


Figura 32. Respuesta en el tiempo del filtro.
 Fuente: Autoría propia.

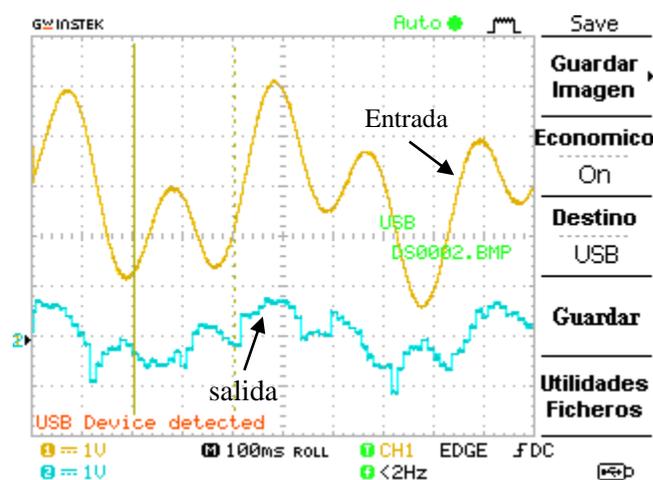


Figura 33. Respuesta en el tiempo del filtro en osciloscopio Gwinstek.
 Fuente: Autoría propia.

3.2.5.3. Procesamiento y análisis de datos.

En la figura 34, muestra un gráfico el cual denota que no existe relación aparente entre el factor de convergencia y los coeficientes de filtro.

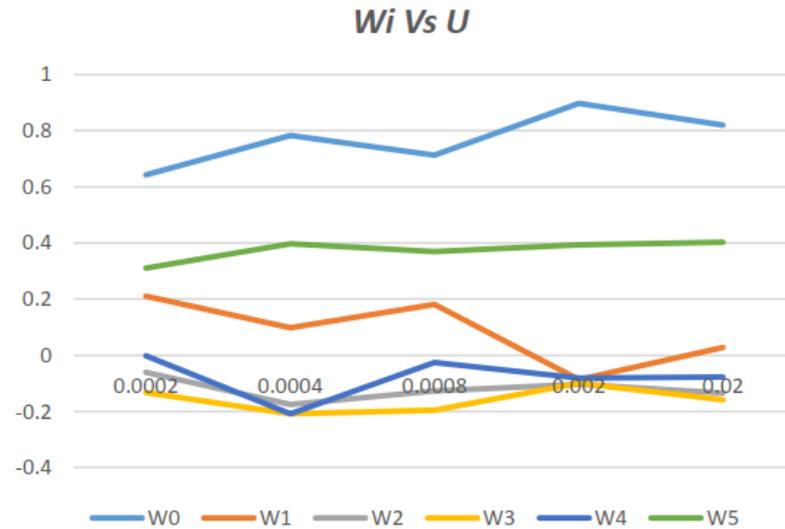


Figura 34. Comportamiento de W_i en función de U .
Fuente: Autoría propia.

En la figura 35 se muestra la dependencia del tiempo de adaptación del filtro con el factor de convergencia. Esta indica una proporción inversa entre ambos.

$$T_A = \text{tiempo de adaptación}$$

$$U = \text{factor de convergencia}$$

$$T_A \propto \frac{1}{U}$$

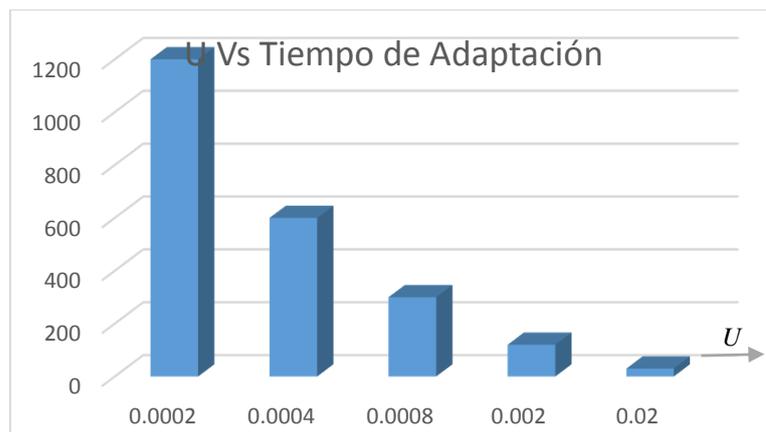


Figura 35. Tiempo de adaptación versus el factor de convergencia.
Fuente: Autoría propia.

En la figura 36 se evidencia que la relación de señal a ruido disminuye cuando el factor de convergencia aumenta, esto sugiere una relación inversa entre ambos.

$$\frac{\text{Señal}}{\text{Ruido}} \propto \frac{1}{U}$$

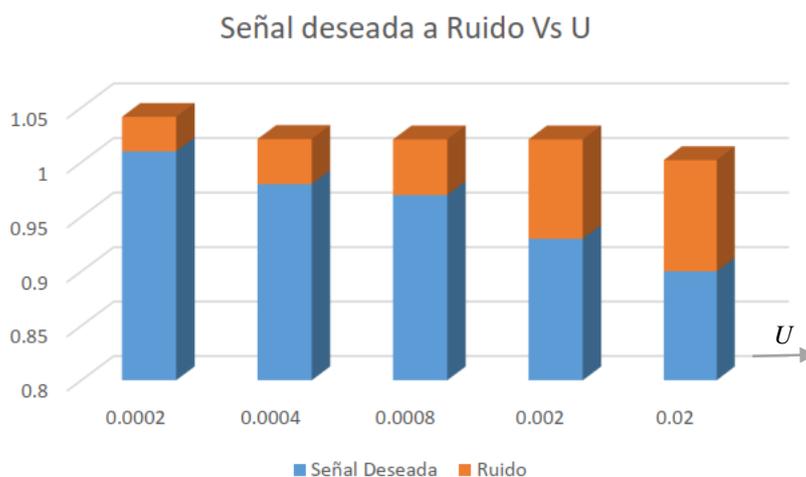


Figura 36. Relación señal a ruido versus “U”.
Fuente: Autoría propia.

La figura 37 nos indica lo que ya nos predecía la figura 36, y esto es que la distorsión armónica disminuye cuando el factor de convergencia disminuye, lo cual sugiere una relación directa.

$$THD\% \propto U$$

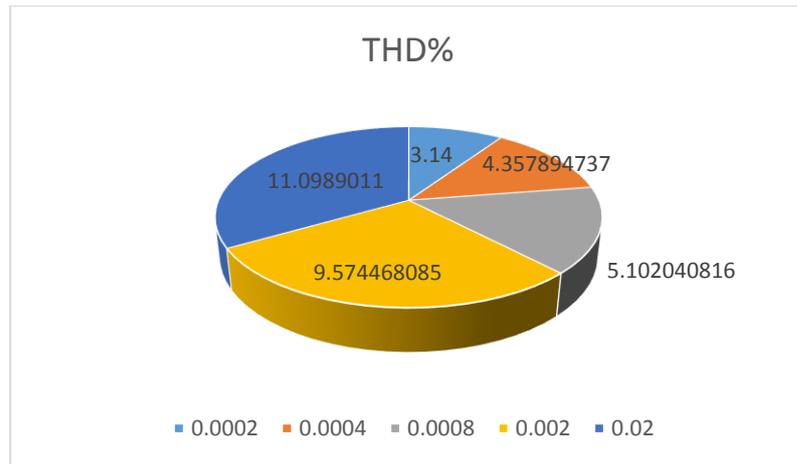


Figura 37. Distorsión armónica para diferentes valores del factor de convergencia.

Fuente: Autoría propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4. RESULTADOS

- A. Implementación en el PLC del algoritmo LMS. En la figura 38 se evidencia esta implementación realizada en un bloque de *Ciclic interrupt* y programado en lenguaje SCL.

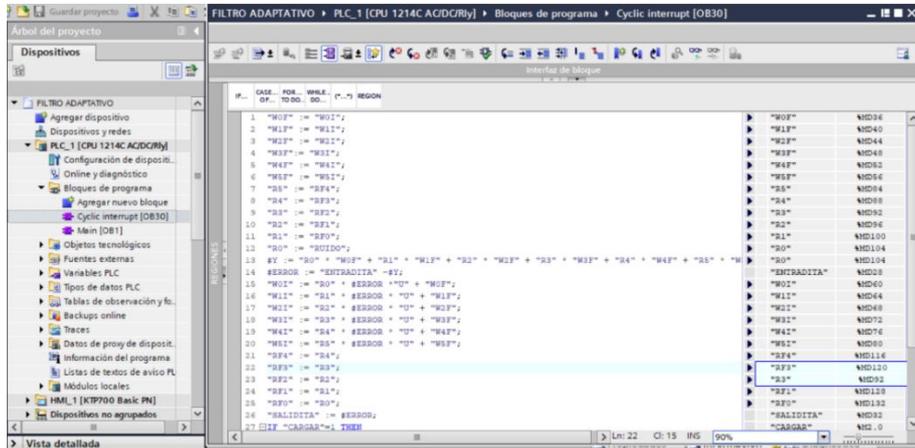


Figura 38. Programa del Algoritmo LMS implementado en SCL.

Fuente: Autoría propia.

La figura 39 evidencia la normalización de las entradas y salidas del filtro para el PLC S7 1200 y fue realizado en el bloque principal.

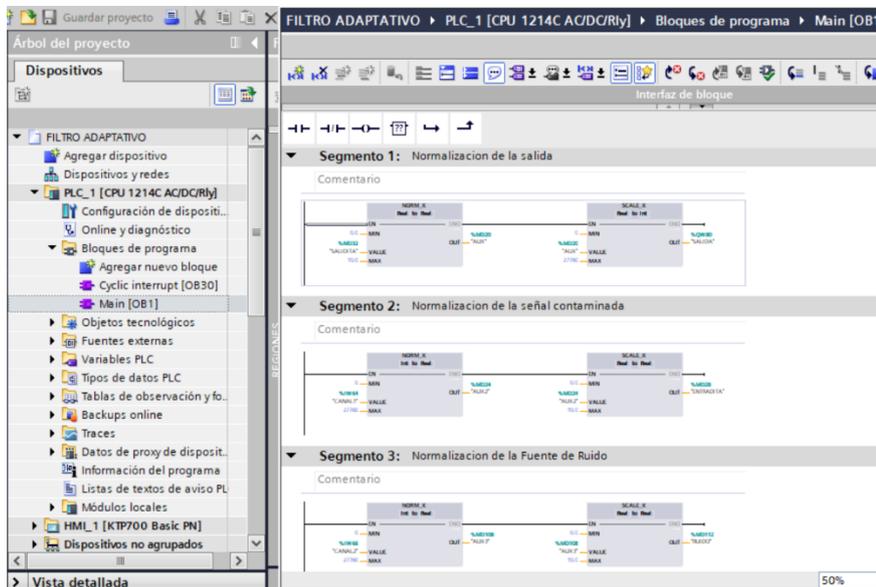


Figura 39. Bloque de normalización y escalamiento de las entradas y salidas analógicas.

Fuente: Autoría propia.

La pantalla para la visualización de la respuesta del filtro se realizó en una pantalla KTP 700, esto se evidencia en la figura 40.

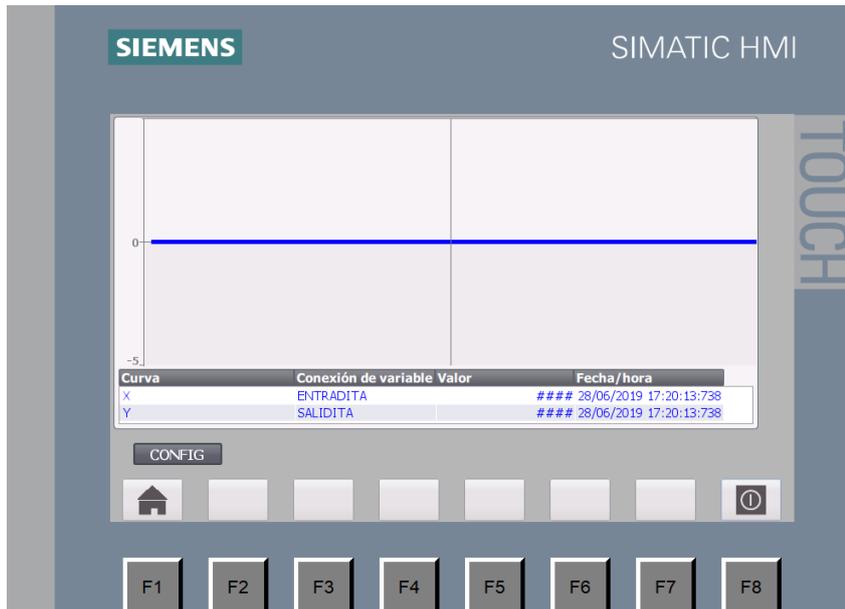


Figura 40. Pantalla HMI de visualización de la respuesta del filtro.

Fuente: Autoría propia.

La figura 41 nos muestra la pantalla en la que nos permitió la visualización e ingreso de los coeficientes del filtro en el bloque *Ciclic interrupt*.

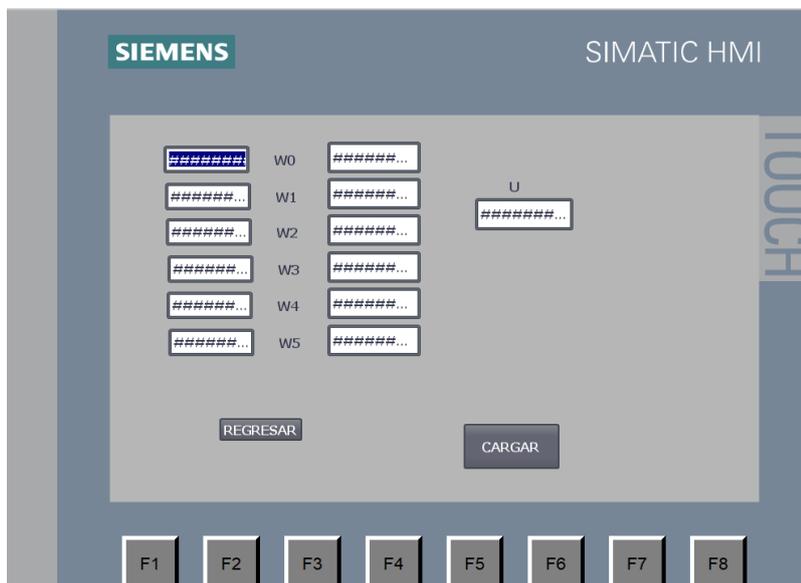


Figura 41. Pantalla auxiliar para visualizar y cargar los coeficientes del algoritmo LMS.

Fuente: Autoría propia.

B. Niveles de Ruido presentados en Distorsión armónica total. En la tabla 4 se muestra la dependencia de la distorsión armónica total THD del factor de

convergencia “U”, $THD\% = f(U)$. La cual muestra una relación directa con la distorsión armónica total $THD\% \propto U$

Tabla 4. Presentación de los valores de THD%, VD y VR

<i>U</i>	<i>THD%</i>	<i>VD</i>	<i>VR</i>
0.0002	3.12871287	1.01	0.0316
0.0004	4.21428571	0.98	0.0413
0.0008	5.25773196	0.97	0.051
0.002	9.78494624	0.93	0.091
0.02	11.33333333	0.9	0.102

Tiempo de Adaptación versus el factor de convergencia. En la tabla 4 se observa la relación inversa que mantienen el tiempo de adaptación con el factor de convergencia. $T_A \propto \frac{1}{U}$

Tabla 5. Presentación del tiempo de adaptación y el error y el factor “U”.

<i>U</i>	<i>Ts(mS)</i>	<i>Tadp (S)</i>	<i>Error</i>
0.0002	12	1160	Bajo
0.0004	12	580	bajo
0.0008	12	310	bajo
0.002	12	118	bajo
0.02	12	32	elevado

C. Valor de los coeficientes del Filtro Adaptativo para diferentes valores de convergencia.

Tabla 6. Presentación de los pesos W_i en función de “U”.

U	W0	W1	W2	W3	W4	W5
0.0002	0.642934	0.2109702	-0.0598389	-0.1328334	-0.0024002	0.3111430
0.0004	0.7831398	0.09781001	-0.1748501	-0.2088612	-0.2088703	0.3966771
0.0008	0.7136701	0.1820677	-0.1264069	-0.1957806	-0.0261173	0.3698231
0.002	0.89812061	-0.0871635	-0.1032137	-0.0987969	-0.0816005	0.3936602
0.02	0.8206298	0.027425	-0.1353348	-0.1577203	-0.0769791	0.4035700

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- Para la implementación del Algoritmo LMS en el controlador PLC, fue necesario el uso de un bloque *Ciclic interrupt* configurado para que se ejecute cada 12 milisegundos y para realizar el programa se utilizó el lenguaje SCL, el filtro se implementó con seis coeficientes, además se realizó la interface con un panel HMI KTP 700 para de esta manera ingresar el valor del factor de convergencia y visualizar la forma de onda de la señal de salida filtrada y la señal de entrada contaminada.
- La dependencia del ruido y el factor de convergencia es inversamente proporcional, ya que para un factor de convergencia de 0.001 se obtiene un THD% de 3.14%, y para un factor de convergencia de 0.01 se obtiene un THD% de 11.098%, esto se evidencia en la tabla 4 que muestra la relación directa entre la distorsión armónica total y el factor de convergencia.

$$THD\% \propto U$$

- El tiempo de adaptación es inversamente proporcional al factor de convergencia, esto se puede visualizar en la tabla 5, donde para un factor de convergencia de 0.0001 su tiempo de adaptación de 1200 segundos, mientras que para un factor de convergencia de 0.01 el tiempo de adaptación es de 30 segundos.

$$T_A \propto \frac{1}{U}$$

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

6. CONCLUSIONES

- Se implementó un algoritmo LMS en un PLC con frecuencias de muestreo de 12 milisegundos, usando lenguaje SCL, con interface con panel HMI KTP 700, como se evidencia en el capítulo 4.
- La distorsión armónica total (THD%) muestra el grado de atenuación del ruido y esta es inversamente proporcional al factor de convergencia, esto se muestra en la tabla 4 del capítulo 4.

$$THD\% \propto U \propto Ruido$$

- El tiempo de adaptación del filtro es inversamente proporcional al factor de convergencia, como se muestra en la tabla 5 del capítulo 4.

$$T_A \propto \frac{1}{U}$$

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS

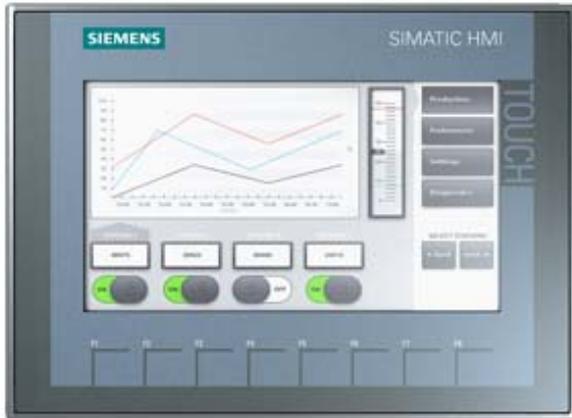
BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Skoog, D. Holler, F. (1998). Principios de Análisis Instrumental, 5° ed.;Ed. McGraw-Hill, págs. 104-106.
- Haykin, S. (1996). Adaptive Filter Theory, 3ra. Edición, Pretince Hall.
- Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones. (2003), Filtrado Adaptativo, Universidad del País Vasco <http://bips.bi.ehu.es/prj/ruido/>.
- Zelaya, W. (2004). Diseño de un filtro digital adaptativo como cancelador de ruido basado en el algoritmo LMS, Universidad de El Salvador. San Salvador, recuperado el 20 de agosto de 2019.
- Avalos, O. (2008). Algoritmo LMS con error Codificado usando un DSP, Instituto Politécnico Nacional. México D.F., recuperado el 17 de agosto de 2019.
- Simon, G. (2004). Filtro adaptivo LMS y su aplicación en el reconocimiento de palabras aisladas para el control de un equipo de sonido por medio de la voz. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú, recuperado el 21 de agosto de 2019.
- Ferrel, M. (2008). Filtrado adaptativo multicanal para control local de campo sonoro basado en algoritmos de proyección afín. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia., recuperado el 13 de setiembre de 2019.
- Kang, G., Fransen. L. (1987). Voice Preprocessing for Digital Voice Applications DC. Naval Research Laboratory. Washington, recuperado el 20 de agosto de 2019.
- Velezmoro, J., Kahn, A. (2017). Implementación de un algoritmo para la eliminación de ruidos eléctricos de baja frecuencia en la toma de datos analógicos para controladores lógicos programables. Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo. Perú., recuperado el 25 de agosto de 2019.

ANEXOS

SIMATIC HMI, KTP700 Basic DP, Basic Panel, Key/touch operation, 7" TFT display, 65536 colors, PROFIBUS interface, configurable as of WinCC Basic V13/ STEP 7 Basic V13, contains open-source software, which is provided free of charge see enclosed CD



General information	
Product type designation	KTP700 Basic color DP
Display	
Design of display	TFT widescreen display, LED backlighting
Screen diagonal	7 in
Display width	154.1 mm
Display height	85.9 mm
Number of colors	65 536
Resolution (pixels)	
• Horizontal image resolution	800 Pixel
• Vertical image resolution	480 Pixel
Backlighting	
• MTBF backlighting (at 25 °C)	20 000 h
• Backlight dimmable	Yes
Control elements	
Keyboard fonts	
• Function keys	
— Number of function keys	8

— Number of function keys with LEDs	0
• Keys with LED	No
• System keys	No
• Numeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
• alphanumeric keyboard	Yes; Onscreen keyboard
Touch operation	
• Design as touch screen	Yes
Installation type/mounting	
Mounting position	vertical
Mounting in portrait format possible	Yes
Mounting in landscape format possible	Yes
maximum permissible angle of inclination without external ventilation	35°
Supply voltage	
Type of supply voltage	DC
Rated value (DC)	24 V
permissible range, lower limit (DC)	19.2 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
Current consumption (rated value)	230 mA
Starting current inrush I ² t	0.2 A ² ·s
Power	
Active power input, typ.	5.5 W
Processor	
Processor type	ARM
Memory	
Flash	Yes
RAM	Yes
Memory available for user data	10 Mbyte
Type of output	
Acoustics	
• Buzzer	Yes
• Speaker	No
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	Yes
• Software clock	Yes
• retentive	Yes; Back-up duration typically 6 weeks
• synchronizable	Yes

Interfaces	
Number of industrial Ethernet interfaces	0
Number of RS 485 interfaces	1
Number of RS 422 interfaces	1; together with RS 485
Number of RS 232 interfaces	0; with optional adapter
Number of USB interfaces	1; Up to 16 GB
Number of 20 mA interfaces (TTY)	0
Number of parallel interfaces	0
Number of other interfaces	0
Number of SD card slots	0
With software interfaces	No
Industrial Ethernet	
• Industrial Ethernet status LED	0
Protocols	
PROFINET	No
Supports protocol for PROFINET IO	No
IRT	No
PROFIBUS	Yes
MPI	Yes
Protocols (Ethernet)	
• TCP/IP	No
• DHCP	No
• SNMP	No
• DCP	No
• LLDP	No
WEB characteristics	
• HTTP	No
• HTML	No
Redundancy mode	
Media redundancy	
— MRP	No
Further protocols	
• CAN	No
• EtherNet/IP	No
• MODBUS	Yes; Modicon (MODBUS RTU)
Interrupts/diagnostics/status information	
Diagnostic messages	
• Diagnostic information readable	No
EMC	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class A, for use in industrial areas	Yes

- Limit class B, for use in residential areas

No

Degree and class of protection

IP (at the front)	IP65
IP (rear)	IP20
NEMA (front)	
• Enclosure Type 4 at the front	Yes
• Enclosure Type 4x at the front	Yes

Standards, approvals, certificates

CE mark	Yes
cULus	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes

Use in hazardous areas

• ATEX Zone 2	No
• ATEX Zone 22	No
• IECEx Zone 2	No
• IECEx Zone 22	No
• cULus Class I Zone 1	No
• cULus Class I Zone 2, Division 2	No
• FM Class I Division 2	No

Marine approval

• Germanischer Lloyd (GL)	Yes
• American Bureau of Shipping (ABS)	Yes
• Bureau Veritas (BV)	Yes
• Det Norske Veritas (DNV)	Yes
• Lloyds Register of Shipping (LRS)	Yes
• Nippon Kaiji Kyokai (Class NK)	Yes
• Polski Rejestr Statkow (PRS)	No
• Chinese Classification Society (CCS)	No

Ambient conditions

Suited for indoor use	Yes
Suited for outdoor use	No

Ambient temperature during operation

• Operation (vertical installation)	
— For vertical installation, min.	0 °C
— For vertical installation, max.	50 °C
• Operation (max. tilt angle)	
— At maximum tilt angle, min.	0 °C
— At maximum tilt angle, min.	40 °C
• Operation (vertical installation, portrait format)	
— For vertical installation, min.	0 °C

— For vertical installation, max.	40 °C
• Operation (max. tilt angle, portrait format)	
— At maximum tilt angle, min.	0 °C
— At maximum tilt angle, min.	35 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-20 °C
• max.	60 °C
Relative humidity	
• Operation, max.	90 %; no condensation
Operating systems	
proprietary	Yes
pre-installed operating system	
• Windows CE	No
Configuration	
Message indicator	Yes
Alarm system (incl. buffer and acknowledgment)	Yes
Process value display (output)	Yes
Process value default (input) possible	Yes
Recipe management	Yes
Configuration software	
• STEP 7 Basic (TIA Portal)	Yes; via integrated WinCC Basic (TIA Portal)
• STEP 7 Professional (TIA Portal)	Yes; via integrated WinCC Basic (TIA Portal)
• WinCC flexible Compact	No
• WinCC flexible Standard	No
• WinCC flexible Advanced	No
• WinCC Basic (TIA Portal)	Yes
• WinCC Comfort (TIA Portal)	Yes
• WinCC Advanced (TIA Portal)	Yes
• WinCC Professional (TIA Portal)	Yes
Languages	
Online languages	
• Number of online/runtime languages	10
Project languages	
• Languages per project	32
Functionality under WinCC (TIA Portal)	
Libraries	Yes
Applications/options	
• Web browser	No
• SIMATIC WinCC Sm@rtServer	No
Number of Visual Basic Scripts	No

Task planner	Yes
• time-controlled	No
• task-controlled	Yes
Help system	Yes
• Number of characters per info text	500
Message system	
• Number of alarm classes	32
• Bit messages	
— Number of bit messages	1 000
• Analog messages	
— Number of analog messages	25
• S7 alarm number procedure	No
• System messages HMI	Yes
• System messages, other (SIMATIC S7, Sinumerik, Simotion, etc.)	Yes; System message buffer of the SIMATIC S7-1200 and S7-1500
• Number of characters per message	80
• Number of process values per message	8
• Acknowledgment groups	Yes
• Message indicator	Yes
• Message buffer	
— Number of entries	256
— Circulating buffer	Yes
— retentive	Yes
— maintenance-free	Yes
Recipe management	
• Number of recipes	50
• Data records per recipe	100
• Entries per data record	100
• Size of internal recipe memory	256 kbyte
• Recipe memory expandable	No
Variables	
• Number of variables per device	800
• Number of variables per screen	100
• Limit values	Yes
• Multiplexing	Yes
• Structures	No
• Arrays	Yes
Images	
• Number of configurable images	250
• Permanent window/default	Yes
• Global image	Yes
• Pop-up images	No

• Slide-in images	No
• Image selection by PLC	Yes
• Image number in the PLC	Yes
Image objects	
• Number of objects per image	100
• Text fields	Yes
• I/O fields	Yes
• Graphic I/O fields (graphics list)	Yes
• Symbolic I/O fields (text list)	Yes
• Date/time fields	Yes
• Switches	Yes
• Buttons	Yes
• Graphic display	Yes
• Icons	Yes
• Geometric objects	Yes
Complex image objects	
• Number of complex objects per screen	10
• Alarm view	Yes
• Trend view	Yes
• User view	Yes
• Status/control	No
• Sm@rtClient view	No
• Recipe view	Yes
• f(x) trend view	No
• System diagnostics view	Yes; System message buffer of the SIMATIC S7-1200 and S7-1500
• Media Player	No
• HTML browser	No
• PDF display	No
• IP camera display	No
• Bar graphs	Yes
• Sliders	No
• Pointer instruments	No
• Analog/digital clock	No
Lists	
• Number of text lists per project	300
• Number of entries per text list	100
• Number of graphics lists per project	100
• Number of entries per graphics list	100
Archiving	
• Number of archives per device	2; One message and one process value archive

• Number of entries per archive	10 000
• Message archive	Yes
• Process value archive	Yes
• Archiving methods	
— Sequential archive	Yes
— Short-term archive	Yes
• Memory location	
— Memory card	No
— USB memory	Yes
— Ethernet	No
• Data storage format	
— CSV	No
— TXT	Yes
— RDB	No
Security	
• Number of user groups	50
• Number of user rights	32
• Number of users	50
• Password export/import	Yes
• SIMATIC Logon	No
Character sets	
• Keyboard fonts	
— US English	Yes
Transfer (upload/download)	
• MPI/PROFIBUS DP	Yes
• USB	No
• Ethernet	No
• using external storage medium	Yes
Process coupling	
• S7-1200	Yes
• S7-1500	Yes
• S7-200	Yes
• S7-300/400	Yes
• LOGO!	Yes
• WinAC	Yes
• SINUMERIK	Yes; No access to NCK data
• SIMOTION	Yes
• Allen Bradley (EtherNet/IP)	No
• Allen Bradley (DF1)	Yes
• Mitsubishi (MC TCP/IP)	No
• Mitsubishi (FX)	Yes

- OMRON (FINS TCP) No
- OMRON (LINK/Multilink) Yes
- Modicon (Modbus TCP/IP) No
- Modicon (Modbus) Yes

Service tools/configuration aids

- Backup/Restore manually Yes
- Backup/Restore automatically No
- Simulation Yes
- Device switchover Yes

Peripherals/Options

Printer	No
SIMATIC HMI MM memory card: Multi Media Card	No
SIMATIC HMI SD memory card: Secure Digital memory card	No
SIMATIC HMI CF memory card Compact Flash Card	No
USB memory	Yes
SIMATIC IPC USB Flashdrive (USB stick)	Yes
SIMATIC HMI USB stick	Yes

Mechanics/material

Enclosure material (front)	
• Plastic	Yes
• Aluminum	No
• Stainless steel	No

Dimensions

Width of the housing front	214 mm
Height of housing front	158 mm
Mounting cutout, width	197 mm
Mounting cutout, height	141 mm
Overall depth	39 mm

Weights

Weight without packaging	800 g
Weight incl. packaging	1 kg

last modified: 07/31/2020

SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, compact CPU, DC/DC/DC, onboard I/O: 14 DI 24 V DC; 10 DO 24 V DC; 2 AI 0-10 V DC, Power supply: DC 20.4-28.8V DC, Program/data memory 100 KB



Figure similar

General information	
Product type designation	CPU 1214C DC/DC/DC
Firmware version	V4.4
Engineering with	
<ul style="list-style-type: none"> Programming package 	STEP 7 V16 or higher
Supply voltage	
Rated value (DC)	
<ul style="list-style-type: none"> 24 V DC 	Yes
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Reverse polarity protection	Yes
Load voltage L+	
<ul style="list-style-type: none"> Rated value (DC) permissible range, lower limit (DC) permissible range, upper limit (DC) 	24 V 20.4 V 28.8 V
Input current	

Current consumption (rated value)	500 mA; CPU only
Current consumption, max.	1 500 mA; CPU with all expansion modules
Inrush current, max.	12 A; at 28.8 V
I^2t	0.5 A ² ·s

Output current	
for backplane bus (5 V DC), max.	1 600 mA; Max. 5 V DC for SM and CM

Encoder supply	
24 V encoder supply	
• 24 V	L+ minus 4 V DC min.

Power loss	
Power loss, typ.	12 W

Memory	
Work memory	
• integrated	100 kbyte
• expandable	No
Load memory	
• integrated	4 Mbyte
• Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	with SIMATIC memory card
Backup	
• present	Yes
• maintenance-free	Yes
• without battery	Yes

CPU processing times	
for bit operations, typ.	0.08 µs; / instruction
for word operations, typ.	1.7 µs; / instruction
for floating point arithmetic, typ.	2.3 µs; / instruction

CPU-blocks	
Number of blocks (total)	DBs, FCs, FBs, counters and timers. The maximum number of addressable blocks ranges from 1 to 65535. There is no restriction, the entire working memory can be used
OB	
• Number, max.	Limited only by RAM for code

Data areas and their retentivity	
Retentive data area (incl. timers, counters, flags), max.	10 kbyte
Flag	
• Number, max.	8 kbyte; Size of bit memory address area
Local data	
• per priority class, max.	16 kbyte; Priority class 1 (program cycle): 16 KB, priority class 2 to 26: 6 KB

Address area	
Process image	
• Inputs, adjustable	1 kbyte
• Outputs, adjustable	1 kbyte
Hardware configuration	
Number of modules per system, max.	3 comm. modules, 1 signal board, 8 signal modules
Time of day	
Clock	
• Hardware clock (real-time)	Yes
• Backup time	480 h; Typical
• Deviation per day, max.	±60 s/month at 25 °C
Digital inputs	
Number of digital inputs	14; Integrated
• of which inputs usable for technological functions	6; HSC (High Speed Counting)
Source/sink input	Yes
Number of simultaneously controllable inputs	
all mounting positions	
— up to 40 °C, max.	14
Input voltage	
• Rated value (DC)	24 V
• for signal "0"	5 V DC at 1 mA
• for signal "1"	15 V DC at 2.5 mA
Input delay (for rated value of input voltage)	
for standard inputs	
— parameterizable	0.2 ms, 0.4 ms, 0.8 ms, 1.6 ms, 3.2 ms, 6.4 ms and 12.8 ms, selectable in groups of four
— at "0" to "1", min.	0.2 ms
— at "0" to "1", max.	12.8 ms
for interrupt inputs	
— parameterizable	Yes
for technological functions	
— parameterizable	Single phase: 3 @ 100 kHz & 3 @ 30 kHz, differential: 3 @ 80 kHz & 3 @ 30 kHz
Cable length	
• shielded, max.	500 m; 50 m for technological functions
• unshielded, max.	300 m; for technological functions: No
Digital outputs	
Number of digital outputs	10
• of which high-speed outputs	4; 100 kHz Pulse Train Output
Limitation of inductive shutdown voltage to	L+ (-48 V)

Switching capacity of the outputs	
• with resistive load, max.	0.5 A
• on lamp load, max.	5 W
Output voltage	
• for signal "0", max.	0.1 V; with 10 kOhm load
• for signal "1", min.	20 V
Output current	
• for signal "1" rated value	0.5 A
• for signal "0" residual current, max.	0.1 mA
Output delay with resistive load	
• "0" to "1", max.	1 µs
• "1" to "0", max.	5 µs
Switching frequency	
• of the pulse outputs, with resistive load, max.	100 kHz
Relay outputs	
• Number of relay outputs	0
Cable length	
• shielded, max.	500 m
• unshielded, max.	150 m
Analog inputs	
Number of analog inputs	2
Input ranges	
• Voltage	Yes
Input ranges (rated values), voltages	
• 0 to +10 V	Yes
— Input resistance (0 to 10 V)	≥100k ohms
Cable length	
• shielded, max.	100 m; twisted and shielded
Analog outputs	
Number of analog outputs	0
Analog value generation for the inputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	10 bit
• Integration time, parameterizable	Yes
• Conversion time (per channel)	625 µs
Encoder	
Connectable encoders	
• 2-wire sensor	Yes
1. Interface	

Interface type	PROFINET
Physics	Ethernet
Isolated	Yes
automatic detection of transmission rate	Yes
Autonegotiation	Yes
Autocrossing	Yes
Interface types	
• Number of ports	1
• integrated switch	No
Protocols	
• PROFINET IO Controller	Yes
• PROFINET IO Device	Yes
• SIMATIC communication	Yes
• Open IE communication	Yes; Optionally also encrypted
• Web server	Yes
• Media redundancy	No
PROFINET IO Controller	
• Transmission rate, max.	100 Mbit/s
Services	
— PG/OP communication	Yes
— S7 routing	Yes
— Isochronous mode	No
— IRT	No
— MRP	No
— MRPD	No
— PROFlenergy	No
— Prioritized startup	Yes
— Number of IO devices with prioritized startup, max.	16
— Number of connectable IO Devices, max.	16
— Number of connectable IO Devices for RT, max.	16
— of which in line, max.	16
— Activation/deactivation of IO Devices	Yes
— Number of IO Devices that can be simultaneously activated/deactivated, max.	8
— Updating time	The minimum value of the update time also depends on the communication component set for PROFINET IO, on the number of IO devices and the quantity of configured user data.
PROFINET IO Device	
Services	
— PG/OP communication	Yes
— S7 routing	Yes

— Isochronous mode	No
— IRT	No
— MRP	No
— MRPD	No
— PROFinergy	Yes
— Shared device	Yes
— Number of IO Controllers with shared device, max.	2

Protocols

Supports protocol for PROFINET IO	Yes
PROFIBUS	Yes; CM 1243-5 (master) or CM 1242-5 (slave) required
AS-Interface	Yes; CM 1243-2 required

Protocols (Ethernet)

• TCP/IP	Yes
• DHCP	No
• SNMP	Yes
• DCP	Yes
• LLDP	Yes

Open IE communication

• TCP/IP	Yes
— Data length, max.	8 kbyte
• ISO-on-TCP (RFC1006)	Yes
— Data length, max.	8 kbyte
• UDP	Yes
— Data length, max.	1 472 byte

Web server

• supported	Yes
• User-defined websites	Yes

OPC UA

• Runtime license required	Yes; "Basic" license required
• OPC UA Server	Yes; Data access (read, write, subscribe), runtime license required
— Application authentication	Available security policies: None, Basic128Rsa15, Basic256Rsa15, Basic256Sha256
— User authentication	"anonymous" or by user name & password
— Number of sessions, max.	5
— Number of accessible variables, max.	1 000
— Number of subscriptions per session, max.	5
— Sampling interval, min.	100 ms
— Publishing interval, min.	200 ms
— Number of monitored items, max.	500
— Number of server interfaces, max.	2

— Number of nodes for user-defined server interfaces, max.	1 000
Further protocols	
• MODBUS	Yes
Communication functions	
S7 communication	
• supported	Yes
• as server	Yes
• as client	Yes
• User data per job, max.	See online help (S7 communication, user data size)
Number of connections	
• overall	8 connections for open user communication (active or passive): TSEND_C, TRCV_C, TCON, TDISCON, TSEND and TRCV, 8 CPU/CPU connections (Client or Server) for GET/PUT data, 6 connections for dynamic assignment to GET/PUT or open user communication
Test commissioning functions	
Status/control	
• Status/control variable	Yes
• Variables	Inputs/outputs, memory bits, DBs, distributed I/Os, timers, counters
Forcing	
• Forcing	Yes
Diagnostic buffer	
• present	Yes
Traces	
• Number of configurable Traces	2
• Memory size per trace, max.	512 kbyte
Interrupts/diagnostics/status information	
Diagnostics indication LED	
• RUN/STOP LED	Yes
• ERROR LED	Yes
• MAINT LED	Yes
Integrated Functions	
Number of counters	6
Counting frequency (counter) max.	100 kHz
Frequency measurement	Yes
controlled positioning	Yes
Number of position-controlled positioning axes, max.	8
Number of positioning axes via pulse-direction interface	4; With integrated outputs
PID controller	Yes

Number of alarm inputs	4
Number of pulse outputs	4
Limit frequency (pulse)	100 kHz

Potential separation

Potential separation digital inputs	
• Potential separation digital inputs	No
• between the channels, in groups of	1
Potential separation digital outputs	
• Potential separation digital outputs	Yes
• between the channels	No
• between the channels, in groups of	1

EMC

Interference immunity against discharge of static electricity	
• Interference immunity against discharge of static electricity acc. to IEC 61000-4-2	Yes
— Test voltage at air discharge	8 kV
— Test voltage at contact discharge	6 kV
Interference immunity to cable-borne interference	
• Interference immunity on supply lines acc. to IEC 61000-4-4	Yes
• Interference immunity on signal cables acc. to IEC 61000-4-4	Yes
Interference immunity against voltage surge	
• Interference immunity on supply lines acc. to IEC 61000-4-5	Yes
Interference immunity against conducted variable disturbance induced by high-frequency fields	
• Interference immunity against high-frequency radiation acc. to IEC 61000-4-6	Yes
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class A, for use in industrial areas	Yes; Group 1
• Limit class B, for use in residential areas	Yes; When appropriate measures are used to ensure compliance with the limits for Class B according to EN 55011

Degree and class of protection

IP degree of protection	IP20
-------------------------	------

Standards, approvals, certificates

CE mark	Yes
UL approval	Yes
cULus	Yes
FM approval	Yes
RCM (formerly C-TICK)	Yes
KC approval	Yes
Marine approval	Yes

Ambient conditions	
Free fall	
• Fall height, max.	0.3 m; five times, in product package
Ambient temperature during operation	
• min.	-20 °C
• max.	60 °C; Number of simultaneously activated inputs or outputs 7 or 5 (no adjacent points) at 60 °C horizontal or 50 °C vertical, 14 or 10 at 55 °C horizontal or 45 °C vertical
• horizontal installation, min.	-20 °C
• horizontal installation, max.	60 °C
• vertical installation, min.	-20 °C
• vertical installation, max.	50 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-40 °C
• max.	70 °C
Air pressure acc. to IEC 60068-2-13	
• Operation, min.	795 hPa
• Operation, max.	1 080 hPa
• Storage/transport, min.	660 hPa
• Storage/transport, max.	1 080 hPa
Altitude during operation relating to sea level	
• Installation altitude, min.	-1 000 m
• Installation altitude, max.	2 000 m
Relative humidity	
• Operation, max.	95 %; no condensation
Vibrations	
• Vibration resistance during operation acc. to IEC 60068-2-6	2 g (m/s ²) wall mounting, 1 g (m/s ²) DIN rail
• Operation, tested according to IEC 60068-2-6	Yes
Shock testing	
• tested according to IEC 60068-2-27	Yes; IEC 68, Part 2-27 half-sine: strength of the shock 15 g (peak value), duration 11 ms
Pollutant concentrations	
• SO ₂ at RH < 60% without condensation	SO ₂ : < 0.5 ppm; H ₂ S: < 0.1 ppm; RH < 60% condensation-free
Configuration	
Programming	
Programming language	
— LAD	Yes
— FBD	Yes
— SCL	Yes
Know-how protection	
• User program protection/password protection	Yes

• Copy protection	Yes
• Block protection	Yes
Access protection	
• Protection level: Write protection	Yes
• Protection level: Read/write protection	Yes
• Protection level: Complete protection	Yes
Cycle time monitoring	
• adjustable	Yes

Dimensions

Width	110 mm
Height	100 mm
Depth	75 mm

Weights

Weight, approx.	415 g
-----------------	-------

last modified: 08/06/2020