UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creado por Ley Nº 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA - SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TESIS

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ORGANOLÉPTICA DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA CIUDAD DE PAMPAS CON PLC SIMATIC S7 1500 Y WINCC

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN

PRESENTADO POR:

BACH. FRANCISCO JAVIER LLACCTAHUAMÁN MULATO

BACH. MAGDA CARBAJAL MORAN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

HUANCAVELICA, PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley N ° 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA – SISTEMA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN VIRTUAL

Mediante el aplicativo Google Meet con enlace: meet.google.com/vgu-hdnw-pda, habilitado por Secretaría Docente de la Facultad de Ingeniería Electrónica – Sistemas, en mérito a la **Resolución de Consejo de Facultad Nº 214-2021-FIES-UNH** de fecha 30 de setiembre del 2021, a los 11 días del mes de octubre del año 2021, a horas 11:00 a.m.; ante la ausencia del Mg. Ángel ALMIDON ELESCANO quien formaba parte del jurado titular y en mérito al ***"Reglamento único de Grados Y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica, aprobado con Resolución N° 0330-2019-CU-UNH (29/03/2019); Modificado con Resolución Nº 0552-2021-CU-UNH (14/05/2021), Art 12º De la sustentación del trabajo de investigación; 12.8. Si en la fecha, hora y lugar señalado para el acto de sustentación, faltara por razones justificadas y documentadas uno de los miembros del jurado titular, será remplazado automáticamente por el docente accesitario, quien remplazará al miembro faltante; la reestructuración de los miembros debe constar en el acta de sustentación. Si faltan dos miembros del jurado, el titular presente suspende el acto de sustentación, suscribiendo el acta correspondiente en el que se fijará la nueva fecha y hora dentro de las 24 horas, no requiere nuevo acto resolutivo, comunicando al o los interesados, al decano y a los miembros del jurado".*** En consecuencia, se reunieron; el Jurado Calificador, y asumiendo el accesitario en calidad de presidente, la misma que está conformado de la siguiente manera:

Presidente : Mg. Janeth Bertha MARIÑO ARROYO

Secretario : Mg. Esteban Edgar DE LA CRUZ VILCHEZ

Vocal : Mg. Carlos Abel GALVÁN MALDONADO

Designados con Resolución de Consejo de Facultad Nº 154-2021-FIES-UNH, de fecha 01 de julio del 2021 del proyecto de investigación, Titulado:

"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ORGANOLÉPTICA DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA CIUDAD DE PAMPAS CON PLC SIMATIC S7 1500 Y WINCC".

Cuyo autor es el (los) graduado (s): Bachilleres:

Francisco Javier LLACCTAHUAMAN MULATO

Magda CARBAJAL MORÁN

A fin de proceder con la evaluación y calificación de la sustentación del proyecto de investigación, antes citado.

Se dio inicio a la sustentación del proyecto de investigación en mención, a horas 11 con 15 minutos, concluyendo a horas 12 con 30 minutos.

Finalizado la sustentación; se invitó al público presente y los sustentantes abandonar la sala de actos; y, luego de una amplia deliberación y calificación por parte del jurado, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO POR: MAYORÍA

.....	.....
Mg. Janeth Bertha MARIÑO ARROYO	Mg. Esteban Edgar DE LA CRUZ VILCHEZ
Presidente	Secretario

.....

Mg. Carlos Abel GALVÁN MALDONADO

Vocal

TÍTULO:

“DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ORGANOLÉPTICA DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA CIUDAD DE PAMPAS CON PLC SIMATIC S7 1500 Y WINCC”

AUTORES:

BACH. FRANCISCO JAVIER LLACCTAHUAMÁN MULATO

BACH. MAGDA CARBAJAL MORAN

ASESOR:

ING. CARLOS ABEL GALVÁN MALDONADO

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestra gratitud y aprecio al Ing. Carlos Abel Galván Maldonado, por su asesoría y apoyo desinteresado para la culminación de este trabajo de investigación.

Agradecemos a todos los docentes de la Escuela profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería Electrónica-Sistemas de la Universidad Nacional de Huancavelica, por brindarnos sus conocimientos que nos sirvieron de base y guía para formular y ejecutar el trabajo.

Finalmente quiero agradecer al director de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Sistemas de la UNH, por darnos las facilidades para el uso de los equipos e instrumentos que se emplearon en la medición de parámetros físicos-químicos del agua consumido por la población de la ciudad de Pampas.

ÍNDICE

ACTA DE SUSTENTACIÓN ii
TÍTULO iii
AUTORES iv
ASESOR v
AGRADECIMIENTO vi
ÍNDICE vii
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xii
RESUMEN xv
ABSTRACT xvi
INTRODUCCIÓN xvii
CAPÍTULO I 1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 2
1.2.1. Problema general 2
1.2.2. Problemas específicos 2
1.3. OBJETIVOS 3
1.3.1. Objetivo general 3
1.3.2. Objetivos específicos 3
1.4. JUSTIFICACIÓN 4
1.4.1. Justificación tecnológica 4
1.4.2. Justificación social 4
1.4.3. Justificación ecológica 4

CAPÍTULO II 5
MARCO TEÓRICO 5
2.1. ANTECEDENTES 5
2.2. BASES TEÓRICAS 7
2.2.1. Agua para consumo humano 7
2.2.2. Normas vigentes de calidad de agua para consumo humano en el Perú 9
2.2.3. Índice de calidad del agua 12
2.2.4. Clasificación del índice de calidad del agua 18
2.2.5. Parámetros organolépticos del agua 20
2.2.6. Sensores y transmisores 25
2.2.7. Controlador lógico programable para la adquisición y monitoreo de los parámetros del agua 34
2.2.8. Software para programar el PLC SIMATIC S7 1500 37
2.2.9. Wincc Unified 39
2.3. HIPÓTESIS 40
2.3.1. Hipótesis general 40
2.3.2. Hipótesis específicas 41
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 41
2.5. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES 42
2.5.1. Variable independiente 42
2.5.2. Variable dependiente 42
CAPÍTULO III 44
MATERIALES Y MÉTODOS 44

3.1. Área de estudio 44
3.2. Equipamiento electrónico 46
3.3. Tipo de investigación 47
3.4. Nivel de investigación 48
3.5. Método de investigación 48
3.6. Diseño de investigación 48
3.7. Metodología de obtención de la calidad del agua 49
3.8. Selección de variables organolépticas de calidad del agua 50
3.9. Cálculo del subíndice de los parámetros organolépticos del agua 50
3.10. Cálculo de pesos de los parámetros organolépticos del agua 56
3.11. Clasificación por rangos del índice de calidad del agua 56
3.12. Población y muestra 57
3.13. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 57
3.14. Técnicas de procesamiento y análisis de datos 62
CAPÍTULO IV 66
DISCUSIÓN DE RESULTADOS 66
4.1. RESULTADOS 66
4.1.1. Parámetro pH 66
4.1.2. Parámetro CE 68
4.1.3. Parámetro Turbiedad 69
4.1.4. Parámetro FCL 71
4.1.5. Parámetro ΔTemperatura 72
4.1.6. Indice de calidad organoléptica del agua (WQI) 73

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 75
4.2.1. Parámetro pH 75
4.2.2. Parámetro CE 76
4.2.3. Parámetro Turbiedad 76
4.2.4. Parámetro FCL 77
4.2.5. Parámetro ΔTemperatura 77
4.2.6. Índice de calidad organoléptica del agua (WQI) 78
CONCLUSIONES 80
RECOMENDACIONES 82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83
APÉNDICE 90
A. MUESTRA TOMADAS 90
B. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS 99
C. FOTOGRAFÍAS 103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles de parámetros organolépticos 10

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos considerados por diferentes WQI 13

Tabla 3. Pesos relativos asignados a los parámetros que conforman los WQI 14

Tabla 4. Ecuaciones que determinan diferentes índices de calidad del agua 18

Tabla 5. Calificación de los índices de calidad del agua 19

Tabla 6. Tolerancias y clases de Pt100 32

Tabla 7. Pt100, clases, precisión y tolerancia 32

Tabla 8. Definición operativa de variables e indicadores. 43

Tabla 9. Límites máximos permisibles y pesos de parámetros organolépticos del agua 56

Tabla 10. Calificación por rango del índice de calidad del agua de consumo humano 57

Tabla 11. Formato para la recolección de datos de parámetros organolépticos del agua 62

Tabla 12. Prueba de rangos unilateral a la derecha de Wilcoxon del parámetro pH 67

Tabla 12. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro pH 67

Tabla 14. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro CE 69

Tabla 15. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro Turbiedad 70

Tabla 16. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro FCL 71

Tabla 17. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro ΔTemperatura 73

Tabla 18. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del WQI 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rango de clasificación de los índices de calidad del agua 19
Figura 2. Escala logarítmica de determinación de pH del agua 20
Figura 3. Sales disueltas en agua producen un anión y un catión, que son bases de la conductividad en el agua 21
Figura 4. Agua con diferentes niveles de turbiedad en UNT 22
Figura 5. Esquema de mediciones nefelométricas de la turbiedad del agua 23
Figura 6. Diagrama de desinfección del agua de consumo humano por cloración 24
Figura 7. Influencia de la temperatura en los demás parámetros que definen la calidad del agua 25
Figura 8. Sensor y transmisor de pH 26
Figura 9. Procedimiento de calibración del electrodo para medir el pH 27
Figura 10. Instalación del electrodo de conductividad eléctrica en la celda de flujo. 28
Figura 11. Sensor-transmisor de turbiedad 29
Figura 12. Sensor-transmisor de cloro residual 30
Figura 13. Sensor-transmisor de cloro residual 33
Figura 14. Sensor-transmisor de temperatura Pt100 33
Figura 15. Cableado a 2, 3 o 4 hilos del sensor – transmisor de temperatura Pt100 34
Figura 16. PLC SIMATIC S7 1500 y módulos de entrada/salida 34
Figura 17. Vista frontal del módulo AI 8xU/I/RTD/TC ST 35
Figura 18. Configuración del módulo analógico módulo AI 8xU/I/RTD/TC ST a 4 hilos para medida de intensidad 4 a 20 mA 36
Figura 19. Configuración del módulo analógico módulo AI 8xU/I/RTD/TC ST a 2 hilos para medida de intensidad 4 a 20 mA 37
Figura 20. Componente del TIA Portal 38
Figura 21. Configuración de sistema base y 2 accesos a clientes en WinCC Unified 40

Figura 22. Abastecimiento de agua por red pública y manzanas para el distrito de Pampas 44
Figura 23. Localización de la estación de monitoreo de agua de consumo humano en la ciudad de Pampas 45
Figura 24. Configuración sobre rack del PLC S7 1500 (izquierda) y módulo analógico de 08 canales (derecha) 47
Figura 25. Diagrama de diseño del índice organoléptica de calidad del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas. 50
Figura 26. Curva de función para calcular el subíndice del pH 51
Figura 27. Curva de función para calcular el subíndice de CE 52
Figura 28. Curva de función para calcular el subíndice de Turbiedad 53
Figura 29. Curva de función para calcular el subíndice de FCL 54
Figura 30. Curva de función para calcular el subíndice de ΔTemperatura 54
Figura 31. Programa en SCL que calcula los subíndices de los parámetros organolépticos del agua de consumo humano 55
Figura 32. Asignación de direcciones de entrada del módulo analógico a los sensores-transmisores de parámetros de agua 58
Figura 33. Configuración de los sensores-transmisores a 4 y 2 hilos con rango de medición de 4 a 20 mA 58
Figura 34. Normalización y escalado del pH en el rango de 0 a 14 59
Figura 35. Normalización y escalado de la CE en el rango de 0 a 2000 uS/cm 59
Figura 36. Normalización y escalado de la Turbiedad en el rango de 0 a 4000 UNT 59
Figura 37. Normalización y escalado del FCL en el rango de 0 a 20 mg/L 60
Figura 38. Normalización y escalado de la Temperatura en el rango de 0 a 100 °C 60
Figura 39. Bloque de sensores-transmisores normalizados y escalados para uso en el bloque de programa Main [OB1] 60
Figura 40. Ficheros para almacenamiento de datos 61
Figura 41. Ficheros para almacenamiento de datos 61
Figura 42. Bloque de función de cálculo del índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano 63

Figura 43. Función matemática de cálculo del índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano, implementado para PLC S7 1500 63
Figura 44. Interface HMI para la determinación de la calidad organoléptica del agua de consumo humano con PLC S7 1500 y WinCC..... 64
Figura 45. Prueba Z de rangos unilateral del WQI del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas 74

RESUMEN

El objetivo del trabajo de investigación fue determinar la calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, con un algoritmo implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC, durante la época de estiaje octubre a diciembre del año 2020. Se identificaron cinco parámetros organolépticos medibles del agua de consumo humano, siendo estos: el potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), Turbiedad, cloro libre (FCL) y el incremento de temperatura (ΔTemperatura). Se tomaron muestras de cada parámetro en el cercado de la ciudad de Pampas, durante la época de estiaje en los meses de octubre a diciembre del año 2020, por medio de instrumentos electrónicos con transmisión de señal de corriente (4-20 mA) con conexiones a dos y cuatro hilos. Se desarrolló un algoritmo de cálculo de subíndices por cada parámetro basado en funciones establecidas por la metodología Dinius-WQI, cuya programación para PLC S7 1500 se desarrolló en lenguaje SCL, se implementó una interface HMI con almacenamiento de datos en Excel en WinCC Unified de Siemens el cual permitió la visualización del índice de calidad del organoléptica del agua en estudio. El valor de las muestras, fueron analizados empleando la prueba de Wilcoxon por ser no paramétricas, para alfa=0.05. Como resultado, se determinó que el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas es mayor del 70 % demostrándose que es de clase 3 y que es dudoso para el consumo sin tratamiento, de acuerdo a lo establecido por la metodología de Dinius-WQI.

Palabras clave: Parámetros organolépticos, calidad de agua, monitoreo, S7 1500 y WinCC Unified.

ABSTRACT

The objective of the research work was to determine the organoleptic quality of the water for human consumption in the city of Pampas, with an algorithm implemented in PLC Simatic S7 1500 and WinCC, during the dry season from October to December of the year 2020. Five parameters were identified measurable organoleptics of water for human consumption, these being: the hydrogen potential (pH), electrical conductivity (EC), turbidity, free chlorine (FCL) and the increase in temperature (ΔTemperature). Samples of each parameter were taken in the fencing of the city of Pampas, during the dry season in the months of October to December of the year 2020, by means of electronic instruments with current signal transmission (4-20 mA) with connections to two and four wires. An algorithm for calculating subscripts was developed for each parameter based on functions established by the Dinius-WQI methodology, whose programming for S7 1500 PLC was developed in SCL language, an HMI interface with data storage in Excel was implemented in WinCC Unified from Siemens. which allowed the visualization of the quality index of the organoleptic of the water under study. The value of the samples was analyzed using the Wilcoxon test for being non-parametric, for alpha = 0.05. As a result, it was determined that the organoleptic quality index of water for human consumption in the city of Pampas is greater than 70%, demonstrating that it is class 3 and that it is doubtful for consumption without treatment, according to what is established by the methodology by Dinius-WQI.

Key words: Organoleptic parameters, water quality, monitoring, S7 1500 and WinCC Unified.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua superficial es un aspecto muy sensible y crítico en muchos países. Además, con una mayor importancia la calidad del agua potable para consumo de la población y la calidad del agua para el ecosistema acuático; por lo que hay la necesidad de evaluar la calidad del agua superficial [1]. La influencia de las actividades humanas degrada los procesos naturales de las aguas superficiales y perjudican su uso para beber, la industria, la agricultura, la recreación y otros fines. Por lo tanto, en todos los países es necesario monitorear la calidad del agua para la protección de los recursos de agua dulce [2].

Se han introducido varios enfoques para evaluar los diferentes parámetros del agua. Dentro de estos se tiene el método del índice de calidad del agua (WQI) para evaluar la idoneidad del agua en general y consumo poblacional como es el caso de esta investigación. Kannel y col. [3] utilizó WQI para evaluar los cambios espaciales y estacionales en la calidad del agua en la cuenca del río Bagmati. Debels y col. [4] calculó el WQI para establecer la característica de la variabilidad en el espacio y tiempo de la calidad del agua superficial en la cuenca, considerando 09 parámetros físico-químicos, medidos en forma periódica en 18 lugares de muestreo en el río Chill'an.

El uso del WQI fue propuesto inicialmente por Horton en 1965 [5] y Brown y col. [6]. Luego, varios autores desarrollaron muchas metodologías para el cálculo de WQI [4], [7], [8]. El WQI se considera un criterio que permite clasificar las aguas superficiales basados en el uso de parámetros estándar, para la caracterización del agua. Proporciona una imagen completa de la calidad del agua para la mayoría de los usos domésticos. WQI es una herramienta matemática que se utiliza para transformar los datos de caracterización del agua en un solo número, que es el nivel de calidad del agua [9]. Se han formulado varios WQI en todo el mundo, como el Índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento de EE. UU. (NSF WQI) y Dinius-WQI [6], Índice de Calidad del Agua del Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME WQI) [10], el índice de calidad del agua de Columbia Británica (BC WQI) y el índice de calidad del agua de Oregón (O WQI) [3], [4]. La mayoría de estos índices

se basan en el WQI desarrollado por la “Fundación Nacional de Saneamiento” de EE. UU. (NSF) en 1970 y se usa comúnmente en el mundo [6]. El Dinius-WQI fue desarrollado para proporcionar un método estandarizado para comparar la calidad del agua de varias fuentes de agua basado en nueve parámetros de calidad del agua, es decir, temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez, coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, fosfatos totales, nitratos y sólidos totales. Los rangos de calidad del agua han sido definidos como: clase 1.- no requiere tratamiento, clase 2.- tratamiento menor requerido, clase 3.- dudoso consumo sin tratamiento, clase 4.- tratamiento de potabilización necesario, clase 5.- dudoso para consumo y clase 6.- inaceptable para su consumo; según el método Dinius-WQI [11].

Por otro lado, a nivel de determinación de la calidad del agua en Latinoamérica tenemos: en 2017 Bracho y Fernández [12], en Venezuela evalúa la potabilidad del agua para consumo humano, realizando comparaciones con estándares internacionales, concluyendo que el agua estudiado requiere tratamientos. En 2014, Bueno, Torres y Delgado [13], monitorean el pH del río Cauca concluyendo que es necesario realizar procesos de ajuste y estabilización. En 2019 Rodríguez [14] evalúa la calidad del agua para en la Universidad Nacional de Trujillo, determinando que se debe usar tratamientos para mejorar su calidad. Diversos estudios concluyen que este líquido elemento de consumo humano debe ser tratado de una u otra forma.

Por lo que, la calidad del agua es importante, siendo, muchas veces difícil determinar con la facilidad y precisión necesaria el índice que la caracteriza por involucrar muchos parámetros. Sin embargo, la metodología Dinius-WQI permite adecuar a situaciones particulares y determinar el WQI en específico, por lo que fue empleado en esta investigación.

En la ciudad de Pampas no se conoce la calidad del agua que se consume, por lo que se plantea como objetivo fundamental del estudio; determinar la calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, con un algoritmo implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

El trabajo está organizado en cuatro capítulos; Capítulo I: en esta parte se plantea y formula el problema, así mismo, se establecen los objetivos de la investigación. Capítulo II: aborda el marco teórico, donde se encuentran los antecedentes, las bases teóricas, planteamiento de las hipótesis y la definición operativa de las variables de estudio. Capítulo III: presenta los materiales y métodos empleados en la investigación. Capítulo IV: presenta la discusión de resultados, donde previamente se somete a prueba las hipótesis establecidas y luego se discute los resultados.

El informe es complementado con las conclusiones, recomendaciones para trabajos futuros y el apéndice.

Los Tesistas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un líquido de necesidad vital para la subsistencia de la humanidad. Las Naciones Unidas establece que una persona necesita de veinte a cincuenta litros de agua potable limpia y segura por cada día para beber, preparar sus alimentos y asearse [15]. Es derecho básico de la humanidad acceder al agua limpia, siendo un paso importante para mejorar el estándar de vida en todo el mundo [16]. Las poblaciones que carecen de este recurso, en su mayoría, son de bajos recursos económico, muchas veces destinados a consumir agua no apta para consumo humano.

Por otro lado, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece la distribución del agua debe ser lo suficientemente barata y de calidad para llegar a la mayor cantidad de pobladores que lo necesitan [17].

Muchos usuarios realizan pagos a la municipalidad de su localidad o a empresas privadas que administran la distribución del agua hasta la vivienda del usuario. Los que no poseen infraestructuras de transporte de agua pagan costos más elevados al adquirir agua de cisternas que muchas veces están contaminadas y otros adquieren agua envasada en locales comerciales o tiendas existen también otras fuentes de agua [18].

Varias metodologías de índices de calidad del agua se formularon a nivel mundial, con estos se pueden determinar con facilidad la calidad del agua para consumo humano dentro de una localidad o sector en particular [19]; estos índices tienen como base la comparación de varios parámetros de calidad del agua que están en normas reguladoras y dan un índice de calidad del agua [20].

La calidad del agua está determinado por sus características organolépticas, físico-químicos y orgánicos inorgánicos [21]. En la región Huancavelica, la

población que consume agua con nivel de cloro inadecuado (≥ 0.1 mg/L y <0.5 mg/L) del año 2010 al año 2019 tiene una diferencia porcentual de 24.1 [18, p. 62], es decir la calidad del agua en función al parámetro cloro libre empeoró en ese porcentaje.

En la ciudad de Pampas, no se cuenta con registros de calidad de agua de consumo humano en función a sus parámetros. Los parámetros organolépticos del agua para consumo humano está determinado por la turbiedad, conductividad eléctrica (EC), el potencial de hidrógeno (pH), cloro libre (FCL), temperatura, entre otros [22], que con la instrumentación necesaria se determina directamente desde la fuente.

Por lo que en esta investigación se propuso determinar el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, en periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, empleando sensores-transductores y un controlador lógico programable S7 1500 con monitoreo en una interface HMI implementado en WinCC Unified de Siemens.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, determinado con el algoritmo Dinius-WQI implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?

1.2.2. Problemas específicos

a. ¿Cuál es el intervalo del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?
b. ¿Cuál es el nivel de la Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?

c. ¿Cuál es el nivel de Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?
d. ¿Cuál es la concentración de Cloro Libre en el agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?
e. ¿Cuál es la variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Determinar el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, con el algoritmo Dinius-WQI implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

1.3.2. Objetivos específicos

a. Determinar el intervalo del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISHP105, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.
b. Determinar el nivel de la Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano, en la ciudad de Pampas, con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISRP105, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.
c. Determinar el nivel de Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISST105, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

d. Determinar el nivel de concentración de Cloro Libre en el agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, con el sensor transmisor Remond modelo RMD-ISCT105, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

e. Determinar la variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, con el sensor transmisor Pt100 tipo J, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

1.4. JUSTIFICACIÓN

1.4.1. Justificación tecnológica

La investigación se justifica en este aspecto toda vez que: para determinar la calidad organoléptica se implementó un sistema electrónico con sensores-transmisores de parámetros organolépticos del agua para consumo humano, empleando señales analógicas de corriente en el rango de 4 - 20 mA, contando también con un algoritmo implementado en un PLC S7 1500 para determinar la calidad del agua visualizado en una interface HMI desarrollado en WinCC Unified, bajo la plataforma de TIA Portal.

1.4.2. Justificación social

Siendo el agua un elemento esencial para la subsistencia humana con la instrumentación implementada en este trabajo es posible monitorear constantemente para que pueda ser tratada por las instituciones competentes y de manera adecuada, manteniendo a la población informada de la calidad del agua que se consume.

1.4.3. Justificación ecológica

Con este trabajo se logró determinar el índice de calidad del agua para consumo humano en función de los parámetros organolépticos, coadyuvando para un posterior adecuado tratamiento del agua y evitar la alteración de este ecosistema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

La calidad del agua para consumo humano es importante, ya que de esta depende la salud de la población. Se presenta a continuación los antecedentes que sirvieron de referencia y base a la investigación propuesta.

En 2018 Villena [23], en el estudio de revisión *"Calidad del agua y desarrollo sostenible"*, establece que "la calidad del agua es un valor ecológico esencial para la salud y para el crecimiento económico", sin embargo la minería alcanza al agua de consumo humano, contaminando las cuencas y exponiendo a la población, al cadmio en el norte, al plomo en el centro y al arsénico en la parte sur del Perú. Estable que los tratamientos son caros. En ese contexto, presenta conflictos socio ambientales por elementos contaminantes en el agua, esta revisión tuvo como objetivo motivar a las autoridades sanitarias al desarrollo de estrategias para que las mineras sean más ecoeficientes.

En 2017 Bracho y Fernández [12], en el trabajo "*Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en la comunidad venezolana de San Valentín, Maracaibo"*, evalúan el grado de potabilización del agua para consumo poblacional, analizando parámetros físico, químico y bacteriológico. Emplearon el método estándar para este país, comparando con normas sanitarias para establecer la calidad del agua comparando con estándares internacionales emitidos por la OMS. Concluye el estudio determinando que el agua de aducción requiere tratamiento y aguas de pozo requiere tratamiento de desalinización. Por lo que es necesario monitorear los parámetros del agua.

En 2014, Bueno, Torres y Delgado [13], en la investigación *"Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del río Cauca mediante índices de estabilización"*. En este estudio se monitoreó y controló el índice del pH del

agua del río Cauca previamente tratada aplicando procesos de ajuste del pH. El índice se estableció con datos históricos y medidos directamente en seis puntos sugiriendo el cambio de la tubería del sistema de distribución del agua.

En 2019 Rodríguez [14] en el trabajo de tesis "Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019", realiza el estudio con el objetivo de determinar la calidad del agua empleado para consumo humano, teniendo como lugar la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Trujillo durante el 2019. Analizó el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, se muestreó en 06 puntos, basándose en el "Protocolo del procedimiento para la toma de la muestra, preservaciones, conservaciones, transportes, almacenamientos y recepciones de agua para consumo humano". Empleó métodos normalizados. Se concluye que el agua en la ciudad Universitaria de la UNT no cumple con los Límites Máximos Permisibles requeridos; en consecuencia, esta no es apto para para consumo humano. Por lo que se determina que se debe usar tratamientos para mejorar la calidad del agua.

En 2018 Mendoza [24] en la tesis de maestría "Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú", el trabajo tuvo como objetivo "evaluar la calidad del agua superficial usada en consumo humano" en este centro poblado, mediante parámetros fisicoquímicos. Se monitoreó durante los meses de junio y setiembre 2017, con 08 puntos de muestreo en el río Caracha, para mediciones in situ y toma de muestras. Se midieron la temperatura, CE y pH; y otros en laboratorio. Los resultados obtenidos de los parámetros estudiados no superan los límites máximos y mínimos, a diferencia del fosfato que fue de 1.51 ppm en puquiales, así como también arsénico en 0.13 ppm en aguas del río Caracha.

En 2019 Angulo [25] en la tesis de maestría "Evaluación de parámetros de control obligatorio en sistemas de agua potable de la zona urbana y rural del distrito de San Juan - Cajamarca 2018", evalúa la calidad del agua potable del distrito de San Juan. Se muestrearon 4 redes de agua para consumo humano, al

azar, la toma se hizo en la tubería matriz muy cerca al reservorio, para el análisis correspondiente, después de obtener los resultados se implementaron herramientas de gestión para parámetros obligatorios dados en el "Reglamento de la calidad del agua para el consumo humano" DS N°031-2010-SA. Estableciendo que de 24 parámetros solo cumplían 15 por lo que fue necesario instrumentos de gestión para llegar cumplir hasta 20 de 24 parámetros.

En 2014 Vidal [26], en la tesis "Sistema de sensado remoto para la medición de variables ambientales", presenta como objetivo visualizar las variables presión y temperatura, logrando medir con sistemas de reducido costo basados en Microcontroladores ATMEGA 328, con una base de datos para almacenar la información obtenida por medio de radiofrecuencia. La información obtenida se transmite por medio de RF, red local y telefonía. Para alcanzar este propósito se emplearon sensores por cada variable transmitiendo por módulos RF. Sirviendo como referencia esta investigación para generación de base de datos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Agua para consumo humano

Este líquido elemento es definida como líquido transparente, sin color, sin olor e insípido cuando es pura. Cada una de las moléculas están formados de dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, cuya fórmula química es H_2O, definido en el diccionario de la Real Academia Española [27].

El agua para consumo humano es aquella que se consume sin restricción alguna debido a que, ya que no debe presentar riesgo para la salud. Por lo que, el término identifica al agua que se ajusta a las normas de calidad [22], [28].

El DIGESA, supervisa la calidad del agua en base a normas establecidos por el MINSA [22], siendo esta usado para todas las

empresas o instituciones administradoras de cualquier forma de agua potable para el uso de la población.

Los requisitos que debe cumplir la calidad del agua se encuentran en los 4 anexos del reglamento respectivo:

- En cuanto a los parámetros microbiológicos y otros organismos, en el anexo I, establece que: toda agua para consumo humano no debe contener bacterias coliformes totales, E. Coli, virus, huevos y larvas de helmintos, quistes; organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos y nemátodos; las bacterias heterotróficas, como se indica en el Anexo I, deben estar exenta de 500 UFC/ml a 35 °C.
- En cuanto a los parámetros de calidad organoléptica, establecido en el anexo II [22] considera el pH y cloro libre para medir directamente en el lugar; "olor, sabor, color, turbidez, conductividad, sólidos totales disueltos, cloruros, sulfatos, dureza, nitrógeno amoniacal y listado de metales totales".
- Los parámetros orgánicos e inorgánicos se consideran en el anexo III [22] siendo los inorgánicos; "cianuro total, cloro libre y cloro total (medición in situ), cloratos, cloritos, bromatos, fluoruros, nitratos, nitritos, listado de metales más mercurio, cloruro de cianógeno como cianuro libre. Los orgánicos se cubre aproximadamente el 90% de la lista, donde involucra los hidrocarburos totales, aceites y grasas, pesticidas organoclorados, fosforados, herbicidas, y otros compuestos orgánicos".
- También, considera parámetros radioactivos en el agua como radiación alfa y actividad beta presentan en el anexo IV [22].

2.2.1.1. Calidad del agua potable

El agua potable se caracteriza por parámetros con valores dentro de los límites permitidos de diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que posibilitan el consumo humano sin ocasionar

daño, donde Bracho y Fernández [12] establecen que se debe considerar tres aspectos característicos: “no tener microorganismos patógenos, no tener elementos que deterioren las propiedades organolépticas del agua potable, que hagan desagradables en el momento del consumo y estar exenta de disoluciones de algún compuesto químico en el agua que puedan ser perjudiciales de acuerdo a su concentración y estructura y que terminen deteriorando su calidad”.

2.2.2. Normas vigentes de calidad de agua para consumo humano en el Perú

2.2.2.1. Reglamento de la calidad del agua para consumo humano

En este reglamento fue aprobado por el Ministerio de Salud con DS N° 031-2010-SA, en el año 2010, donde se “establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población”.

Tiene como ámbito de aplicación y uso de obligatorio cumplimiento “para toda persona natural o jurídica, pública o privada, dentro del territorio nacional, que tenga responsabilidad de acuerdo a ley o participe o intervenga en cualquiera de las actividades de gestión, administración, operación, mantenimiento, control, supervisión o fiscalización del abastecimiento del agua para consumo humano, desde la fuente hasta su consumo”

Presenta los límites máximos permisibles (LMP) para agua potable de consumo humano, así como también la intervención de los gobiernos locales y regionales en su cumplimiento [22]. Este reglamento en sus anexos indica los LMP para los diferentes parámetros incluyendo los organolépticos que deben ser cumplidos

en las muestras de agua para consumo humano, este último se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Límites máximos permisibles de parámetros organolépticos

Parámetros	Unidades de Medida	Límites Máximos Permisibles
Olor	--------	Aceptable
Sabor	---------	Aceptable
ΔTemperatura	°C	± 3
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
Conductividad (25 °C)	uS/cm	1500
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000
Cloruros	mg Cl/L	0.5 a 1.0
Sulfatos	mg SO_4/L	250
Dureza total	mg $CaCo_3$/L	500
Amoniaco	mg N/L	1.5
Hierro	mg Fe/L	0.3
Magnesio	mg Mn/L	0.4
Aluminio	mg Al/L	0.2
Cobre	mg Cu/L	2.0
zinc	mg Zn/L	3.0
sodio	mg Na/L	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad
Nota: Adaptado del reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado el 24 de septiembre del 2010 [22].

2.2.2.2. Estándar de calidad del agua

El estándar de calidad ambiental del agua (ECA-agua) es una norma ambiental aprobada con Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, que categoriza la calidad del agua [21]. El Decreto Supremo fija los niveles de concentración de elementos, diferentes parámetros físicos-químicos

y biológicos, que se encuentran en el agua en su condición de cuerpo receptor siendo componente básico de los ecosistemas acuáticos, el mismo no debe representar riesgo importante para la salud de las personas ni para el ambiente [29].

El ECA para agua se clasifica en 4 categorías, siendo: Categoría 1: Poblacional y recreacional; Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales; Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales; y Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. En este trabajo nos ocuparemos de la Categoría 1.

La categoría 1, se subdivide en dos subcategorías: a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, son aguas que un tratamiento previo son destinados para el abastecimiento de agua para consumo humano. A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección, estas aguas reúnen las condiciones para consumo humano con una simple desinfección. A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional, se destina al consumo humano empleando procesos de coagulación, floculación, decantación entre otros. A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado, son aguas que se destinan al consumo humano [21].

En b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación, se debe entender aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. Se subdivide en: B1. Contacto primario, son aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud. Las actividades son consideradas el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, otros similares. B2. Contacto secundario, son aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares [21].

2.2.3. Índice de calidad del agua

Desde el inicio de la conceptualización del índice de calidad del agua, se han realizado numerosos estudios que intentaron mejorar la precisión y resolver los problemas de rigidez del valor de diferentes índices. Cada método o función tiene sus propios méritos y deméritos y está limitado a una aplicación en particular.

El índice de calidad de agua (del inglés Water Quality Índex WQI) es una herramienta que permite identificar la calidad de agua de un cuerpo superficial o subterráneo en un tiempo determinado. Se lo define como una expresión simple de una combinación más o menos compleja de múltiples parámetros físicos, químicos y microbiológicos, que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color.

Por medio del WQI se puede realizar un análisis general de la calidad del agua en diferentes niveles, y determinar la vulnerabilidad del cuerpo frente a amenazas potenciales. Esta herramienta surge como una alternativa para la evaluación del recurso hídrico permitiendo que los procesos de formulación de políticas públicas y seguimientos de los impactos sean más eficaces.

Los parámetros a ser incluidos en los WQI han estado marcados, desde sus inicios, por la apreciación de expertos, agencias o entidades gubernamentales, que son los que determinan en el ámbito legislativo su importancia al establecerlos como estándares de calidad del agua [30].

En la Tabla 2 se presenta los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos considerados por diferentes WQI a nivel mundial.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos considerados por diferentes WQI

País	Estados Unidos		UNEP-GEMS		Unión Europea	España	Brasil		Colombia		Frec.
Indice	WQI	WQI	DWQI		UWQI 2007	ISQA 1982	IAP		ICA Rojas 1991	ICAUCA 2004	
Parámetro	NSF 1970	Dinius 1987	HWQI 2007	AWQI 2007			IQA 1975	ISTO 2002			
OD	X	X			X	X	X		X	X	0.70
pH	X	X		X	X		X		X	X	0.70
DBO	X	X			X		X		X	X	0.60
Nitratos	X	X	X		X						0.50
Coliformes Fecales	X	X					X		X	X	0.50
ΔTemperatura	X	X				X	X				0.40
Turbiedad	X						X		X	X	0.40
Sólidos											
Disueltos	X						X		X	X	0.40
Totales											
Fósforo Total					X		X			X	0.30
Cadmio			X		X			X			0.30
Mercurio			X		X			X			0.30
Conductividad		X				X					0.20
Sólidos Suspendidos						X				X	0.20
Color		X								X	0.20
Nitrógeno Total							X			X	0.20
Cloruros		X		X							0.20
Plomo			X					X			0.20
Cromo Total			X					X			0.20
Arsénico			X		X						0.20
Fluoruro			X			X					
Manganeso			X						X		
Zinc					X				X		
Coliformes Totales		X				X					
DQO							X				
Alcalinidad		X									
Dureza		X									
Nitritos			X								
Amoniaco					X						
Fosfatos	X										
Sodio					X						
Sulfatos					X						
Hierro					X						
Cobre			X								
Boro			X								
Niquel									X		
Cianuro						X					
Selenio						X					
PFTHM										X	
Aluminio Disuelto										X	
Cobre disuelto										X	
Hierro Disuelto										X	
COT									X		
Total de Parámetros	9	12		18		12	5		20	6	10

Nota: *Adaptado de "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica" [31].*

Cada parámetro tiene un peso ponderado debido a la importancia del parámetro sobre la calidad del agua y el uso en una actividad en particular [48]. En la Tabla 3 se presenta los diferentes índices de calidad del agua y los respectivos pesos por cada parámetro.

Tabla 3. Pesos de diferentes parámetros que se corresponden con los WQI

País	*Estados Unidos*		*Unión Europea*	*Colombia*	
Índice / Parámetro	*WQI NSF 1970*	*WQI Dinius 1987*	*UWQI 2007*	*ICA Rojas 1991*	*ICAUCA 2004*
OD	0.17	0.109	0.114	0.25	0.21
pH	0.11	0.077	0.029	0.17	0.08
DBO	0.11	0.097	0.057	0.15	0.15
Nitratos	0.10	0.09	0.086		
Coliformes Fecales	0.16	0.116		0.21	0.16
Temperatura	0.10	0.077			
Turbiedad	0.08			0.11	0.07
Sólidos Disueltos Totales	0.07			0.11	0.07
Fósforo Total			0.057		0.08
Cadmio			0.086		
Mercurio			0.086		
Conductividad		0.079			
Sólidos Suspendidos					0.05
Color		0.063			0.05
Nitrógeno Total					0.08
Cloruros		0.074			
Arsénico			0.113		
Fluoruro			0.086		
Coliformes Totales		0.09	0.114		
DQO					
Alcalinidad		0.063			
Dureza		0.065			
Fosfatos	0.10				
Cianuro			0.086		
Selenio			0.086		

Nota: Adaptado de "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica" [31].

La estructura de cálculo de la mayoría de los índices de calidad se basa en la normalización de los parámetros que los conforman de acuerdo

con sus concentraciones, para su posterior ponderación en función de su importancia en la percepción general de la calidad agua; se calcula mediante la integración de las ponderaciones de los parámetros a través de diferentes funciones matemáticas [37].

Existen dos enfoques para el cálculo: i) el producto ponderado en el cual los pesos dan importancia a los puntajes y todos ellos son ponderados de acuerdo a la importancia de los pesos y luego son multiplicados y ii) la suma ponderada, en la cual cada puntaje es multiplicado por su peso y los productos son sumados para obtener el índice si los pesos son iguales para cada puntaje.

2.2.3.1. Índice de calidad del agua de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF-WQI)

Brown y otros [32] desarrollaron un modelo de cálculo de índice de calidad del agua similar en estructura al índice de Horton pero mucho más rigurosamente en la selección de indicadores, desarrollando una escala común y asignando pesos para los cuales se empleó metodología Delphi. Este esfuerzo fue apoyado por la National Sanitation Foundation (NSF). Por esta razón, este índice presentado por Brown también se conoce como NSF-WQI [33] Sin embargo, durante el uso del índice, se encontró que la formulación aritmética o aditiva, aunque fácil de entender y calcular, carecía de sensibilidad en términos del efecto que tendría un solo valor de parámetro malo en el WQI. Esto llevó a Brown et al., para proponer una variación de NSF-WQI, una formulación multiplicativa. La ecuación para el cálculo del NESF-WQI se presenta en la Tabla 4.

2.2.3.2. Índice de calidad del agua Dinius-WQI

Dinius desarrolló una fórmula multiplicativa, para la obtención de la calidad del agua con el uso de la metodología Delphi para la toma de decisiones [34]. El índice incluyó 12 parámetros; oxígeno disuelto,

DBO5, recuento de coliformes, E. Coli, pH, alcalinidad, dureza, cloruro, conductividad eléctrica, temperatura, color y nitrato; para seis diferentes usos del agua: agua de consumo humano, recreación, pesca, mariscos, agricultura e industrial.

Este índice de calidad del agua de la norma norteamericana Dinius-WQI, incluye los parámetros organolépticos, se ha implementado en muchos lugares del mundo, cuyo cálculo mide diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos. Este índice es fácil de calcular y ha sido un índice masivamente utilizado. Es representado por la fórmula de la ecuación 1.

$$Dinius - WQI = \prod_{i=1}^{n} {Sub_i}^{W_i} \qquad (1)$$

Donde: WQI es el índice de calidad de agua con rango entre 0 a 100, Sub_i subíndice de calidad del i-ésimo parámetro y W_i representa al peso del i ésimo parámetro.

2.2.3.3. Índice de calidad del agua del Consejo de Ministros de Medio Ambiente de Canadá (CCME-WQI)

En 1995 Rocchini y Swain [35], informaron que el Ministerio de Medio Ambiente, Tierras y Parques de Columbia Británica elaboró un índice, que ha sido adoptado para su uso en algunas provincias, incluida Manitoba. En 1997, el Consejo Canadiense de ministros de medio ambiente modificó el WQI de Colombia Británica para crear un CCME WQI, que podría ser aplicado por muchas agencias de agua en varios países con ligeras modificaciones. CCME WQI proporciona un marco matemático sencillo para agregar el valor del índice final que ayuda a los usuarios a evaluar el estado de salud de un cuerpo de agua [35]; no hay generación de subíndices, establecimiento de ponderaciones ni agregación de índice convencional involucrada. Según CCME, el CCME WQI se basa en tres factores importantes (alcance, frecuencia y

magnitud) para producir un número único sin unidades que representa la calidad general del agua en relación con el punto de referencia elegido. El resultado se representa como un número único sin unidades que varía entre 0 y 100, donde 100 indica que las variables son similares o están por debajo de los puntos de referencia seleccionados [35]. En resumen, la ecuación se calcula utilizando los tres factores de la siguiente manera:

Factor 1 (F1) Alcance: Este factor se denomina alcance porque evalúa el grado de incumplimiento de la directriz de calidad del agua durante el período de interés.

Factor 2 (F2) Frecuencia: Representa el porcentaje de pruebas individuales que no cumplen con los objetivos ("pruebas fallidas").

Factor 3 (F3) Amplitud: Representa la cantidad por la cual los valores de prueba fallidos no cumplen sus objetivos.

Los factores con los que son determinados el CCME-WQI, se presentan en la Tabla 4.

2.2.3.4. Índice universal de calidad del agua (U-WQI)

Boyacioglu, tomó en consideración las normas de calidad del agua establecidas por el Consejo de Comunidades Europeas, las regulaciones turcas de control de la contaminación del agua y otra información científica para seleccionar 12 parámetros de calidad del agua como los más representativos de la calidad del agua potable. Cada método tiene sus propios problemas considerables y el índice universal de calidad del agua (UWQI) se formuló utilizando el método convencional para establecer índices de calidad del agua. Además, la técnica involucra cuatro pasos comunes, que son (1) seleccionar variables de calidad del agua, (2) establecer coeficientes de ponderación relativos (3) formar curvas de calificación de subíndice y funciones de subíndice y (4)

derivar la agregación o indexación apropiada modelo. La ecuación se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Ecuaciones que determinan diferentes índices de calidad del agua

Grupo	Índices	Ecuación	Descripción
1	NSF-WQI (EU) Dinius-WQI (EU) IQA CETESB (Brasil) ICA Rojas (Colombia) ICAUCA (Colombia)	$WQI = \prod_{i=1}^{n} I_i^{W_i}$	Promedio geométrico ponderado. Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro. Ii: subíndice de i-ésimo parámetro.
2	CCME-WQI (Canadá) DWQI (EU)	$WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1.732} \right)$	El índice incorpora tres elementos. Alcance (F1). Frecuencia (F2) Amplitud (F3)
3	UWQI (Europa)	$UWQI = \sum_{i=1}^{n} Wili$	Promedio aritmético ponderado: Wi: peso o porcentaje asignado al i-ésimo parámetro Ii: subíndice de i-ésimo parámetro
4	ISQA (España)	ISQA = T (DQO + SS + OD + Cond)	T: Temperatura DQO: Demanda Química de Oxígeno OD: Oxígeno Disuelto Cond: Conductividad SS: Sólidos suspendidos.
5	IAP (Brasil)	IAP = ISTO x IQA CETESB ISTO = ST x SO ST=Min-1 (q1, q2, ..., qn) x Min-2 (q1, q2,...,qn) SO=Media Aritmética (qa,qb,...,qn)	Donde: IQA: Índice de Calidad del Agua adaptado del ICA NSF para las condiciones de Brasil ISTO: Índice de Sustancias Toxicas y Organolépticas ST: Ponderación de los dos subíndices mínimos más críticos del grupo de sustancias tóxicas. SO: Ponderación obtenida a través de la media aritmética de los subíndices del grupo de sustancias organolépticas

Nota: Adaptado de "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica" [31].

2.2.4. Clasificación del índice de calidad del agua

Para Dinius-WQI, el índice de calidad del agua se clasifica en seis clases, definidos como: no requiere tratamiento para consumo, tratamiento menor requerido, dudoso consumo sin tratamiento, tratamiento de potabilización necesario, dudoso para consumo e inaceptable su consumo. Este índice entre otros se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de los índices de calidad del agua

Código	NSF-WQI	Dinius-WQI	DWQI	UWQI	ISQA	IAP	ICA Rojas	ICAUCA
1	Muy mala calidad	Inaceptable su consumo	Pobre	Pobre	No puede usarse	Pésima	Muy Mala	Pésima
2	Mala calidad	Dudoso para consumo	Marginal	Marginal	Recreación y refrigeración	Mala	Inadecuada	Inadecuada
3	Mediana calidad	Tratamiento de potabilización necesario	Regular	Regular	Consumo humano con tratamiento especial Riego industrial	Regular	Aceptable	Aceptable
4	Buena calidad	Dudoso consumo sin tratamiento	Buena	Buena	Consumo humano con tratamientos convencionales	Buena	Buena	Buena
5	Excelente	Tratamiento menor requerido	Excelente	Excelente	Todos los usos	Optima	Optima	Optima
6	–	No requiere tratamiento para consumo	–	–	–	–	–	–

Nota: Adaptado de "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica" [31].

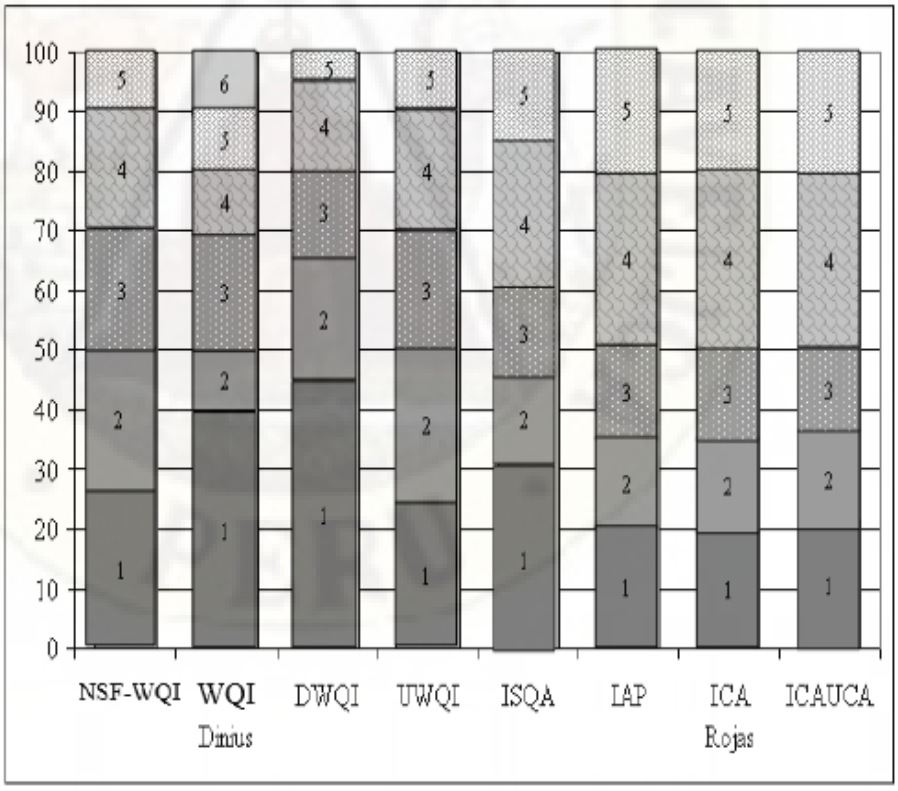


Figura 1. Rango de clasificación de los índices de calidad del agua

Fuente: *Adaptado de "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica" [31].*

2.2.5. Parámetros organolépticos del agua

2.2.5.1. pH

El pH representa al potencial de hidrógeno en una escala definida y que puede ser detectado por el sentido del gusto, este parámetro no es físico por lo que no puede ser representado en cantidades con sus unidades o concentración. El rango que caracteriza va de 0 a 14, este valor define qué tan ácido o básico es el agua determinado por una escala logarítmica del H^+ que se presenta en la Figura 2 [36]. Cuanto más pequeño sea este valor el agua será más ácida llegando incluso hasta cero. Cuanto más alta sea el valor, el agua será más alcalina. El pH con valor 7 es considerado neutro o de alta pureza. El cambio de número de escala se produce cuando existe cambio por diez veces, si es hacia arriba será más alcalina y hacia abajo será más ácida que el número anterior.

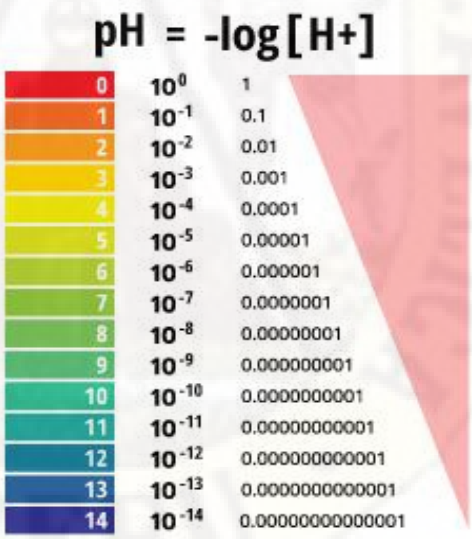


Figura 2. Escala logarítmica de determinación de pH del agua

Fuente: *Adaptado de "pH of Water - Environmental Measurement Systems"; https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/ph/*

Hay muchos factores que pueden afectar el pH del agua, tanto naturales como artificiales. La mayoría de los cambios naturales ocurren debido a interacciones con la roca circundante (particularmente las formas de carbonato) y otros materiales. El pH también puede fluctuar con la

precipitación (especialmente la lluvia ácida) y las descargas de aguas residuales o mineras. Además, las concentraciones de CO_2 pueden influir en los niveles de pH. El valor permisible del pH para consumo humano es de 6.5 a 8.5 [22].

2.2.5.2. Conductividad eléctrica

Este parámetro del agua simbolizado como (CE) representa la capacidad de permitir el paso de electrones por el agua. Este factor se relaciona en forma directa con la cantidad de iones en el agua [36]. A mayor cantidad de iones, esta capacidad conductiva del agua se incrementa. Del mismo modo, a menor concentración de iones en el agua menos conductora será. Al destilar o des ionizar el agua, esta se comporta como aislante teniendo una capacidad conductiva muy despreciable. Las sales en el agua producen un anión y catión haciendo conductiva al agua, esta característica se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Sales disueltas en agua producen un anión y un catión, que son bases de la conductividad en el agua

Fuente: *Adaptado de "Conductivity, Salinity & Total Dissolved Solids"; https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/conductivity-salinity-tds/*

La conductancia eléctrica depende de la longitud del conductor, al igual que la resistencia. La conductancia tiene como unidad mhos o siemens. Esta conductividad es la conductancia (S) calculada a una distancia específica (1 cm), que se incorpora a las unidades (S/cm). Como tal, la conductancia del agua cambiará con la distancia especificada. La conductancia del agua para consumo humano no debe ser mayor que 1500 uS/cm [22].

2.2.5.3. Turbiedad

La turbiedad se define como la propiedad óptica de una suspensión, que hace que la luz se disperse y no se transmita a través de la suspensión. La ISO 7027-2016, establece como única fuente de luz para la medición de la turbidez la fuente de luz Infrarroja a 860 nm. La turbiedad se mide en UNF/UNT: Unidades Nefelométricas de Turbidez. Según la OMS, la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 UNT, y estará idealmente por debajo de 1 UNT [17]. En la Figura 4 se presenta la apariencia organoléptica del agua a diferentes niveles de turbiedad.

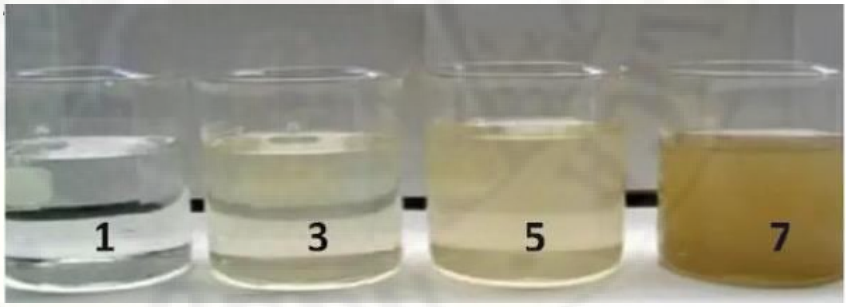


Figura 4. Agua con diferentes niveles de turbiedad en UNT

Fuente: *Adaptado de "¿Qué es la UNT?"; https://www.tecnoconverting.es/articulos-tecnicos/que-es-la-ntu/*

La nefelometría, es el modo de medir la luz dispersada o difusa a 90º, esta técnica es aplicable en líquidos o agua de baja turbiedad en el rango de 0.05 a 400 UNF/UNT, la medición es a nivel molecular y es el adecuado para medir turbiedad en agua de consumo humano. El agua

para consumo humano debe ser menor a 5 UNT [22]. El esquema de medición nefelométrica se presenta en la Figura 5.

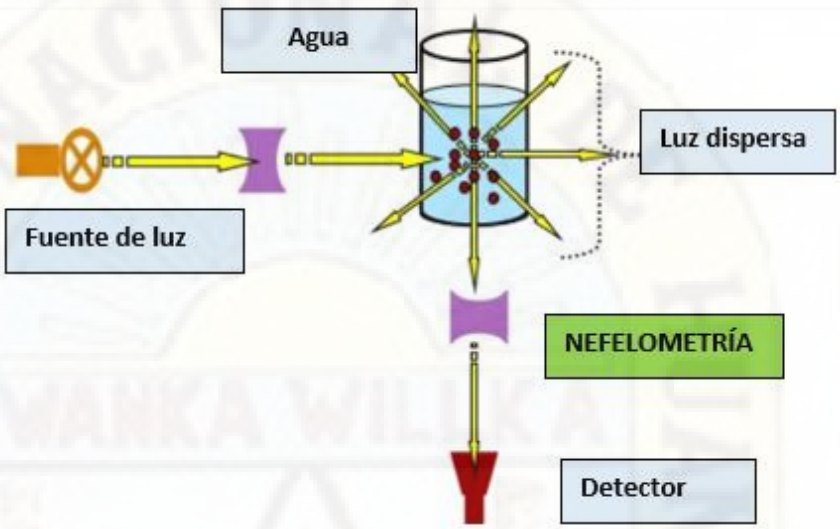


Figura 5. Esquema de mediciones nefelométricas de la turbiedad del agua

Fuente: *Adaptado de "Turbidimetría y nefelometría (Análisis Espectrofotométrico)"; https://es.slideshare.net/abzhamozarth/expo-turbidimetria-y-nefelometria*

2.2.5.4. Cloro libre

La cloración es una práctica común utilizada por los productores de agua que utilizan el método de tratamiento con cloramina. Por lo general, se realiza una o dos veces al año durante un período de tiempo de dos a cuatro semanas para eliminar las biopelículas del interior de las tuberías de distribución [37]. El cloro libre (FCL) es aquel que se encuentra en el agua cumpliendo la función de desinfección. La Figura 6 presenta el esquema de desinfección por cloración.

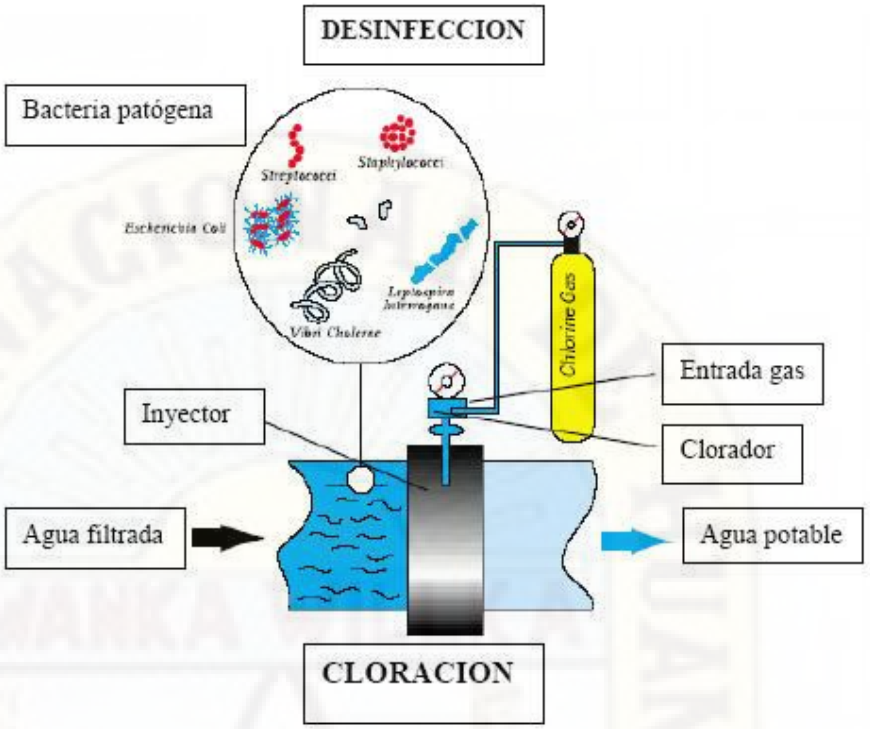


Figura 6. Diagrama de desinfección del agua de consumo humano por cloración

Fuente: *Adaptado de "El agua potable-cloración"; http://www.elaguapotable.com/cloracion1.htm*

A nivel mundial el cloro es el elemento químico más utilizado en los procesos de desinfección del agua potable. En la actualidad, alrededor del 98 por ciento de los sistemas de tratamiento de agua de EE. UU. Utilizan algún tipo de proceso de desinfección con cloro para ayudar a proporcionar agua potable segura. En el "Reglamento de calidad del agua para consumo humano" en el Perú se exige la presencia del cloro en el agua de 0.5 a 1.0 mg/L [22].

2.2.5.5. Temperatura

La temperatura es un parámetro cuya variación caracteriza a la calidad del agua expresando esta que tan caliente o fría está el agua. Como calor y frío son términos arbitrarios, la temperatura puede definirse además como la medición de la energía térmica media de una sustancia [36]. La energía térmica en el agua es el resultado de la transferencia de calor,

proveniente de la radiación solar, del medio ambiente, la contaminación u otra fuente de agua.

La temperatura es un factor importante a considerar al determinar la calidad del agua. Además de sus propios efectos, esta temperatura influye sobre varios otros parámetros y puede alterar las propiedades fisicoquímicas del agua. En la Figura 7 se presenta la influencia de la variación de temperatura en otros parámetros del agua.

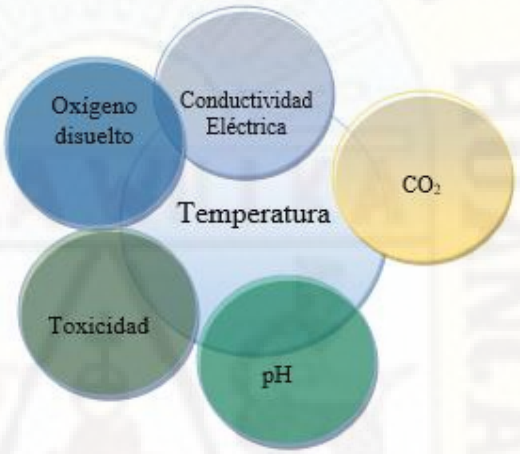


Figura 7. Influencia de la temperatura en los demás parámetros que determinan la calidad del agua

Fuente: *Adaptado de "Why the Temperature of Water is Important"; https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-quality/water-temperature/*

Para no afectar los demás parámetros de manera significativa este parámetro organoléptico de la temperatura del agua no debe variar más de 3 °C (Δ<=3 °C) [22].

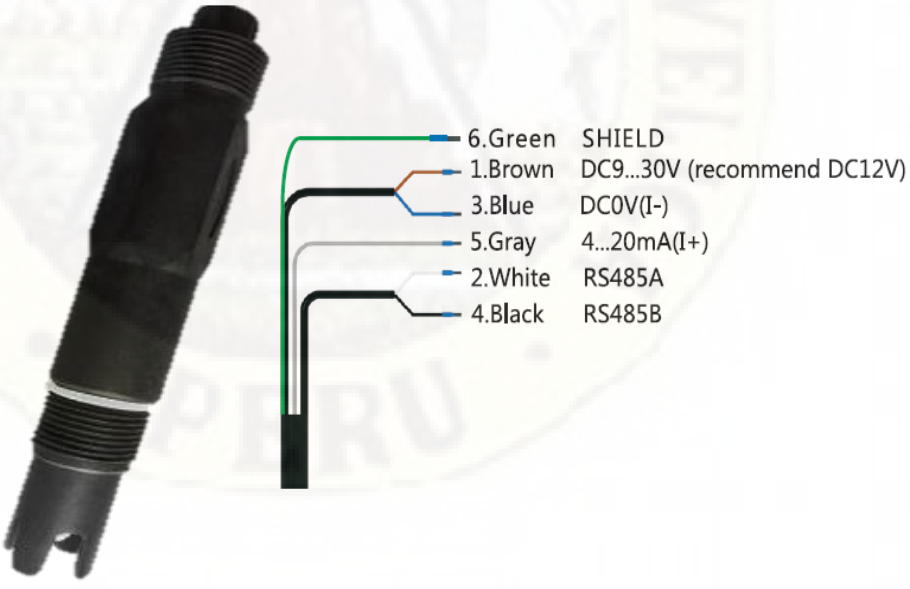
2.2.6. Sensores y transmisores

La forma más popular para transmitir señales en instrumentación de medida, a nivel de laboratorio e industrial, es el estándar de 4 a 20 miliamperios (mA) en corriente continua [38]. Siendo esta una señal estandarizada, donde la corriente es empleada proporcionalmente para mostrar mediciones.

De acuerdo al estándar un valor de 4 mA de corriente representa 0% de la medida, y un valor de 20 mA representa el 100% de la medida de la variable que en este caso son los parámetros del agua, cualquier otro valor entre 4 mA y 20 mA representa un porcentaje entre 0% y 100%. Los parámetros a medir deben ser previamente calibrados cuyos valores extremos deben ser transmitidos en el rango de 4 mA a 20 mA.

2.2.6.1. Sensor y transmisor de pH

El sensor de pH es un elemento importante que permite determinar la calidad del agua, está constituido por un bulbo pasivo que detecta corriente generada por presencia de iones de hidrógeno en una solución. La medida está en el rango de 0-14. Se empleó en este trabajo el sensor de pH en conjunción con el transmisor, bajo la certificación de protección IP 68 para inmersión continua en agua [39], el rango de temperatura es de 0 a 60 °C, la comunicación de las medidas es por señal analógica de 4 mA a 20 mA (Figura 8).



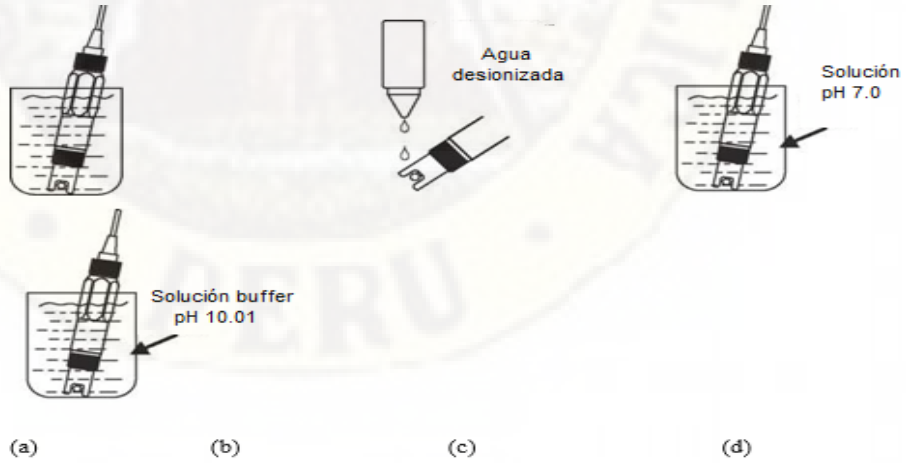
Nota: *Imagen de la izquierda: sensor y transmisor de pH; imagen de la derecha: terminales de conexión 4 a 20 mA (3 y 5) para equipo de monitoreo.*

Figura 8. Sensor y transmisor de pH

Fuente: *Imágenes obtenidas del manual del fabricante [40].*

Para tomar las medidas correctas del pH, el electrodo debe activarse antes de su uso con un marcador 3M de cloruro de potasio (KCL) usado en varios de los entornos de investigación científica y de laboratorio [41]. Previo al uso se calibra los electrodos con el método de dos puntos, empleando una solución buffer de pH 7.00, se calculó el punto cero, luego la pendiente se determina con la solución buffer de pH 10.01, ya que la solución es agua gris con cierta alcalinidad.

Los pasos de calibración son los siguientes: 1. Para la activación, el electrodo se debe sumergir en una solución buffer de pH 7.00 y dejarlo en remojo durante 10 minutos, y luego sumergirlo en una solución buffer de pH 10.01 durante 10 minutos; 2. Se debe limpiar el electrodo con agua desionizada y secar con una toalla de papel; 3. Colocar el electrodo sobre una solución buffer con pH 7.00 y hasta que el valor sea estable, se calcula el primer punto, luego se saca el electrodo de la solución buffer, se enjuaga y secar con una toalla de papel; 4. colocar el electrodo en una solución buffer de pH 10.01 y esperar hasta que el valor sea estable, con esto se calcula el segundo punto. Luego se enjuaga el electrodo y secar con una toalla de papel (Figura 9).



Nota: *(a) activación del electrodo por 20 minutos, (b) limpieza del electrodo, (c) fijación del primer punto de calibración, (d) fijación del segundo punto de calibración.*

Figura 9. Procedimiento de calibración del electrodo para medir el pH

Fuente: *Imágenes de procedimientos obtenidos del manual del del fabricante del sensor transmisor de pH [42].*

2.2.6.2. Sensor y transmisor de conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es un parámetro importante para determinar la calidad del agua. El nivel de conductividad eléctrica del agua para consumo de la población humana deben mantenerse por debajo de 1500 uS/cm, establecido en el ECA-agua [21]. Para garantizar la precisión de la medición del medidor de conductividad, la constante de conductividad se recalcula antes de su uso.

En el desarrollo de la investigación se empleó un sensor de conductividad con resolución de precisión ± 1 $\frac{uS}{cm}$, rango de medición 0-20,000 $\frac{uS}{cm}$, grado de protección IP 68. Con comunicación en señal de corriente de 4 mA a 20 mA [42]. Se instaló el electrodo de conductividad en la celda de flujo (Figura 10) para una medición más estable y precisa.

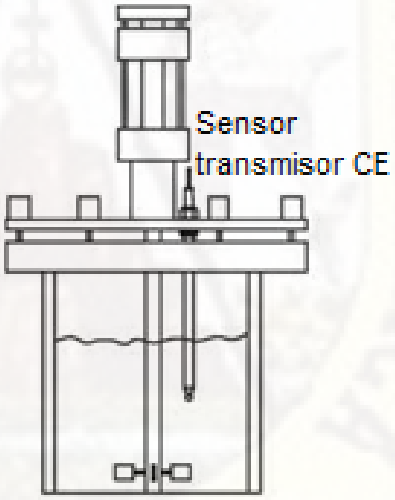


Figura 10. Instalación del electrodo de conductividad eléctrica en la celda de flujo
Fuente: *Imagen obtenida del manual del fabricante del sensor transmisor de CE [42].*

2.2.6.3. Sensor y transmisor de turbiedad

Este sensor detecta la turbiedad del agua, para detectar estas partículas utiliza luz generando transferencia y reflexión de luz que varía con la presencia de en el agua del total de sólidos suspendidos(TSS) la medición se hace en unidades de turbidez nefelométrica (UNT) (Boyd, 2020).

Este dispositivo es útil para realizar mediciones en agua de consumo humano, ríos, arroyos, aguas contaminadas y análisis en laboratorio.

El sensor de turbiedad que se emplea en esta investigación tiene una resolución de precisión de ± 5.0 %, rango de medición de 0-4000 UNT, grado de protección IP 68. La comunicación es por medio de señal de corriente de 4 mA a 20 mA (Figura 11) [42].

Figura 11. Sensor-transmisor de turbiedad

Fuente: *Imagen obtenida del manual del fabricante [42].*

La calibración del electrodo de turbidez utiliza la sustancia estándar de fornacina promulgada, como la sustancia estándar de turbidez GBW1200, 1400 grados, la incertidumbre es de ± 3% y el período de uso efectivo es de 1 año. La solución estándar con turbidez diferente se obtiene utilizando agua de turbidez cero.

2.2.6.4. Sensor y transmisor de cloro libre

El cloro libre (FCL) es capaz de reaccionar con iones como del amoniaco y con los compuestos orgánicos, formando el cloro combinado. La suma del cloro combinado con el cloro residual da el cloro total [43]. El cloro libre, tiene como unidad de medición el miligramo por litro por partes

por millón (mg/L ppm). La cantidad de FCL necesario en el agua para consumo humano estás en el rango 0.5 a 1.0 mg/L (ppm) [22].

El sensor que mide la cantidad de concentración de cloro residual en el agua gris tiene una resolución de precisión de 2%, rango de medición de 0-20.0 mg/L, grado de protección IP 68. La comunicación es por medio de señal de corriente de 4 mA a 20 mA (Figura 12) [42].

Figura 12. Sensor-transmisor de cloro residual
Fuente: *Imágenes obtenidas del manual del fabricante [42].*

La calibración del electrodo de cloro residual se realiza mediante el método de comparación de laboratorio. Antes de la calibración, el electrodo de cloro residual se coloca en el agua y el instrumento se enciende para polarización durante más de 6 horas.

2.2.6.5. Sensor y transmisor de temperatura

El sensor RTD Pt100 es construido con platino que es un metal muy estable. Los RTD de platino se encuentran entre los sensores de temperatura más precisos y confiables debido a las propiedades únicas del platino. El platino tiene una resistividad relativamente alta (en comparación con, por ejemplo, el cobre), por lo que la corriente que pasa a través del sensor puede ser pequeña. Esto, a su vez, evitará el

autocalentamiento de los sensores. Sin embargo, la mayor ventaja de los sensores de platino es su precisión y estabilidad a largo plazo. Esto permite calibrar los sensores y luego confiar en la calibración durante un largo período de tiempo. Los RTD de platino también se pueden intercambiar fácilmente sin volver a calibrarlos (a diferencia de otros tipos de sensores).

Los RTD de platino se indican con los símbolos Ptxxx, donde xxx denota la resistencia para una temperatura de 0 °C. El sensor más común, Pt100, tiene, por lo tanto, una resistencia de exactamente 100 Ω para 0 ° C. Otro tipo muy común es el Pt1000. Tiene precisamente 1000 Ω para 0 ° C. La resistencia frente a la dependencia de la temperatura para un RTD de platino en un amplio rango de temperatura como se ve en la ecuación 2.

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3] \quad (2)$$

Donde; los coeficientes A, B y C están definidos por el estándar IEC 751 [44, p. 45], ver ecuación 3.

$$\begin{aligned} \mathrm{A} &= 3.90832 * 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1} \\ B &= 5.775 * 10^{-7}\ \mathrm{K}^{-2} \\ C &= -4.183 * 10^{-12}\ K^{-4} \end{aligned} \quad (3)$$

La sensibilidad de un Pt100 es 0.385 Ω/°C. El platino de la más alta pureza se utiliza para este RTD (99.999%). Basado en la pureza y requisitos de precisión (y por supuesto el precio), hay dos tolerancias disponibles clases. Clase A y clase B. La clase A es más precisa (y más cara), y la clase B es menos precisa y menos costosa. Las clases de tolerancia son como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Tolerancias y clases de Pt100

Clase	Tolerancia
A	0.15+0.002 |T|
B	0.30+0.005 |T|

Nota: *Los valores fueron adaptados de "Instrumentación Industrial" [38]*

El RTD de platino es el sensor de temperatura más preciso en un amplio rango de temperaturas. De hecho, la escala internacional de temperatura utiliza el RTD de platino para definir algunos puntos de referencia fijos. El rango de temperatura habitual para un Pt100 es de -200 °C a +600 °C.

Tabla 7. Pt100, clases, precisión y tolerancia

Temperatura	Clase A (°C)	Clase A (Ω)	Clase B (°C)	Clase B (Ω)
-200	0.55	0.24	1.3	0.56
-100	0.35	0.14	0.8	0.32
0	0.15	0.06	0.3	0.12
100	0.35	0.13	0.8	0.3
200	0.55	0.20	1.3	0.48
300	0.75	0.27	1.8	0.64
400	0.95	0.33	2.3	0.79
500	1.15	0.38	2.8	0.93
600	1.35	0.43	3.3	1.06

Nota: *Los valores fueron adaptados de "Instrumentación Industrial" [38]*

La sensibilidad del Pt 100 empleado es de 0.3850 Ω=°C.

Las bobinas que son material sensor están encapsuladas y ubicadas en el interior de un tubo o vaina que protege del flujo del elemento, está construido en material de acero inoxidable 304, 305, monel, etc.

El transmisor convierte la señal eléctrica proveniente del sensor en corriente de 4 a 20 mA, siendo información estándar para conexión con PLC. La Figura 13 muestra el transmisor de temperatura.

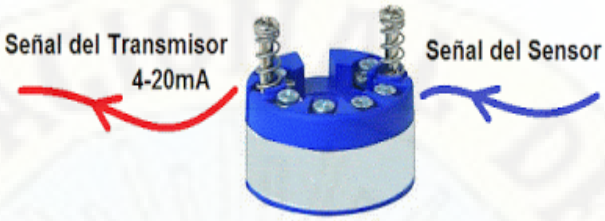


Figura 13. Transmisor de temperatura

Fuente: *Adaptado de "Instrumentación y control" [45]*

El transmisor se encuentra dentro de la cabeza roscada se presenta en la Figura 14.

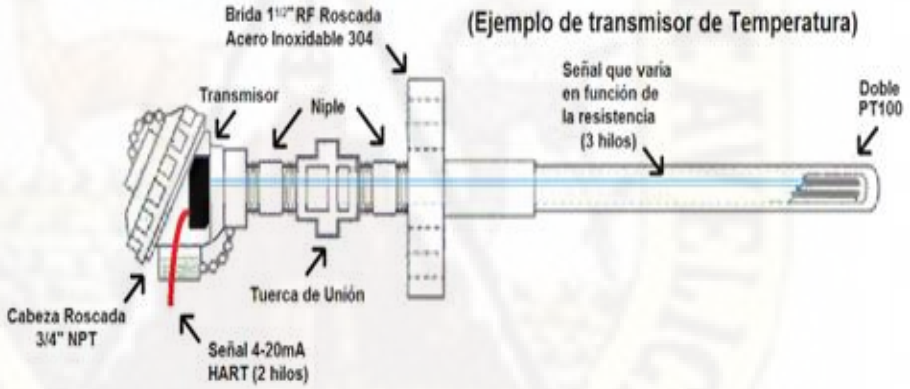


Figura 14. Sensor-transmisor de temperatura Pt100

Fuente: *Adaptado de "Instrumentación y control" [45]*

El sensor PT100 se conecta a 2, 3 o 4 hilos (ver Figura 15). El cableado de 3 o 4 hilos permite reducir el error generado por la propia resistencia del conductor con el uso de un puente de Wheatstone [45].

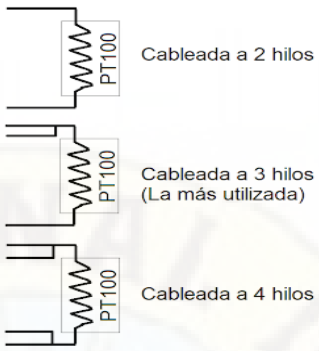


Figura 15. Cableado a 2, 3 o 4 hilos del sensor – transmisor Pt100

Fuente: *Adaptado de "Instrumentación y control" [45]*

2.2.7. Controlador lógico programable para la adquisición y monitoreo de los parámetros del agua

El controlador lógico programable (PLC) SIMATIC S7 1500 corresponde a controladores de rendimiento medio y alto. Las diferentes versiones de los controladores permiten que el rendimiento sea el necesario para aplicaciones de toma de datos hasta 32 bits. Dependiendo de las aplicaciones pueden ampliarse las entradas/salidas digitales y/o analógicas (Figura 16), así como también los módulos para comunicarse con diferentes protocolos y los módulos tecnológicos específicos [46].

Figura 16. PLC SIMATIC S7 1500, módulo de entrada/salida digital y módulo de entrada analógico de 8 canales

Fuente: *Adaptado de "SIMATIC S7-1500 – Lo último en plus para productividad y eficiencia";*
https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html

El módulo de entradas analógicas empleada en la investigación es “AI 8xU/I/RTD/TC ST” [47], este módulo es de 08 entradas (Figura 17) y los transmisores al igual que los sensores son conectados directamente en este módulo previa configuración del modo de operación.

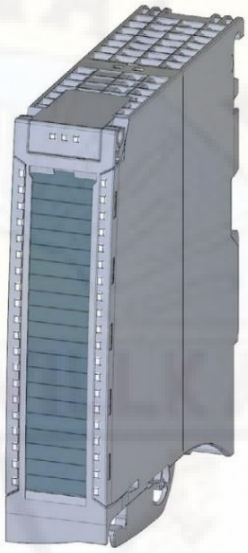


Figura 17. Vista frontal del módulo AI 8xU/I/RTD/TC ST
Fuente: *La imagen fue obtenida del manual del fabricante [47]*

Las conexiones están disponibles para corriente de 4 hilos (Figura 18) para los transductores que previa configuración permite la medida de intensidad proveniente de los sensores-transmisores de 4 a 20 mA.

Donde:

1. Borneras de conexiones del transductor de medida a 4 hilos.

2. Convertidor analógico/digital (CAD).

3. Bus de fondo.

4. Tensión de alimentación aplicada en el elemento de alimentación.

5. Conductor equipotencial (opcional). Imagen obtenida del manual del fabricante [50].

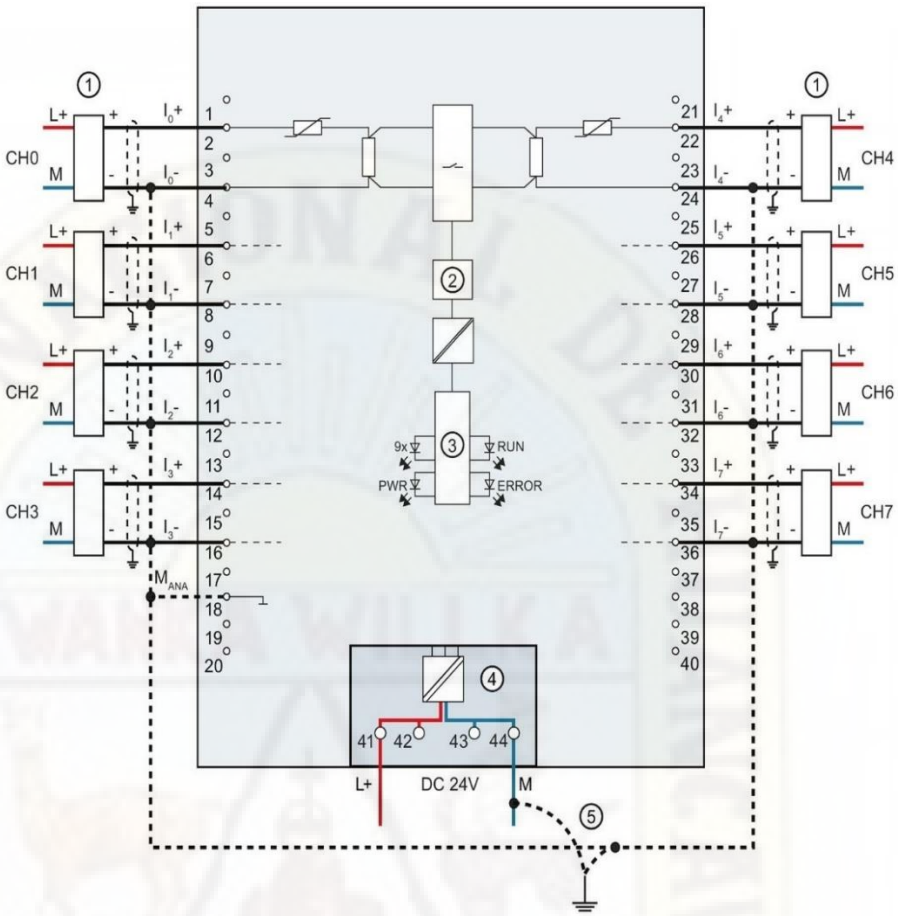


Figura 18. Configuración del módulo analógico módulo AI 8xU/I/RTD/TC ST a 4 hilos para medida de intensidad 4 a 20 mA

Fuente: *La imagen fue obtenida del manual del fabricante [47].*

La configuración del módulo AI 8xU/I/RTD/TC ST a 2 hilos proporciona una tensión de 35 voltios para la conexión directa a través de estos dos terminales. Esta configuración se muestra en la Figura 19.

Donde:

1. Borneras de conexiones del transductor de medida a 2 hilos.

2. Convertidor analógico/digital (CAD).

3. Bus de fondo.

4. Tensión de alimentación aplicada en el elemento de alimentación.

5. Conductor equipotencial (opcional). Imagen obtenida del manual del fabricante [47].

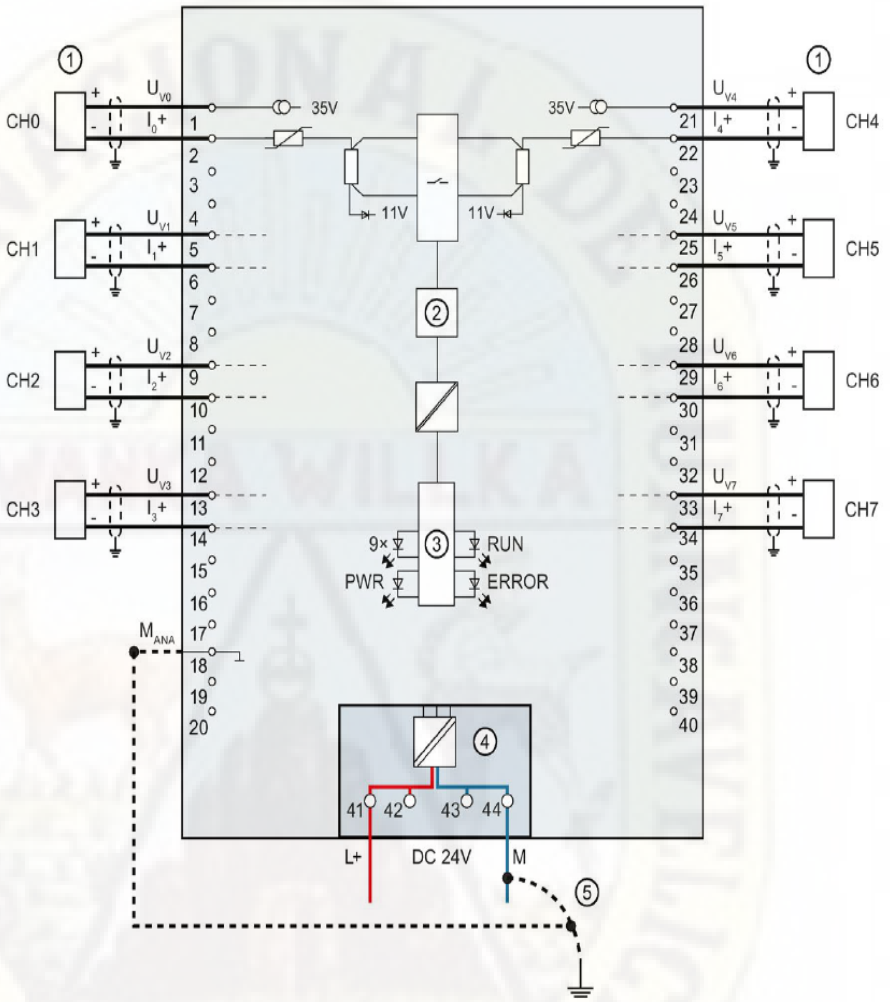


Figura 19. Configuración del módulo analógico módulo AI 8xU/I/RTD/TC ST a 2 hilos para medida de intensidad 4 a 20 mA

Fuente: *La imagen fue obtenida del manual del fabricante [47].*

2.2.8. Software para programar el PLC SIMATIC S7 1500

El software empleado para la programación del PLC SIMATIC S7 1500 es el Step 7, el mismo que está integrada en el TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), permitiendo este software realizar desarrollos, a nivel de la industria y laboratorio, desde la planificación pasando a la ingeniería y la puesta en operación.

Los PLC de Siemens se pueden programar mediante el TIA Portal, que es el software propietario desarrollado por Siemens. El software puede controlar, programar o diagnosticar dispositivos como PLC, sistemas SCADA e interfaces hombre-máquina (HMI). La mayoría de las comunicaciones que se inicializan mediante el TIA Portal utilizan el protocolo propietario de Siemens, comúnmente conocido como protocolo S7CommPlus.

Existe una gama de PLC disponibles de Siemens: S7-200, S7-300, S7-400, S7-1200 y S7-1500. Los PLC S7-200,300 y 400 son PLC más antiguos que utilizan el protocolo S7Comm para la comunicación sin autenticaciones. El PLC S7-1200 con la versión de firmware 3 utiliza una versión anterior del protocolo S7CommPlus. Este trabajo hace uso del PLC S7-1500. El protocolo S7CommPlus se ejecuta en ISO en TCP (TPKT) y Protocolo de transporte orientado a la conexión (COTP). La versión más reciente (V16) del TIA Portal incorpora Step 7 con soporte para diferentes lenguajes de programación para diferentes controladores (Figura 20).

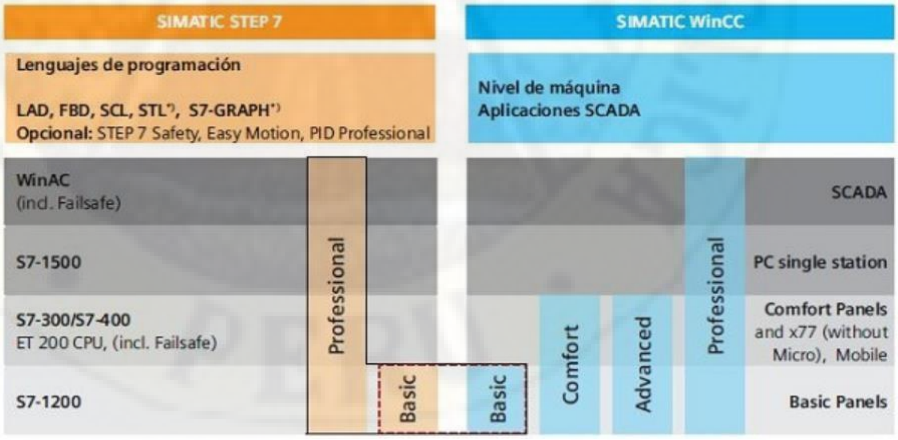


Figura 20. Componente del TIA Portal

***Fuente**: Imagen obtenida del manual de usuario [48].*

Step 7 de TIA Portal soporta los equipos de la última y penúltima generación en uso. Los controladores pueden ser programados con los siguientes lenguajes: KOP, FUP, STL, SCL, GRAPH (solo para S7.1200

KOP, FUP y SCL). La HMI en el TIA Portal se puede implementar también sobre la base de SIMATIC Panel 70/170/270/370, KP, KT y KTP. lo mismo en forma de sistemas Runtime basados en PC hasta CLI. ent.server arquitecturas SCADA.

2.2.9. Wincc Unified

WinCC Unified está incluido en el TIA V16 basado en web, el cual es integrable con el Step 7, es capaz de conectarse con hasta 128 PLC.

2.2.9.1. Acceso remoto con WinCC Unified RT

Para ver la pantalla de WinCC Unified RT, se usa un navegador web para acceder a la pantalla. WinCC Unified RT proporciona acceso gratuito a 2 clientes; 1 cliente local y 1 cliente remoto [49] (ver Figura 21).

Es decir, normalmente se usa la misma PC para ver la pantalla de WinCC Unified RT, que es un cliente local, y al mismo tiempo, podemos usar otra PC para abrir un navegador web para ejecutar la pantalla desde la máquina. WinCC RT unificado también, que es un cliente remoto gratuito.

Pero si queremos aumentar el número de clientes remotos que se pueden ejecutar en la pantalla de WinCC Unfied RT, se debe contar con una licencia adicional para WinCC Unified “Client Operate” dependiendo del número de clientes que se desee utilizar. Si el número de clientes a utilizar es superior a 5, WinCC Unified RT debería ser Windows Server.

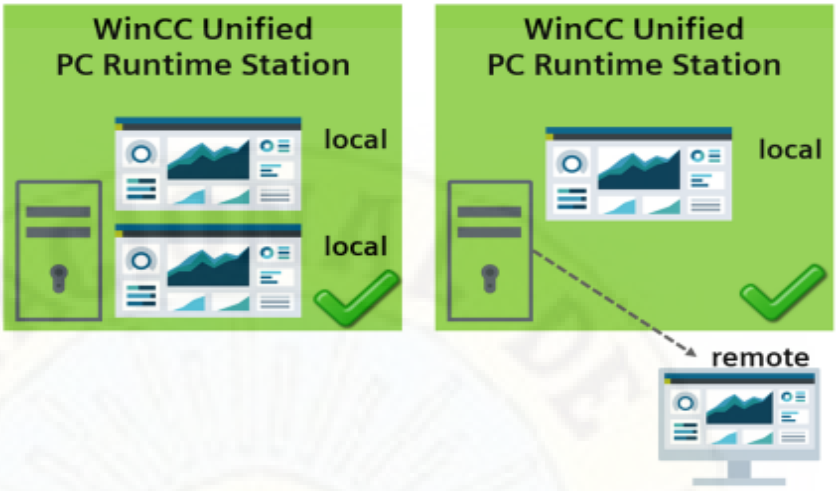


Figura 21. Configuración de sistema base y 2 accesos a clientes en WinCC Unified

Fuente: *Adaptado de "Liberación para el suministro del SIMATIC WinCC Unified V16 - ID: 109771777 - Industry Support Siemens"* [49].

2.2.9.2. WinCC Unified Reporting

WinCC Unified Reporting es una opción adicional que nos permite extraer valores en WinCC Unified para generar informes en Excel. Excel debe ser compatible, siendo esta la versión Microsoft Excel 2016 de 32 o 64 bits. Otra ventaja es que si generar informes automáticamente en la pantalla de WinCC Unified Runtime, sin necesidad de una licencia.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis general

Con el algoritmo Dinius-WQI implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC se determina que el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas es dudoso para el consumo sin tratamiento, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

2.3.2. Hipótesis específicas

a. Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISHP105 se determina que el intervalo del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas está en el intervalo de 6.5 a 8.5, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.
b. Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISRP105 se determina que el nivel de Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 1500 uS/cm, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.
c. Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISST105 se determina que el nivel de Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 5 UNT, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.
d. Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISCT105 se determina que la concentración de Cloro Libre en el agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 0.5 mg/L, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.
e. Con el sensor-transmisor Pt100 tipo J se determina que la variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 3° C, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- Agua para consumo humano: agua consumible sin restricción para beber o preparar alimentos.

- Cloro libre (FCL): cantidad de cloro que se encuentra en el agua en forma de ácido hipocloroso e hipoclorito.

- Determinación del índice de calidad organoléptica del agua: es calcular el WQI con los parámetros organolépticos (pH, CE, Turbiedad, FCL y

ΔTemperatura), empleando la metodología americana sumativa NSF WQI, establecido para aguas superficiales que pueden ser destinados al consumo humano, entre otros.

- Límite máximo permisible: son valores máximos/mínimos que pueden admitirse de los parámetros que representan la calidad del agua a consumir.
- Parámetros organolépticos: son parámetros del agua físicos-químicos y/o microbiológicos, donde su presencia en el agua de consumo humano es percibida por el usuario con facilidad por medio de la percepción sensorial.
- Sensor de CE: mide la conductividad eléctrica del agua de consumo humano dado en unidades uS/cm.
- Sensor de FCL: permite medir la concentración de cloro libre en agua para consumo humano, las unidades están dadas en mg/L.
- Sensor de pH: permite medir el potencial de hidrógeno en el agua proporcionando señal eléctrica proporcional al pH, los valores son adimensionales.
- Sensor de Temperatura: permite medir la temperatura en agua para consumo humano, las unidades están dadas en °C.
- Sensor de Turbiedad: permite medir la claridad del agua, dado en unidades nefelométricas UNT.

2.5. DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES

2.5.1. Variable independiente

- Parámetros organolépticos del agua= POA

2.5.2. Variable dependiente

- Índice de calidad organoléptica del agua = WQI

Las variables e indicadores se operacionalizan en la Tabla 8.

Tabla 8. Definición operativa de variables e indicadores.

Variable independiente	Definición operativa	Indicadores	Instrumentos
Parámetros organolépticos.	Los parámetros organolépticos determinan el índice de calidad del agua que vienen consumiendo los pobladores de la ciudad de Pampas, entre estos se considera para estudio la turbidez, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica y cloro libre o residual.	- pH - EC (uS/cm) - Turbiedad (UNT) - FCL (mg/L) - ΔTemperatura	- Sensor/transmisor pH - Sensor/transmisor EC. - Sensor/transmisor turbiedad. - Sensor/transmisor FCL. - Sensor/transmisor Temperatura Pt100.
Variable dependiente	**Definición conceptual**	**Indicadores**	**Instrumentos**
Calidad organoléptica del agua	La calidad organoléptica del agua es determinada en base a la metodología Dinius- WQI. El que se calcula con los parámetros organolépticos del agua teniendo en cuenta el Reglamento de Calidad de agua para consumo humano.	- Índice de calidad del agua (%).	Dinius- WQI

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

La ciudad de Pampas se ubica en la región central andina del Perú, asentada en el departamento de Huancavelica, provincia de Tayacaja. De acuerdo a los Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas registró en total 10,421 habitantes, información obtenida del INEI [50, p. 58].

El sistema de abastecimiento de agua en esta localidad abarca a 2,282 viviendas que representa el 87% del total de viviendas existentes en el distrito de Pampas [51, p. 379]. El abastecimiento de agua por red pública a nivel de manzanas para el distrito de Pampas se presenta en la Figura 22.

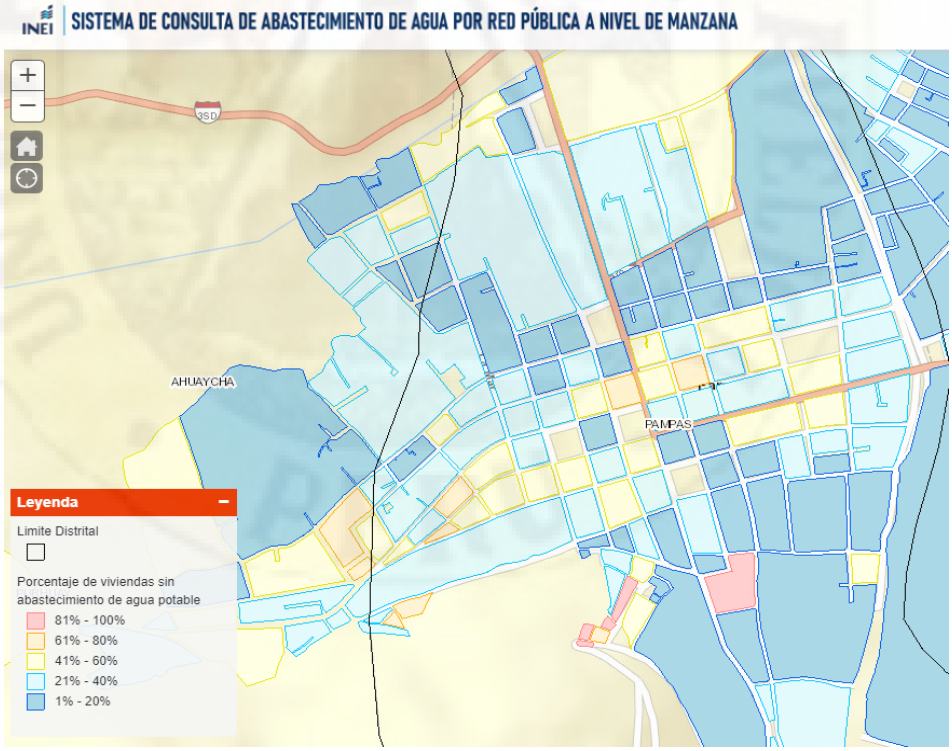


Figura 22. Abastecimiento de agua por red pública y manzanas para el distrito de Pampas

Fuente: *Adaptado de "Sistema de consulta de abastecimiento de agua por red pública a nivel de manzana"* [52].

El estudio se desarrolló en la ciudad de Pampas, considerando como estación de monitoreo un punto de la red de distribución de agua localizado a una latitud 12°23’51.65” S, longitud 74°52’04.44” O y altitud de 3265 msnm, Tal como se ve en la Figura 23.

Figura 23. Localización de la estación de monitoreo de agua de consumo humano en la ciudad de Pampas

Fuente: *Obtenido con Google Earth Pro*

3.2. Equipamiento electrónico

En el proceso de investigación se emplearon diferentes dispositivos electrónicos, entre estos tenemos los sensores-transmisores relacionados a los parámetros organolépticos del agua de consumo humano, siendo estas:

- Sensor-transmisor de pH; este dispositivo empleado en la investigación tiene un rango de medida de 0 a 14, tiene certificación IP 68, el cual asegura la inmersión en agua hasta 5 m de profundidad [39], la señal de medición se envió en corriente normalizado de 4 a 20 mA.
- Sensor-transmisor de CE; se empleó un sensor de conductividad con resolución de precisión ± 1 $\frac{uS}{cm}$, rango de medición 0-20,000 $\frac{uS}{cm}$, grado de protección IP 68. Con comunicación en señal de corriente de 4 a 20 mA [42].
- Sensor-transmisor de Turbiedad; se empleó un sensor con resolución de precisión de ± 5.0 %, rango de medida de 0-4000 UNT, grado de protección IP 68. Con comunicación en señal de corriente de 4 a 20 mA [42].
- Sensor-transmisor FCL; el sensor tiene una resolución de precisión de 2%, rango de medición de 0-20.0 mg/L, con grado de protección IP 68. Con comunicación en señal de corriente de 4 a 20 mA [42].
- Sensor-transmisor de Temperatura; se empleó el RTD de platino Pt100 de clase A con transmisor de temperatura con un rango de 0 a 100 °C. Con comunicación en señal de corriente de 4 a 20 mA.

Así mismo; se empleó el PLC S7-1500, con CPU 1511-1 PN, con capacidad de almacenamiento de 150 KB para los programas, 1 MB de almacenamiento de datos, con protocolo de comunicación: PROFINET IRT de 2 puertos tipo Switch. Integrado con el módulo de señales analógicas AI 8xU/I/RTD/TC ST, de 8 canales de entrada de alta resolución (16 bits), agrupados en 04 canales por columna con precisión del 0.3%. Estos dispositivos se configuraron sobre el rack respectivo tal como se muestran en la Figura 24.

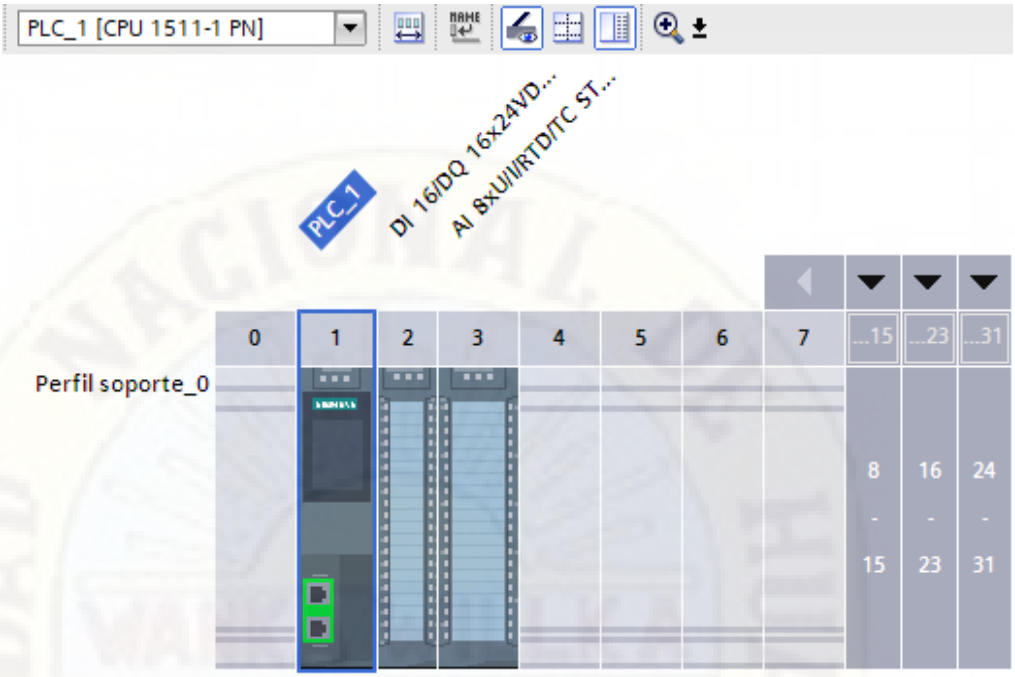


Figura 24. Configuración sobre rack del PLC S7 1500 (izquierda) y módulo analógico de 08 canales (derecha)

Fuente: *Imagen capturada de TIA Portal V16.*

La plataforma de TIA Portal de Siemens, fue otro recurso software importante que permitió la programación del PLC S7 1500 en lenguajes escalera y SCL. También permitió configurar una aplicación desarrollada en WinCC Unified.

3.3. Tipo de investigación

El trabajo corresponde al tipo no-experimental, como establece Hernández y Mendoza [53, p. 150] en este tipo de investigación los "estudios se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos". En este trabajo se determinó y analizó el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, realizando sólo mediciones con sensores conectados al PLC S7 1500 que contiene el algoritmo para calcular el WQI y desplegar el resultado sobre la interface implementada en WinCC Unified.

3.4. Nivel de investigación

Por los objetivos plateados, el estudio corresponde al nivel explicativo, como sostienen Hernández y Mendoza [53, p. 150] a este nivel las investigaciones "…tienen como propósito establecer las causas de los sucesos, problemas o fenómenos que se estudian". En este estudio se establecieron los parámetros organolépticos como causas, siendo el suceso la calidad del agua obtenido aplicando metodologías, equipos y sensores.

3.5. Método de investigación

En este estudio se empleó el método de procesos lógicos de inducción y la deducción, como indican Pimienta y De la Orden [54, p. 53,55] mediante el método inductivo "el investigador establece conclusiones generales a partir de la observación de hechos particulares" y mediante el deductivo el investigador "obtiene conclusiones o juicios generales, a partir de una o varias premisas o afirmaciones verdaderas". La adquisición de muestras del agua y las mediciones de los valores de los diferentes parámetros hicieron uso del proceso inductivo y el despliegue de datos que representan el índice de calidad organoléptica del agua de la ciudad de Pampas se realizó empleando el proceso deductivo.

3.6. Diseño de investigación

En este estudio se empleó el diseño transversal, como indica Hernández y Mendoza [53, p. 177] son "investigaciones que recopilan datos en un momento o periodo y lugar específicos". En este trabajo se tomaron muestras de agua en un único periodo de octubre a diciembre del año 2020 en un lugar específico ubicado en el cercado de Pampas, y se obtuvo el índice de calidad del agua relacionados con sus parámetros organolépticos, limitados a la medición del pH, CE, FCL, Turbiedad y ΔTemperatura, integrando instrumentos al PLC S7 1500 y WinCC Unified.

Las muestras y parámetros organolépticos del agua fueron estructurados como se muestra a continuación:

$$\mathbf{M_1:\ O_{1,1}\ O_{1,2}\ O_{1,3}\ O_{1,4}\ O_{1,5}}$$

$$\mathbf{M_2:\ O_2,\ O_{2,2}\ O_{2,3}\ O_{2,4}\ O_{2,5}}$$

$$\mathbf{M_3:\ O_{3,1}\ O_{3,2}\ O_{3,3}\ O_{3,4}\ O_{3,5}}$$

$$\vdots$$

$$\mathbf{M_{120}: O_{120,1}\ O_{120,2}\ O_{120,3}\ O_{120,4}\ O_{120,5}}$$

Donde:

M_1, M_2, M_3 ... M_{120}: Son las muestras de agua seleccionadas para la investigación.

$O_{i,1}$ $O_{i,2}$ $O_{i,3}$ $O_{i,4}$ $O_{i,5}$: Son datos de los parámetros organolépticos del agua pH, CE, Turbiedad, FCL y ΔTemperatura respectivamente.

3.7. Metodología de obtención de la calidad del agua

Varios métodos están documentados en la literatura y, entre ellos, no existe un método distintivo considerado como el método único y eficaz para desarrollar índices de calidad del agua (WQI). Cada método tiene sus propios problemas considerables, en este trabajo se optó por el uso de Nidius-WQI, por la cobertura que da a los parámetros del agua de consumo humano [34], se formuló utilizando el método convencional para establecer índices de calidad del agua. Además, esta técnica incluye cuatro pasos comunes, que son (1) seleccionar los parámetros que determinan la calidad del agua, (2) establecer el coeficiente de ponderación relativo a los factores o parámetros, (3) Establecer funciones de calificación de subíndice y funciones de subíndice, y (4) obtener el índice de calidad organoléptica del agua (WQI).

El índice de calidad organoléptica del agua “WQI” se esquematiza en la Figura 25, donde se muestra el diagrama de determinación del índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas.

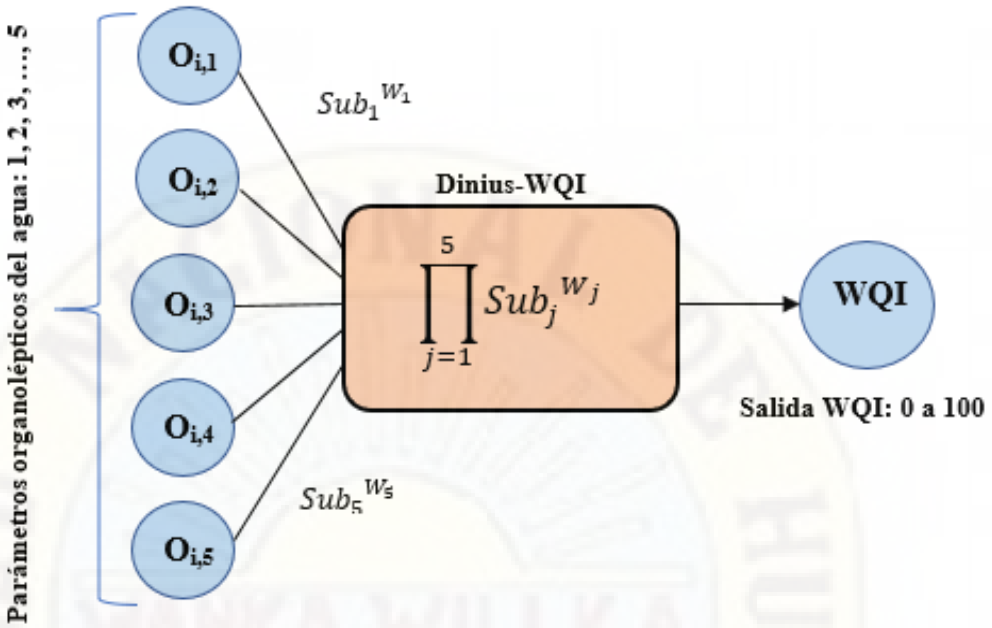


Figura 25. Diagrama de diseño del índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas

3.8. Selección de parámetros organolépticas de calidad del agua

Estos pasos y procedimientos se realizaron con cautela sabiendo que el modelo debería ampliar sus límites de aplicación y su objetivo para convertirse en una herramienta de monitoreo de la calidad organoléptica del agua de consumo humano. Con base en este hecho, se estableció un conjunto fijo de parámetros basado en la metodología de índices de calidad de agua Dinius-WQI. Los parámetros organolépticos considerados en el estudio fueron: pH, CE, Turbiedad, FCL y ΔTemperatura.

3.9. Cálculo del subíndice de los parámetros organolépticos del agua

Considerando que los parámetros del agua se monitorean en diferentes unidades, se aplican subíndices para convertir estas unidades de medida en una única escala adimensional común. Esta es una práctica común y el método convencional involucra curvas de calificación de subíndices que luego se

transforman en funciones matemáticas comúnmente conocidas como subíndices.

Para fines de la investigación, los puntos clave fijos de las curvas de calificación se establecieron gráficamente con referencia a los límites de concentración permisibles. Se utilizaron gráficos de línea recta para hacer converger los puntos trazados y producir una serie de gráficos lineales, exponenciales y polinómicas, que representan funciones de subíndice.

El subíndice del parámetro pH se obtiene de la Figura 26, con las funciones:

Si pH< 2 y pH >12; $Sub_{pH}=2$

Si pH<6.5; $SubpH= 0.4289e^{0.8042*pH}$

Si 6.5<=pH<8.5; $Sub_{pH}= -18.407pH^2 + 270.68*pH - 901.16$

Si pH>8.5; $Sub_{pH}= 394707e^{-1.002*pH}$

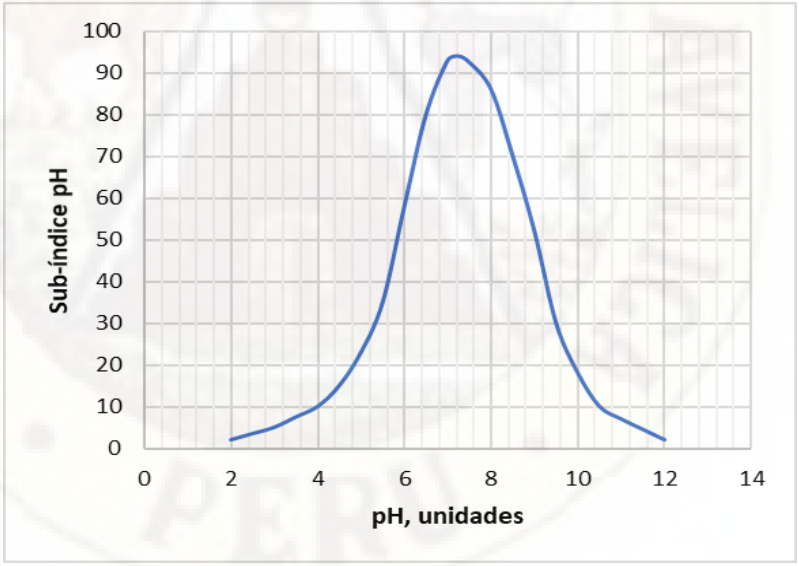


Figura 26. Curva de función para calcular el subíndice del pH

Fuente: *Adaptado de "A water quality index-do we dare" [6]*

El subíndice del parámetro CE se obtiene de la Figura 27, con las funciones condicionales:

Si 0<=CE<2000; $SubCE= 0.00003*CE^2 - 0.1072*CE + 100.01$

Si CE>=2000; Sub_{CE}= 2

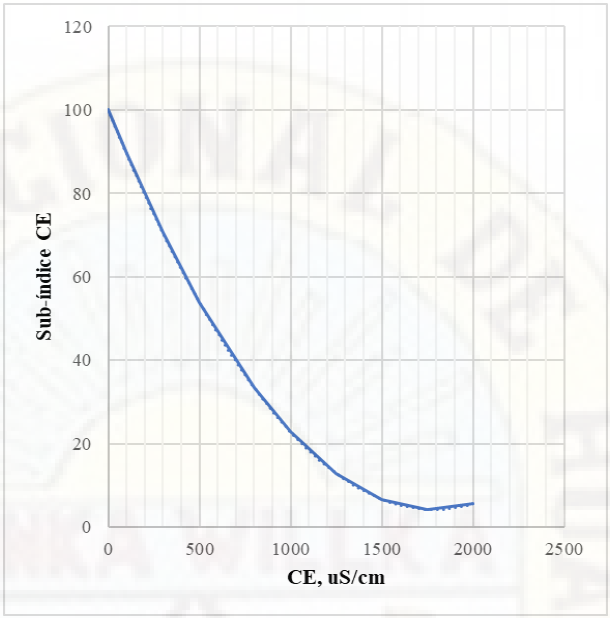


Figura 27. Curva de función para calcular el subíndice de CE

Fuente: *Adaptado de "A water quality index-do we dare" [6]*

El subíndice del parámetro Turbiedad se obtiene de la Figura 28, con las funciones condicionales siguientes:

Si Turbiedad<=5 UNT; Sub_{Turb}=-2.2*Turbiedad + 100

Si Turbiedad> 5 UNT; $Sub_{Turb}= 87.32e^{-0.016*Turbiedad}$

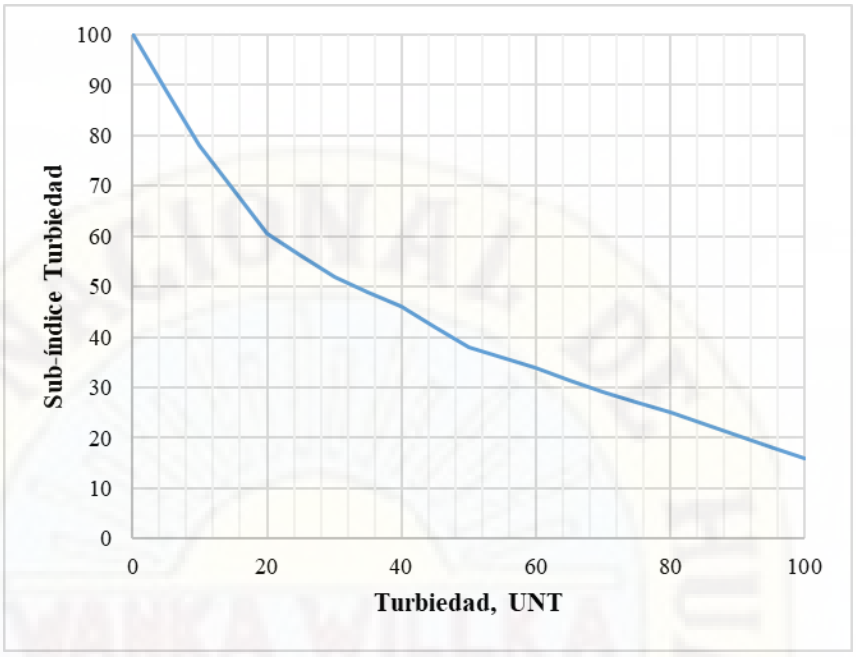


Figura 28. Curva de función para calcular el subíndice de Turbiedad

Fuente: *Adaptado de "A water quality index-do we dare" [6]*

El subíndice del parámetro organoléptico FCL se obtiene de la Figura 29, con las funciones condicionales siguientes:

Si FCL<0.5 mg/L; Sub_{FCL}=200*FCL

Si 0.5<=FCL<1.0 mg/L; Sub_{FCL}=100

Si 1<=FCL<1.5 mg/L; Sub_{FCL}=-100*FCL+200

Si FCL=>1.5 mg/L; Sub_{FCL}=-13.714*FCL + 70.571

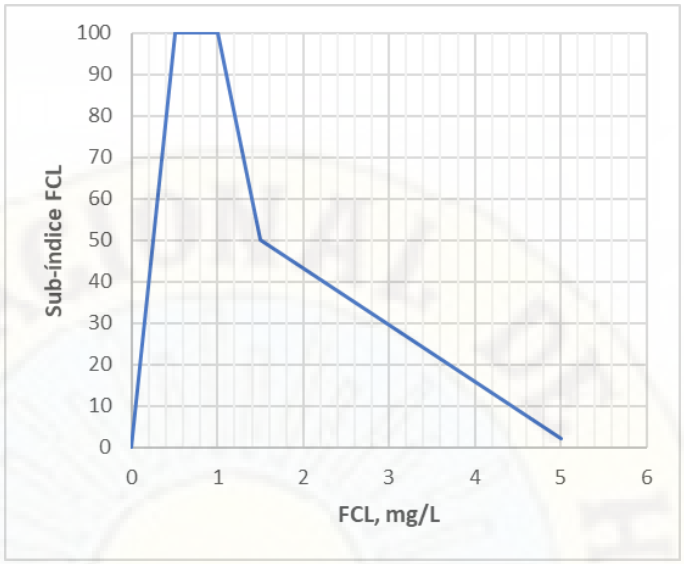


Figura 29. Curva de función para calcular el subíndice de FCL

Fuente: *Adaptado de "A water quality index-do we dare" [6]*

El subíndice del parámetro organoléptico ΔTemperatura se obtiene de la Figura 30, con las funciones condicionales siguientes:

Si ΔTemperatura<=3 °C; $Sub_{\Delta Temp}$ = $-1.2778(\Delta Temperatura)^2$ - 0.1667*ΔTemperatura + 93

Si ΔTemperatura>3 °C; $Sub_{\Delta Temp} = 99.613e^{-0.077*\Delta Temperatura}$

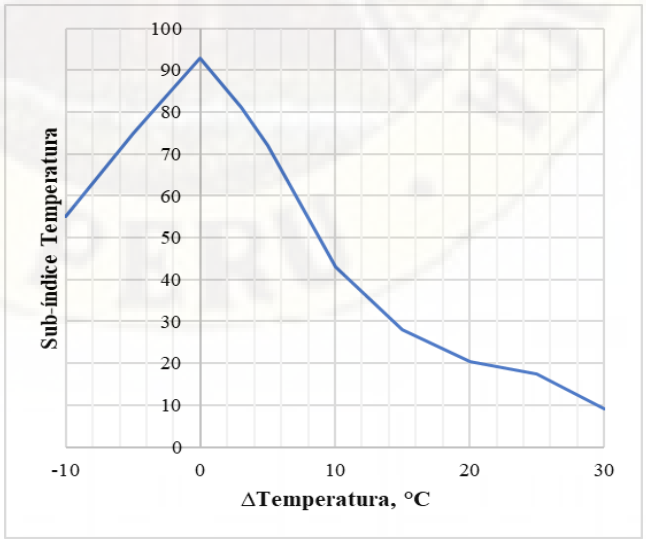


Figura 30. Curva de función para calcular el subíndice de ΔTemperatura

Fuente: *Adaptado de "A water quality index-do we dare" [6]*

Los subíndices para los parámetros del agua: pH, CE, Turbiedad, FCL y ΔTemperatura fueron calculados con el programa desarrollado en Step 7 de TIA Portal, utilizando lenguaje de control estructurado (SCL), de acuerdo a las funciones condicionales presentados para cada parámetro. El programa que calcula los subíndices de los parámetros organolépticos del agua se presenta en la Figura 31.

```
// Cálculo de SubpH
IF ("pH" < 2 OR "pH" > 12) THEN
    "SubpH" := 2.0;
ELSIF ("pH" < 6.5) THEN
    "SubpH" := 0.4289 * EXP(0.8042 * "pH");
ELSIF ("pH" >=6.5 AND "pH"  <= 8.5) THEN
    "SubpH" := -18.407 * "pH" * "pH" + 270.68 * "pH" - 901.16;
ELSIF ("pH" > 8.5) THEN
    "SubpH" := 394707 * EXP(-1.002 * "pH");
END_IF;
// Cálculo SubCE
IF (0<="CE" AND "CE"<2000) THEN
    "SubCE" := 0.00003*"CE"*"CE" - 0.1072*"CE" + 100.01;
ELSIF ("CE">=2000) THEN
    "SubCE" := 2;
END_IF;
// Cálculo SubTurbiedad
IF ("Turbiedad" <= 5.0) THEN
    "SubTurbiedad" := -2.2*"Turbiedad" + 100;
ELSIF ("Turbiedad">5) THEN
    "Turbiedad" := 87.32 * EXP(-0.016 * "Turbiedad");
END_IF;
// Cálculo SubFCL
IF ("FCL" < 0.5) THEN
    "SubFCL" := 200*"FCL";
ELSIF (0.5 <= "FCL" AND"FCL" < 1.0) THEN
    "SubFCL" := 100;
ELSIF (1.0 <= "FCL" AND "FCL" < 1.5) THEN
    "SubFCL" := -100*"FCL"+200;
ELSIF ("FCL" >=1.5 ) THEN
    "SubFCL" := -13.714*"FCL" + 70.571;
END_IF;
// Cálculo Sub▲Temperatura
IF ("▲Temperatura" <= 3.0) THEN
    "Sub▲Temperatura" := -1.2778*"▲Temperatura"*"▲Temperatura" -
                         0.1667*"▲Temperatura" + 93;
ELSIF ("▲Temperatura" >3.0) THEN
    "Sub▲Temperatura" := 99.613 * EXP(-0.077 * "▲Temperatura");
END_IF;
```

Figura 31. Programa en SCL que calcula los subíndices de los parámetros organolépticos del agua de consumo humano

3.10. Cálculo de pesos de los parámetros organolépticos del agua

Los parámetros organolépticos considerados en el estudio fueron el pH, CE, Turbiedad, FCL y ΔTemperatura, cuyos límites máximos permisibles y los pesos respectivos se muestra en la Tabla 9.

Los pesos (Wi) se obtuvieron de la estimación realizada por la metodología Dinius-WQI establecido con la metodología Delphi donde participaron expertos en calidad del agua [55], con ajuste a cinco parámetros organolépticos.

Tabla 9. Límites máximos permisibles y pesos de parámetros organolépticos del agua

Parámetros	Unidad de Medida	Límite Máximo Permisible	Peso (Wi)
pH	Unidades de pH	6.5 a 8.5	0.077/0.387 = 0.199
Conductividad eléctrica	uS/cm	1500	0.079/0.387 = 0.204
Turbiedad	UNT	5	0.08/0.387 = 0.207
Cloro libre	mg/L	0.5 a 1.0	0.074/0.387 = 0.191
ΔTemperatura	°C	3	0.077/0.387 = 0.199
Total			1.00

Fuente: Adaptado del "Reglamento de la calidad del agua para consumo humano" [22].

3.11. Clasificación por rangos del índice de calidad del agua

El índice de calidad del agua obtenido con la ecuación de Dinius-WQI, se clasifica por rangos y colores respectivos; el color azul no requiere tratamiento para consumo, el color celeste indica que requiere de tratamiento menor, el color verde indica dudoso consumo sin tratamiento, el color amarillo indica que es necesario tratamiento de potabilización, el color naranja indica que es dudoso para consumo y el color rojo indica que es inaceptable su consumo [31].

Tabla 10. Calificación por rango del índice de calidad del agua de consumo humano

Clase	Color	Definición	Dinius-WQI
1	AZUL	No requiere tratamiento para consumo	>90
2	Celeste	Tratamiento menor requerido	80< I ≤90
3	Verde	Dudoso consumo sin tratamiento	70< I ≤80
4	Amarillo	Tratamiento de potabilización necesario	50< I ≤70
5	Naranja	Dudoso para consumo	40< I ≤50
6	Rojo	Inaceptable su consumo	0< I ≤40

Nota: Adaptado de Dinius-WQI [31]

3.12. Población y muestra

El trabajo de investigación se desarrolló en la ciudad de Pampas, estando constituida la población por infinitas posibilidades de mediciones de los parámetros organolépticos del agua durante los meses de octubre a diciembre del año 2020.

Por el desarrollo del trabajo en zona urbana, las muestras fueron tomadas un día por cada semana de acuerdo a lo establecido en el protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua para consumo humano DIGESA [56]. Estas muestras son en total 120, tomados en 4 días 40 muestras por mes durante los meses de octubre, noviembre y diciembre, que son meses de estío o escasa lluvia en esta parte del país.

3.13. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se usó la técnica de la observación con toma de datos en línea por medio del PLC S7 1500 y WinCC Unified que cuenta con un algoritmo para instrumentos medidores de parámetros organolépticos.

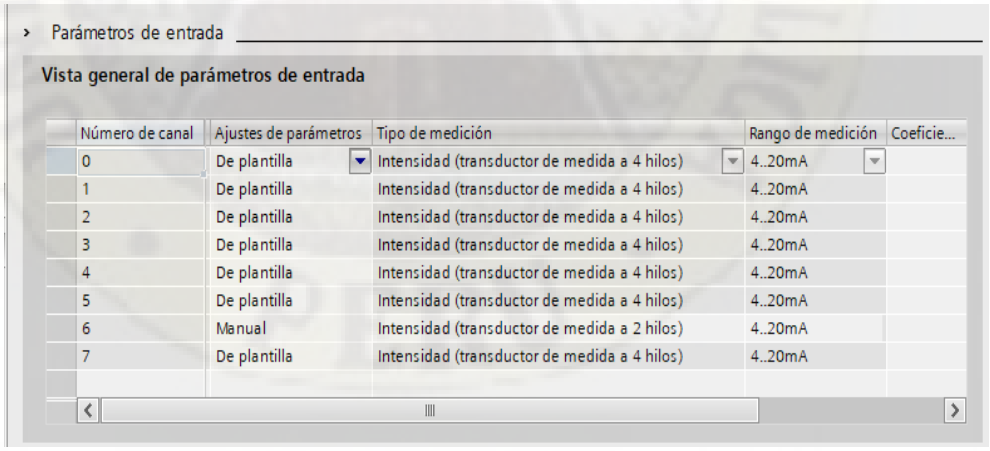
Los instrumentos usados para la recolección de datos de los parámetros organolépticos del agua fueron: un sensor-transmisor de pH con rango de

medida de 0 a 14, un sensor-transmisor de CE con rango de medida de 0 a 2000 uS/cm, un sensor-transmisor de turbiedad con rango de medida 0 a 4000 UNT, un sensor-transmisor de cloro libre (FCL) con rango de medida de 0.0 a 20.0 mg/L y un sensor-transmisor de temperatura Pt100 con rango de medida de 0 a 100 °C.

Para recolectar datos, los instrumentos se configuraron con comunicación de datos en corriente 4 - 20 mA con transductor de medida a 4 y 2 hilos (ver Figura 32) empleando el módulo analógico AI 8xU/I/RTD/TC ST del PLC S7 1500.

	Nombre	Tipo	Dirección	Tabla de variables	Comentario
		Int	%IW0		
	Transmisor_pH	Int	%IW2	Tabla de variables estándar	
	Transmisor_CE	Int	%IW4	Tabla de variables estándar	
		Int	%IW6		
	Transmisor_Turbiedad	Int	%IW8	Tabla de variables estándar	
		Int	%IW10		
	Transmisor_FCL	Int	%IW12	Tabla de variables estándar	
	Transmisor_Temp_PT...	Int	%IW14	Tabla de variables estándar	

Figura 32. Asignación de direcciones de entrada del módulo analógico a los sensores-transmisores de parámetros de agua



Número de canal	Ajustes de parámetros	Tipo de medición	Rango de medición	Coeficie...
0	De plantilla	Intensidad (transductor de medida a 4 hilos)	4...20mA	
1	De plantilla	Intensidad (transductor de medida a 4 hilos)	4...20mA	
2	De plantilla	Intensidad (transductor de medida a 4 hilos)	4...20mA	
3	De plantilla	Intensidad (transductor de medida a 4 hilos)	4...20mA	
4	De plantilla	Intensidad (transductor de medida a 4 hilos)	4...20mA	
5	De plantilla	Intensidad (transductor de medida a 4 hilos)	4...20mA	
6	Manual	Intensidad (transductor de medida a 2 hilos)	4...20mA	
7	De plantilla	Intensidad (transductor de medida a 4 hilos)	4...20mA	

Figura 33. Configuración de los sensores-transmisores a 4 y 2 hilos con rango de medición de 4 a 20 mA

Se realizó la programación de normalizado y escalado de las señales provenientes de los sensores-transmisores en lenguaje KOP (conocido como escalera) en la plataforma del TIA Portal con Step7 para adquirir los datos;

estos datos fueron normalizados y escalados dependiendo del rango de medición de cada instrumento tal como se presenta en las figuras 34 a 38.

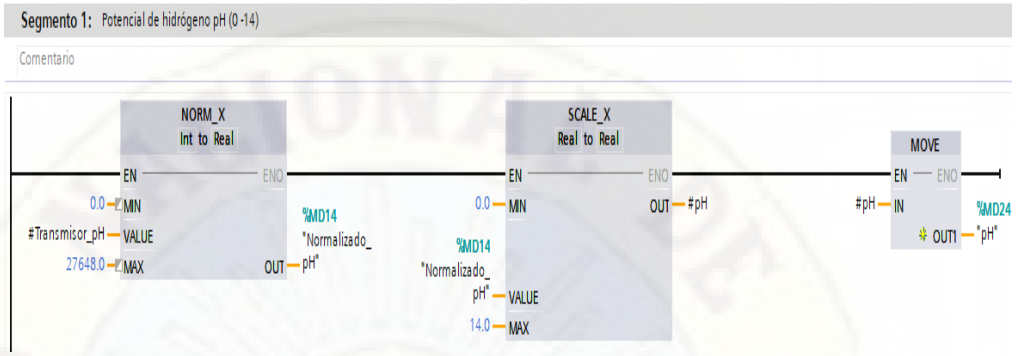


Figura 34. Normalización y escalado del pH en el rango de 0 a 14

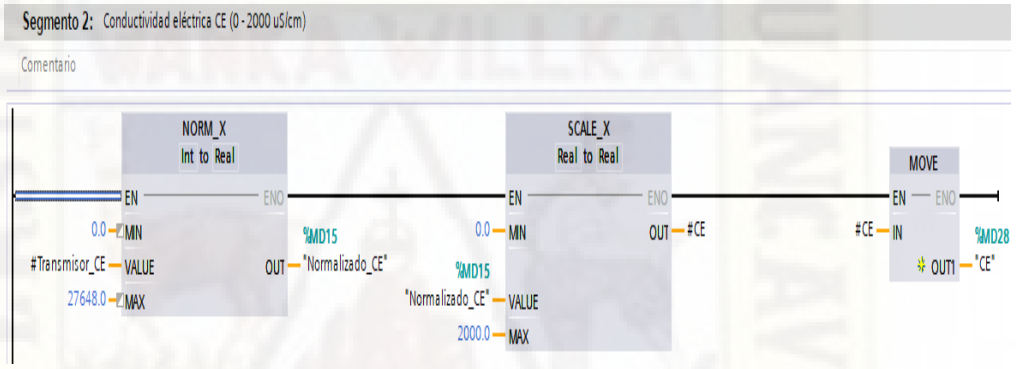


Figura 35. Normalización y escalado de la CE en el rango de 0 a 2000 uS/cm

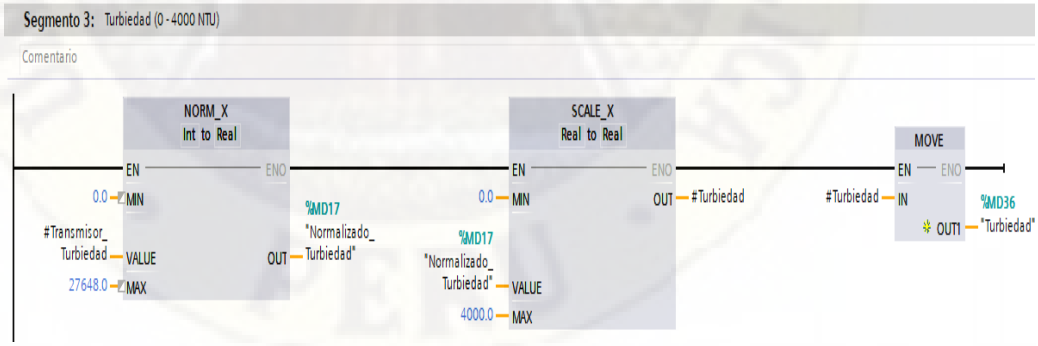


Figura 36. Normalización y escalado de la Turbiedad en el rango de 0 a 4000 UNT

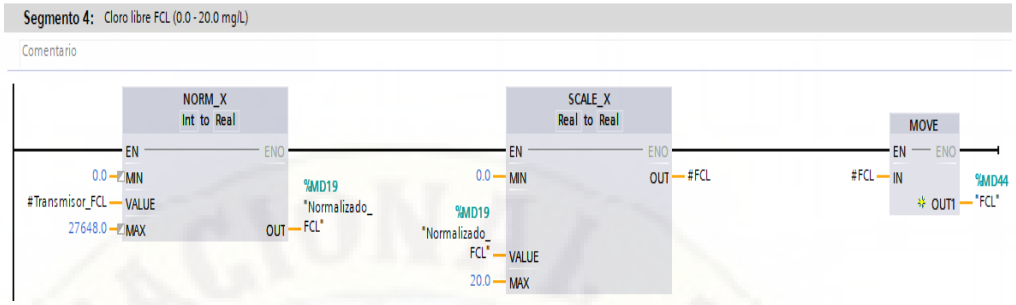


Figura 37. Normalización y escalado del FCL en el rango de 0 a 20 mg/L

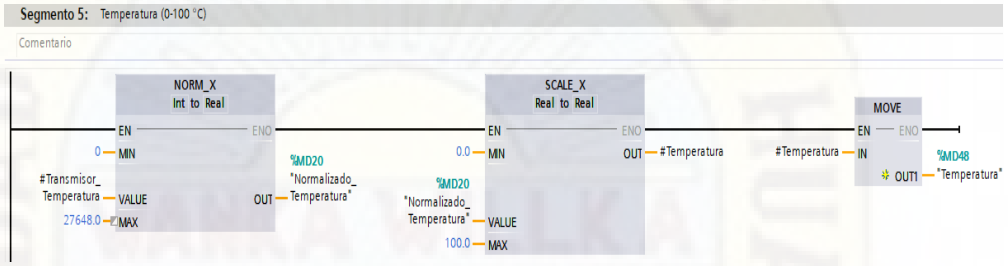


Figura 38. Normalización y escalado de la Temperatura en el rango de 0 a 100 °C

Los diagramas de los sensores-transmisores normalizados y escalados fueron agrupados en un bloque de sensores para ser ejecutados continuamente en el bloque de programa Main [OB1] (ver Figura 39).

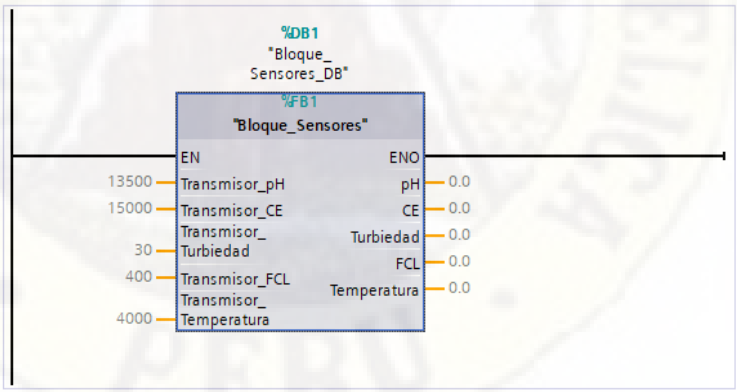


Figura 39. Bloque de sensores-transmisores normalizados y escalados para uso en el bloque de programa Main [OB1]

Los datos adquiridos fueron almacenados en una base de datos por medio del fichero configurado en WinCC, se muestra en la Figura 40.

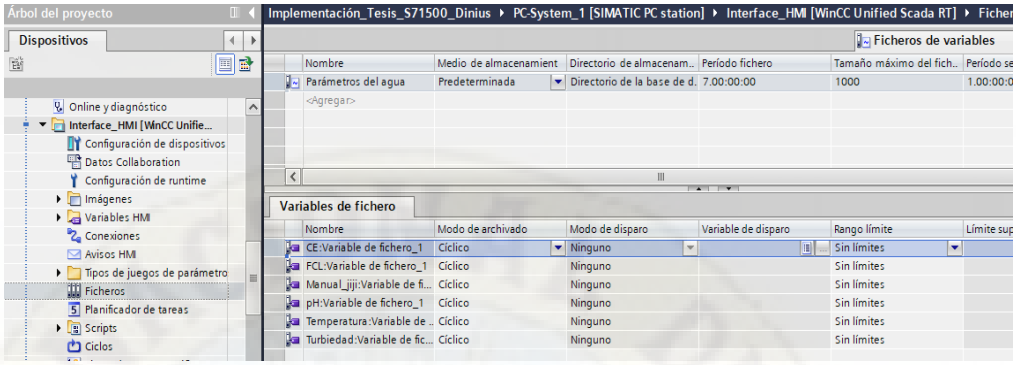


Figura 40. Ficheros para almacenamiento de datos

El contenido de los ficheros asignados a cada parámetro organoléptico, fueron leídos desde una plantilla creado con WinCC Unified Reporting tal como se ve en la Figura 41.

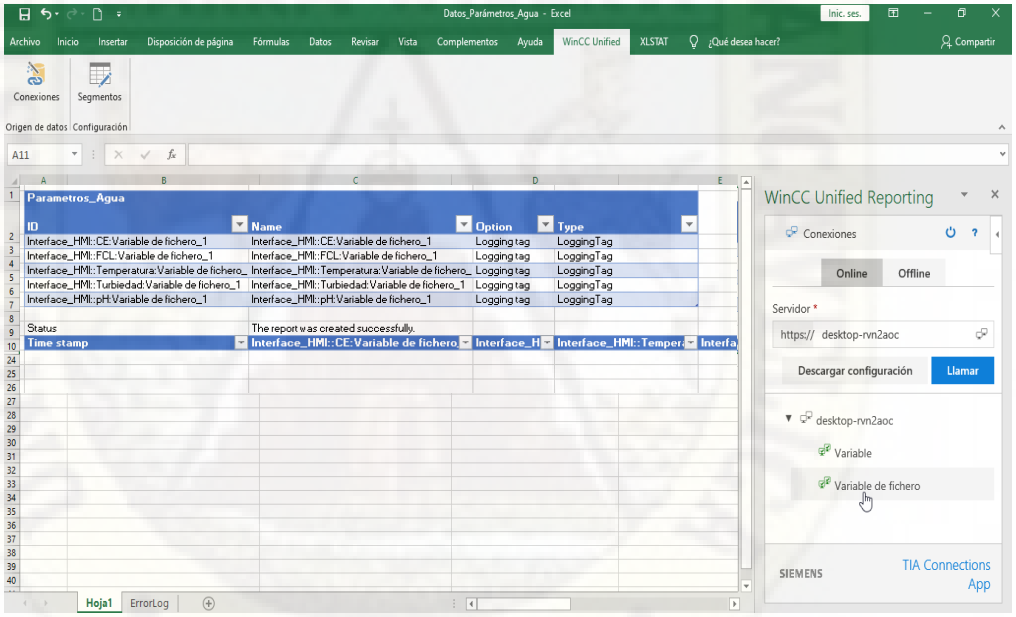


Figura 41. Ficheros para almacenamiento de datos

Los datos se obtuvieron durante los meses de octubre a diciembre del año 2020 con un día de muestreo por semana, haciendo un total de 120 datos por cada parámetro organoléptico del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas. Estos datos fueron recolectados y sistematizados con el formato de la Tabla 11.

Tabla 11. Formato para la recolección de datos de parámetros organolépticos del agua

Muestra	Fecha de muestreo	Hora	Potencial de hidrógeno "pH"	Conductividad eléctrica "CE", (uS/cm)	Turbiedad (UNT)	Cloro libre "FCL" (mg/L)	Temperatura (°C)
01							
02							
03							
04							
05							
06							
07							
08							
. . .							
120							

El total de datos recolectados de los parámetros organolépticos del agua para consumo humano en la ciudad de Pampas se presentan en apéndice A.

3.14. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Con datos previamente obtenidos se calculó el índice de calidad del agua basado en el algoritmo Dinius-WQI presentado en la ecuación 1. Este algoritmo fue implementado en el PLC S7 1500 empleando la función "Calculate" de la Figura 42.

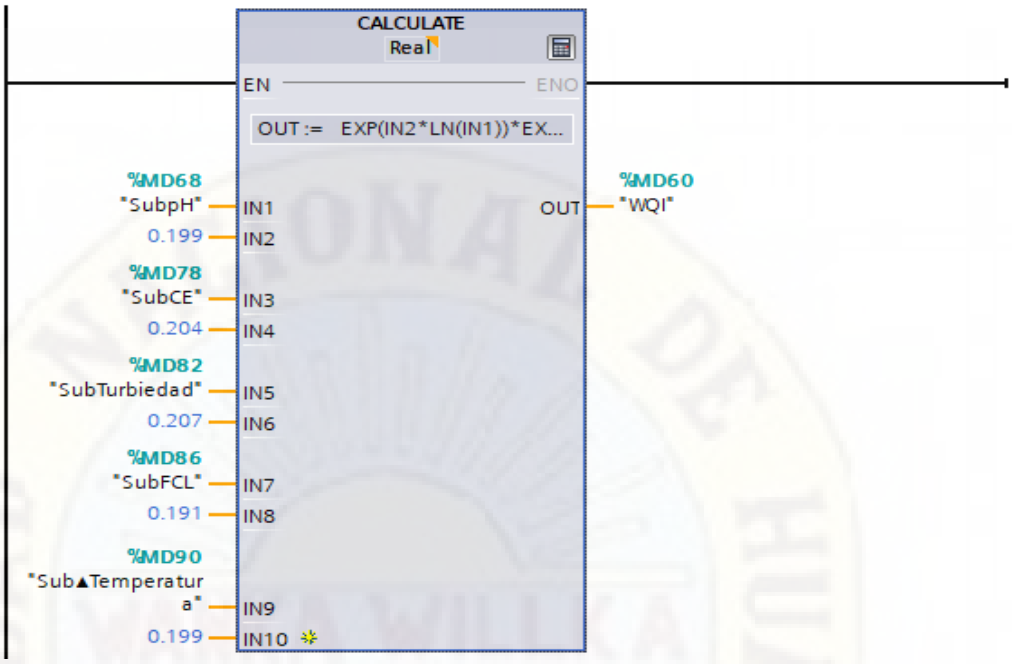


Figura 42. Bloque de función de cálculo del índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano

La función matemática para el cálculo del índice calidad organoléptica del agua implementado en el PLC S7 1500 es la que se muestra en la ecuación 4, y es expresada en el bloque de programación de la Figura 43.

$$WQI = SubpH^{0.199} * SubCE^{0.204} * SubTurbiedad^{0.207} * SubFCL^{0.191} * SubΔTemperatura^{0.199} \quad (4)$$

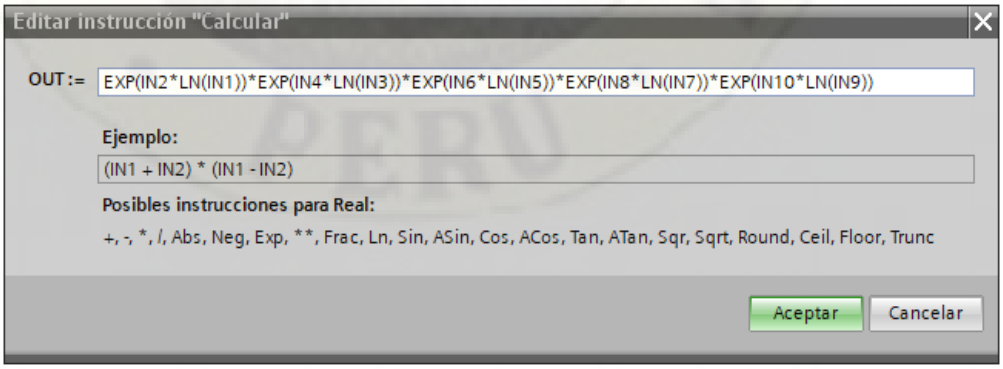


Figura 43. Función matemática de cálculo del índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano, implementado para PLC S7 1500

Por medio de la interface en WinCC Unified implementado como se muestra en la Figura 44 se obtuvieron los datos del apéndice A.

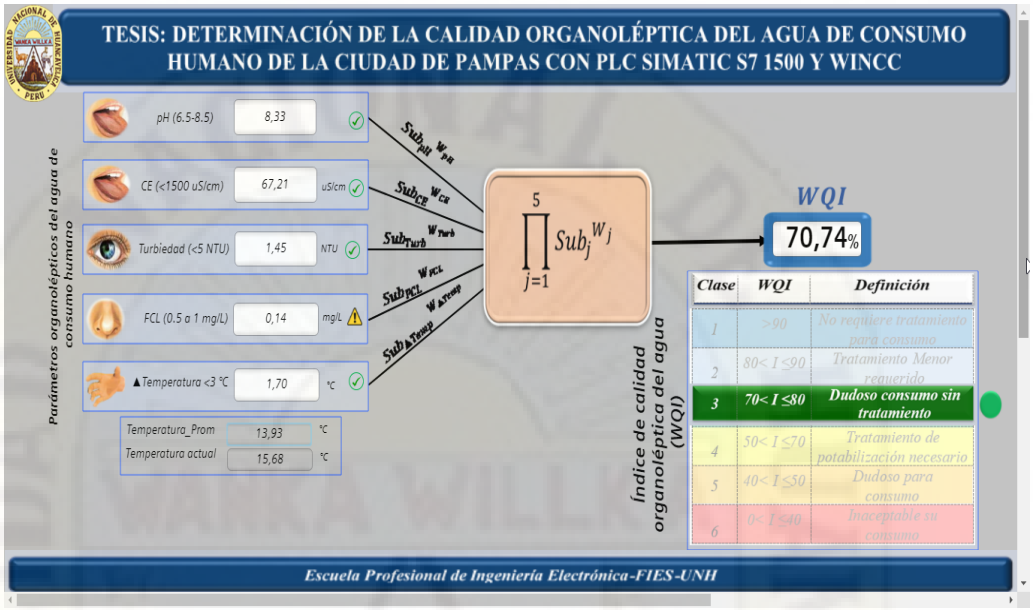


Figura 44. Interface HMI para la determinación de la calidad organoléptica del agua de consumo humano con PLC S7 1500 y WinCC

El análisis de datos por cada parámetro organoléptico del agua se basó en los estadísticos descriptivos por el tipo de investigación. Con la finalidad de validar el estudio y los resultados, se realizó la verificación estadística de las hipótesis a través del estadístico de Wilcoxon para muestras independientes por tratarse de datos no paramétricos [57]. Este estadístico se denota con W (ver ecuación 5). Es una alternativa a la prueba t de Student cuando no supone normalidad de las muestras.

$$W = \sum_{Z_i>0} R_i \qquad (5)$$

Donde: la suma de rangos R_i, corresponde a valores Z_i

Para valores grandes (> 20), como es el caso de este estudio, se hizo la transformación a Z ya que tiene una aproximación a la normal, siendo el valor el observado en la ecuación 6.

$$Z = \frac{W - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}} \quad (6)$$

Donde: *W* es el estadístico de Wilcoxon y *n* es el número observado de puntos de los datos.

El p-valor *para* probar las hipótesis se calculó con las siguientes expresiones:

a) Si Media > valor de prueba

$$P\left(Z \geq \frac{w - 0.5 - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}}\right) \quad (7)$$

Donde: w es el número de promedios de Walsh que exceden el valor de prueba sumado a la mitad del promedio de Walsh que son iguales a la media del valor de prueba con una corrección de 0.5.

b) Si Media < valor de prueba

$$P\left(Z \geq \frac{w + 0.5 - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}}\right) \quad (8)$$

c) Si Media ≠ valor de prueba

$$2 * P\left(Z \leq \frac{(k + 0.5) - \frac{n(n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n(n+1)(2n+1)}{24}}}\right) \quad (9)$$

Siendo k representado en la ecuación 6.

$$k = mín\left\{w, \frac{n(n+1)}{2} - w\right\} \quad (10)$$

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

Los valores para cada parámetro organoléptico del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas-Tayacaja, se obtuvieron en base a las muestras registradas en la Tabla A y el índice de calidad organoléptica del agua en la tabla B (presentados en el Apéndice A) por medio de los sensores-transmisores calibrados (ver Apéndice B).

A continuación, se presenta los resultados por cada parámetro que están asociados a cada hipótesis específica previamente formulada:

4.1.1. Parámetro pH

Hipótesis específica a: Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISHP105 se determina que el intervalo del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas está en el intervalo de 6.5 a 8.5, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

Para probar esta hipótesis con datos muestreados (ver Tabla A del apéndice) del parámetro organoléptico pH en el rango 6.5 a 8.5, sin distribución normal, se empleó la prueba no-paramétrica unilateral a la derecha e izquierda de Wilcoxon respectivamente.

a. Prueba de rangos unilateral a la derecha de Wilcoxon para muestras del parámetro pH>6.5

Se planteó las hipótesis estadísticas de trabajo siguientes:

H_0: La mediana de la muestra es menor igual a 6.5.

H_a: La mediana de la muestra es mayor que 6.5.

Se tuvo como resultado de la prueba los valores de la Tabla 12.

Tabla 12. Prueba de rangos unilateral a la derecha de Wilcoxon del parámetro pH

Z	9.520
Z (crítico)	1.645
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula H_0, y aceptar la hipótesis alternativa H_a.

b. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon para muestras del parámetro pH<8.5

Se planteó las hipótesis estadísticas de trabajo siguientes:

H_0: La mediana de la muestra es mayor igual a 8.5.

H_a: La mediana de la muestra es menor que 8.5.

Se tuvo como resultado de la prueba los valores de la Tabla 13.

Tabla 13. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro pH

Z	-8.255
Z (crítico)	-1.645
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

Debido a que el valor-p computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula H_0, y aceptar la hipótesis alternativa H_a.

c. Conclusión de la prueba de rangos de Wilcoxon del parámetro pH

Dado que las interpretaciones de las pruebas parciales (a, b) con cola a la derecha y cola a la izquierda para el parámetro pH indican el rechazo a ambas hipótesis nulas H_0 y la aceptación de las hipótesis alternativas H_a; por lo que se concluye que: ***con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISHP105 se determina que el intervalo del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas está en el intervalo de 6.5 a 8.5, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.***

4.1.2. Parámetro CE

Hipótesis específica b: Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISRP105 se determina que el nivel de Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 1500 uS/cm, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

Para probar esta hipótesis con datos muestreados (ver Tabla A del apéndice) del parámetro organoléptico de Conductividad Eléctrica menor a 1500 uS/cm, sin distribución normal, se empleó la prueba no-paramétrica unilateral a la izquierda de Wilcoxon.

a. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon para muestras del parámetro CE< 1500 uS/cm

Se planteó las hipótesis estadísticas de trabajo siguientes:

H_0: La mediana de la muestra es mayor igual a 1500 uS/cm.

H_a: La mediana de la muestra es menor que 1500 uS/cm.

Se tuvo como resultado de la prueba los valores de la Tabla 14.

Tabla 14. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro CE

Z	-9.505
Z (crítico)	-1.645
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

Debido a que el valor-p computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula H_0, y aceptar la hipótesis alternativa H_a.

b. Conclusión de la prueba de Wilcoxon del parámetro CE

Dado que la interpretación de la prueba (a) con cola a la izquierda para el parámetro CE indican el rechazo a la hipótesis nula H_0 y la aceptación de la hipótesis alternativa H_a; por lo que se concluye que: ***con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISRP105 se determina que el nivel de Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 1500 uS/cm, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.***

4.1.3. Parámetro Turbiedad

Hipótesis específica c: Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISST105 se determina que el nivel de Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 5 UNT, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

Para probar esta hipótesis con datos muestreados (ver Tabla A del apéndice) del parámetro organoléptico de Turbiedad menor a 5 UNT, sin distribución normal, se empleó la prueba no-paramétrica unilateral a la izquierda de Wilcoxon.

a. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon para muestras del parámetro Turbiedad< 5 UNT

Se planteó las hipótesis estadísticas de trabajo siguientes:

H_0: La mediana de la muestra es mayor igual a 5 UNT.

H_a: La mediana de la muestra es menor que 5 UNT.

Se tuvo como resultado de la prueba los valores de la Tabla 15.

Tabla 15. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro Turbiedad

Z	-9.543
Z (crítico)	-1.645
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, se debe rechazar la hipótesis nula H_0, y aceptar la hipótesis alternativa H_a.

b. Conclusión de la prueba de Wilcoxon del parámetro Turbiedad

Dado que la interpretación de la prueba (a) con cola a la izquierda para el parámetro Turbiedad indica el rechazo a la hipótesis nula H_0 y la aceptación de la hipótesis alternativa H_a; en consecuencia, se concluye: ***con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISST105 se determina que el nivel de Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 5 UNT, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.***

4.1.4. Parámetro FCL

Hipótesis específica d: Con el sensor transmisor Remond modelo RMD-ISCT105 se determina que la concentración de Cloro Libre en el agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 0.5 mg/L, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

Para probar esta hipótesis con datos muestreados (ver Tabla A del apéndice) del parámetro organoléptico FCL menor 0.5 mg/L, sin distribución normal, se empleó la prueba no-paramétrica unilateral a la izquierda de Wilcoxon.

a. Prueba de rangos unilateral a la derecha de Wilcoxon para muestras del parámetro FCL<0.5 mg/L

Se planteó las hipótesis estadísticas de trabajo siguientes:

H_0: La mediana de la muestra es mayor igual a 0.5 mg/L.

H_a: La mediana de la muestra es menor que 0.5 mg/L.

Se tuvo como resultado de la prueba los valores de la Tabla 16.

Tabla 16. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro FCL

Z	-9.518
Z (crítico)	-1.645
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

Debido a que el valor-p computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, es posible rechazar la hipótesis nula H_0, y aceptar la hipótesis alternativa H_a.

b. Conclusión de la prueba de rangos de Wilcoxon del parámetro FCL

Dado que la interpretación de la prueba parcial (a) con cola a la derecha para el parámetro FCL indica que es posible rechazar la hipótesis nula H_0 y aceptar la hipótesis alternativa H_a; por lo que se concluye que: ***con el sensor transmisor Remond modelo RMD-ISCT105 se determina que la concentración de Cloro Libre en el agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 0.5 mg/L, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.***

4.1.5. Parámetro ΔTemperatura

Hipótesis específica e: Con el sensor transmisor Pt100 tipo J se determina que la variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 3° C, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

Para probar esta hipótesis con datos muestreados (ver Tabla A del apéndice) del parámetro organoléptico ΔTemperatura menor a 3 °C, sin distribución normal, se empleó la prueba no-paramétrica unilateral a la izquierda de Wilcoxon.

a. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon para muestras del parámetro ΔTemperatura<3 °C

Se planteó las hipótesis estadísticas de trabajo siguientes:

H_0: La mediana de la muestra es mayor igual a 3 °C.

H_a: La mediana de la muestra es menor que 3 °C.

Se tuvo como resultado de la prueba los valores de la Tabla 17.

Tabla 17. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del parámetro ΔTemperatura

Z	-9.505
Z (crítico)	-1.645
valor-p (unilateral)	< 0.0001
alfa	0.05

Interpretación de la prueba:

Debido a que el valor-p computado es menor que el nivel de significación alfa=0.05, es posible rechazar la hipótesis nula H_0, y aceptar la hipótesis alternativa H_a.

b. Conclusión de la prueba de rangos de Wilcoxon del parámetro ΔTemperatura

Dado que la interpretación de la prueba parcial (a) con cola a la izquierda para el parámetro ΔTemperatura indica que es posible rechazar la hipótesis nula H_0 y aceptar la hipótesis alternativa H_a; por lo que se concluye que: ***con el sensor transmisor Pt100 tipo J se determina que la variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 3° C, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.***

4.1.6. Índice de calidad organoléptica del agua (WQI)

Hipótesis general: Con el algoritmo Dinius-WQI implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC se determina que el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas es dudoso para el consumo sin tratamiento, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.

Para probar esta hipótesis con datos registrados en la Tabla B del apéndice, del índice de calidad del agua WQI muestreados mayor a 70 %, sin distribución normal, se empleó la prueba no-paramétrica unilateral a la derecha de Wilcoxon.

a. Prueba de rangos unilateral a la derecha de Wilcoxon para muestras del WQI>70 %

Se planteó las hipótesis estadísticas de trabajo siguientes:

H_0: La mediana de la muestra es menor igual a 70 %.

H_a: La mediana de la muestra es mayor que 70 %.

Se tuvo como resultado de la prueba los valores de la Tabla 18.

Tabla 18. Prueba de rangos unilateral a la izquierda de Wilcoxon del WQI

Z	2.534
Z (crítico)	1.645
valor-p (unilateral)	< 0.006
alfa	0.05

En la Figura 45 se presenta la prueba Z de rangos unilateral del WQI del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas.

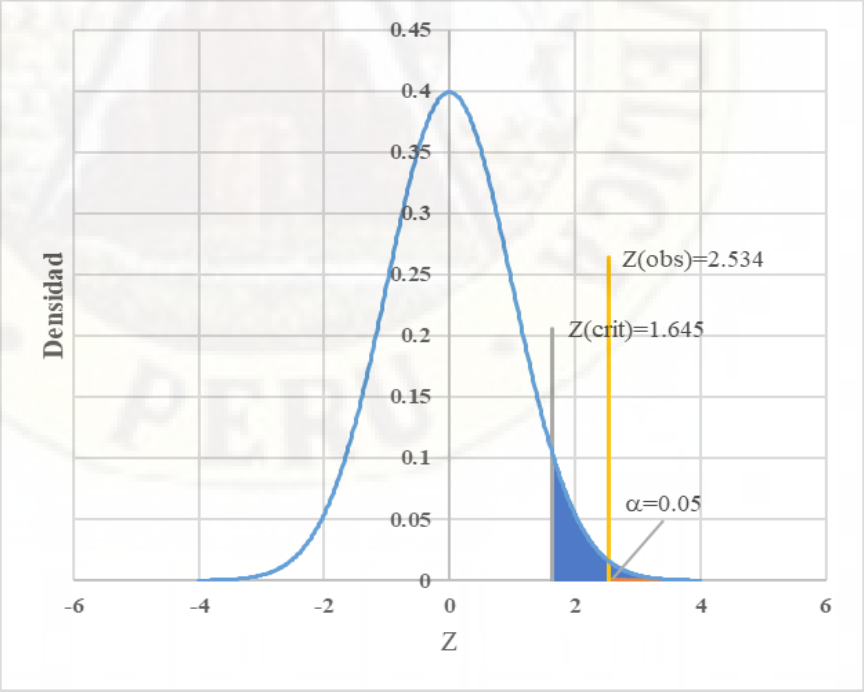


Figura 45. Prueba Z de rangos unilateral del WQI del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas

Interpretación de la prueba:

Puesto que el valor-p computado en la Tabla 18 es menor que el nivel de significación alfa=0.05, es posible rechazar la hipótesis nula H_0, y aceptar la hipótesis alternativa H_a.

b. Conclusión de la prueba de rangos de Wilcoxon del WQI

Dado que la interpretación de la prueba con cola a la derecha para el WQI indica que es posible rechazar la hipótesis nula H_0 y aceptar la hipótesis alternativa H_a; por lo que se concluye que: ***con el algoritmo Dinius-WQI implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC se determina que el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas es dudoso para el consumo sin tratamiento, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.***

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.2.1. Parámetro pH

De los resultados para el parámetro organoléptico pH percibido por el gusto, que representa la acidez o alcalinidad del agua de consumo humano se acepta la hipótesis alternativa que estable que el nivel del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, está en el rango de 6.5 a 8.5. Este rango del pH para agua de consumo humano está dentro de lo establecido por el Ministerio de Salud en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado el 24 de septiembre del 2010 [22].

Los resultados guardan relación con el estudio realizado por Mendoza en el año 2018 en la región de Ayacucho [24], donde este parámetro es monitoreado en junio y setiembre y no sobrepasa los límites máximos permisibles.

Sin embargo, en el estudio desarrollado por Bueno, Torres y Delgado en el año 2014 en el río Cauca en Cali [13], el mismo que abastece de agua para potabilización requirió de procesos de ajuste del pH debido a la acidez que dota la superficie.

4.2.2. Parámetro CE

Del resultado para este parámetro organoléptico percibido por el gusto y que está relacionado con la salinidad del agua se aceptó la hipótesis alternativa que establece que el nivel de la Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, es menor a 1500 uS/cm.

Este resultado está dentro de lo establecido por el Ministerio de Salud en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado el 24 de septiembre del 2010 [22].

Sin embargo, en zonas de mineras este parámetro sobre pasa el límite máximo permisible tal como evidencia Villena en el año 2018 [23] en el estudio “Calidad del agua y desarrollo sostenible” a nivel del Perú.

4.2.3. Parámetro Turbiedad

Del resultado para este parámetro organoléptico percibido por la visión y que está relacionado con partículas suspendidas en el agua que abarca hasta el nivel molecular, se acepta la hipótesis alternativa que establece que el nivel de la Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, es menor a 5 UNT.

Los resultados guardan relación con el trabajo de Mendoza 2018 [24] donde evalúa los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca de la región Ayacucho en el Perú en el mes de junio y setiembre que concluye que este parámetro y otros no sobrepasan los límites establecidos. Sin embargo, en épocas

de estiaje o invierno en esta zona del país es probable la filtración de agua con alto grado de turbiedad.

Este resultado está dentro del límite máximo permisible establecido por el Ministerio de Salud en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado el 24 de septiembre del 2010 [22].

4.2.4. Parámetro FCL

De los resultados para este parámetro organoléptico percibido con el olfato que mide la concentración de cloro en el agua de consumo humano cuya función es inactivar microorganismos patógenos, se acepta la hipótesis alternativa donde el nivel de concentración del Cloro Libre del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, es menor a 0.5 mg/L.

Este resultado no está dentro del límite máximo permisible establecido para este parámetro de calidad del agua debiendo estar en el intervalo de 0.5 a 1.0 mg/L, el mismo que fue establecido por el Ministerio de Salud en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado el 24 de septiembre del 2010 [22].

4.2.5. Parámetro ΔTemperatura

De los resultados para este parámetro organoléptico sensible al tacto, que representa la variación de temperatura medida con respecto a la temperatura promedio mensual, se acepta la hipótesis alternativa donde el nivel de variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, es menor a 3 °C.

Este resultado está dentro del límite máximo permisible establecido para este parámetro de calidad del agua debiendo ser menor a 3 °C, el mismo que fue establecido por el Ministerio de Salud en el Reglamento de la calidad del agua para consumo humano, aprobado el 24 de septiembre del 2010 [22].

Sin embargo, variaciones de temperaturas mayores 3 °C afectarán a diversos parámetros del agua [36], por lo que es necesario monitorear este parámetro.

4.2.6. Índice de calidad organoléptica del agua (WQI)

A partir de los resultados aceptamos la hipótesis alternativa general donde se establece que el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020 es mayor a 70%, lo que demuestra claramente que es dudoso para el consumo sin tratamiento principalmente por la falta de cloración. Este índice de calidad del agua fue establecido por la metodología Dinius, adaptado por diferentes autores como Torres, Hernán y Patiño en el trabajo de cálculo de índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano [31].

Este resultado guarda relación con los estudios de Villena en el año 2018 [23], que establece que la calidad del agua es esencial para la salud, sin embargo esta es contaminada, por lo que requiere desarrollo de estrategias ecoeficientes. Así mismos, Bracho y Fernández en el año 2017 [12] en Venezuela evalúan la potabilidad del agua para consumo humano en una comunidad desde el punto de vista físico, químico y bacteriológico, concluyendo que el agua requiere tratamiento y las aguas de pozo requiere tratamiento de desalinización.

Sin embargo, de manera opuesta a la metodología empleada en 2019 por Angulo [25] que evalúa los parámetros del agua a la salida de los reservorios, en este trabajo que desarrollamos se tomó las muestras y medidas de los parámetros en una estación de monitoreo ubicado en un punto de la red de distribución de agua para consumo humano localizado a una latitud 12°23’51.65” S, longitud 74°52’04.44” O y altitud de 3265 msnm que corresponde al cercado del distrito de Pampas en la provincia de Tayacaja.

Por otro lado, en lo que respecta a la implicancia teórica del cálculo del índice de calidad del agua existen diversas metodologías para su cálculo; pero para el cálculo del índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano se tuvo que establecer la metodología en base a la metodología Dinius-WQI que considera a los parámetros organolépticos pH, CE, Turbiedad, FCL y Temperatura [31].

CONCLUSIONES

De los resultados para el parámetro organoléptico pH percibido por el gusto, que representa la acidez, neutralidad o alcalinidad del agua, el nivel del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, está en el rango de 6.5 a 8.5, el cual se encuentra dentro del rango del pH para agua de consumo humano establecido por el Ministerio de Salud.

Del resultado para el parámetro organoléptico CE percibido por el gusto y que está relacionado con la salinidad del agua, el nivel de la Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, es menor a 1500 uS/cm.

Del resultado para el parámetro organoléptico Turbiedad percibido por la visión y que está relacionado con partículas suspendidas en el agua que abarca hasta el nivel molecular, el nivel de la Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, es menor a 5 UNT.

Del resultado para el parámetro organoléptico FCL percibido con el olfato que mide la concentración de cloro en el agua cuya función es inactivar microorganismos patógenos, el nivel de concentración del Cloro Libre del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, es menor a 0.5 mg/L, el cual se encuentra por debajo del rango 0.5 a 1.0 gr/L para agua de consumo humano establecido por el Ministerio de Salud.

Del resultado para el parámetro organoléptico Temperatura sensible al tacto, que representa la variación de temperatura medida con respecto a la temperatura promedio mensual, el nivel de variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020, es menor a 3 °C.

Finalmente, como se ha evidenciado en los resultados de este estudio el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, en el

periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020 es mayor a 70%, demostrándose que es de clase 3 y que es dudoso para el consumo sin tratamiento, de acuerdo a lo establecido por la metodología de Dinius-WQI.

RECOMENDACIONES

Realizar la medición del pH con instrumentos industriales de buena resolución y calibrados en por lo menos 03 puntos: uno en solución ácida, otra en solución neutra y la tercera en solución alcalina; para obtener una mayor precisión.

Realizar la medición de la conductividad eléctrica con instrumentos industriales de buena resolución calibrados con patrones de 0.500 y 1000 uS/cm.

Medir la turbiedad con instrumentos que se ajusten al rango del tipo de agua para mayor precisión, además las mediciones deben realizarse en ambientes aislados de la luz, ya que la medición de turbiedad es por la técnica nefelométrica donde se emplea un par transmisor-receptor de radiación infrarroja.

Medir el parámetro de concentración de cloro libre en el agua de consumo humano con sensores industriales para mejorar la precisión calibrados en patrones de 0, 10 y 15 mg/L.

Determinar la variación de temperatura actual en el agua de consumo humano tomando en cuenta el promedio de temperatura del mes anterior, para esto es necesario emplear termómetros industriales y con calibración previa a diferentes temperaturas.

Ampliar el horizonte del estudio a las diferentes estaciones del año para conocer el comportamiento cíclico anual de la calidad del agua para consumo humano en la ciudad de Pampas en redes de distribución con algoritmos implementados en PLC y HMI industriales, considerando más parámetros del agua y ampliando el estudio a varios años para conocimiento del índice de calidad del agua con mayor precisión y realizar proyecciones futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Y. Ouyang, "Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis", *Water Res.*, vol. 39, n.º 12, pp. 2621-2635, 2005, doi: https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.024.

[2] S. F. Pesce y D. A. Wunderlin, "Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquía River", *Water Res.*, vol. 34, n.º 11, pp. 2915-2926, 2000, doi: https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00036-1.

[3] P. R. Kannel, S. Lee, Y.-S. Lee, S. R. Kanel, y S. P. Khan, "Application of Water Quality Indices and Dissolved Oxygen as Indicators for River Water Classification and Urban Impact Assessment", *Environ. Monit. Assess.*, vol. 132, n.º 1, pp. 93-110, 2007, doi: 10.1007/s10661-006-9505-1.

[4] P. Debels, R. Figueroa, R. Urrutia, R. Barra, y X. Niell, "Evaluation of Water Quality in the Chillán River (Central Chile) Using Physicochemical Parameters and a Modified Water Quality Index", *Environ. Monit. Assess.*, vol. 110, n.º 1, pp. 301-322, 2005, doi: 10.1007/s10661-005-8064-1.

[5] R. K. Horton, "An index number system for rating water quality", *J Water Pollut Control Fed*, vol. 37, n.º 3, pp. 300-306, 1965.

[6] R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger, y R. G. Tozer, "A water quality index-do we dare", *Water Sew. Work.*, vol. 117, n.º 10, 1970.

[7] M. Saeedi, O. Abessi, F. Sharifi, y H. Meraji, "Development of groundwater quality index", *Environ. Monit. Assess.*, vol. 163, n.º 1, pp. 327-335, 2010.

[8] T. Tsegaye, D. Sheppard, K. R. Islam, W. Tadesse, A. Atalay, y L. Marzen, "Development of Chemical Index as a Measure of In-Stream Water Quality in Response to Land-Use and Land Cover Changes", *Water. Air. Soil Pollut.*, vol. 174, n.º 1, pp. 161-179, 2006, doi: 10.1007/s11270-006-9090-5.

[9] E. Sánchez *et al.*, “Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution”, *Ecol. Indic.*, vol. 7, n.º 2, pp. 315-328, 2007, doi: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005.

[10] A. A. Khan, R. Paterson, y H. Khan, “Modification and application of the CCME WQI for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador”, en *38th, Central Symposium on Water Quality Research, Canadian Association on Water Quality*, 2003, pp. 10-11.

[11] M. K. Chaturvedi y J. K. Bassin, “Assessing the water quality index of water treatment plant and bore wells, in Delhi, India”, *Environ. Monit. Assess.*, vol. 163, n.º 1, pp. 449-453, 2010.

[12] I. Bracho Fernández y M. Fernández Rodríguez, “Evaluación de la calidad de las aguas para consumo humano en la comunidad venezolana de San Valentín, Maracaibo”, *Minería y Geol.*, vol. 33, n.º 3, pp. 339-349, 2017.

[13] K. A. Bueno, P. Torres, y L. G. Delgado, “Monitoreo y medición del ajuste del pH del agua tratada del río Cauca mediante índices de estabilización”, *Rev. U.D.C.A Actual. Divulg. Científica*, vol. 17, n.º 2, pp. 563-575, 2014, [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n2/v17n2a28.pdf.

[14] R. P. Rodriguez Villanueva, “Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en la ciudad universitaria de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019”, Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

[15] Koshland-science, “El agua potable apta para el consumo es esencial”. https://www.koshland-science-museum.org/water/new/es/Overview/Why-is-Safe-Water-Essential.html (accedido ago. 09, 2020).

[16] “Decenio Internacional para la Acción «El agua, fuente de vida» 2005-2015. Área temática: Agua y desarrollo sostenible”.

[17] OMS, *Guías para la calidad del agua potable*, vol. 1. 2006.

[18] D. Bonett, A. Sánchez, N. Calle, C. Gutiérrez, y D. Mendoza, “Perú: formas de acceso al agua y saneamiento básico”, *Inst. Nac. Estadística e Informática*, vol. Junio, pp. 1-70, 2020, [En línea]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua.pdf.

[19] K. D. Bharti N, “Water quality indices used for surface water vulnerability assessment”, *Int. J. Environ. Sci.*, vol. 2, n.º 1, pp. 154-173, 2011, doi: 10.6088/ijes.00202010017.

[20] F. Khan, T. Husain, y A. Lumb, “Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada.”, *J. Monit. Assessment, Kluwer Acad. Publ. Netherl. 2003*, pp. 88(1):221–248, 2003.

[21] MINAM, “Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua”, *El Peruano*, p. 19, 2017.

[22] MINSA, *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-SA.)*. Lima, 2011.

[23] J. A. Villena, “Calidad del agua y desarrollo sostenible”, *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 35, n.º 2, pp. 304-308, abr. 2018, doi: 10.17843/rpmesp.2018.352.3719.

[24] M. A. Mendoza, “Evaluación fisicoquímica de la calidad del agua superficial en el centro poblado de Sacsamarca, región Ayacucho, Perú”, 2018.

[25] K. A. N. Angulo Angulo, “Evaluación de parámetros de control obligatorio en sistemas de agua potable de la zona urbana y rural del distrito de San Juan - Cajamarca 2018”, *Univ. Priv. Antenor Orrego*, 2019, [En línea]. Disponible en: http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/5087.

[26] M. C. Vidal Crisanto, “Sistema de sensado remoto para la medición de variables ambientales”, Universidad Veracruziana, 2014.

[27] RAE, “Agua, definición”, *Diccionario de la lengua española*.

https://dle.rae.es/agua?m=form (accedido ago. 12, 2020).

[28] WHO, *Guias para la calidad del agua de consumo humano*, 4ta ed. Ginebra, 2011.

[29] MINAM, "Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM", 2017. https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones (accedido ago. 12, 2020).

[30] N. Fernández y F. Solano, "Índices de Calidad y Contaminación del Agua, Pamplona", *Univ. Pamplona*, 2008.

[31] P. Torres, C. Hernán, y P. Patiño, "Índices de Calidad de Agua en Fuentes Superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano", *Rev. Ing. - Univ. Medellín*, vol. 8, n.º 15, pp. 79-94, 2009, [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf.

[32] S. Tyagi, B. Sharma, y P. Singh, "Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index", *Am. J. Water Resour.*, vol. 1, pp. 34-38, ene. 2013, doi: 10.12691/ajwr-1-3-3.

[33] A. Lumb, T. C. Sharma, y J.-F. Bibeault, "A Review of Genesis and Evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions", *Water Qual. Expo. Heal.*, vol. 3, n.º 1, pp. 11-24, 2011, doi: 10.1007/s12403-011-0040-0.

[34] S. H. Dinius, "Design of an index of water quality", *Water Resour. Bull.*, vol. 23, n.º 5, pp. 833-843, 1987, doi: https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1987.tb02959.x.

[35] V. Dao, W. Urban, y S. B. Hazra, "Introducing the modification of Canadian Water Quality Index", *Groundw. Sustain. Dev.*, vol. 11, p. 100457, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100457.

[36] FONDRIEST, "pH of Water - Environmental Measurement Systems", 2013. https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/water-

quality/ph/ (accedido nov. 25, 2020).

[37] Lauderdale, “Free Chlorination”, 2014. https://www.fortlauderdale.gov/departments/public-works/utilities-division/free-chlorination (accedido oct. 25, 2020).

[38] A. Creus, *Instrumentacón industrial*, 8.ª ed. México: Alfaomega, 2010.

[39] BOPLA, “Grado de protección IP 68”, 2019. https://www.bopla.de/es/datos-tecnicos/informaciones-tecnicas/grados-de-proteccion/ip-68.html (accedido jun. 10, 2020).

[40] REMOND, “Tratamiento de agua en línea medidor de pH”, 2019. https://remond.en.alibaba.com/product/60797326795-806248211/Water_treatment_online_rs485_ph_elect (accedido jun. 10, 2020).

[41] Fisher Scientific, “Solución de cloruro de potasio 3M”, 2019. https://www.fishersci.es/shop/products/potassium-chloride-solution-3m-4/p-8014345 (accedido jun. 11, 2019).

[42] REMOND, “Water quality analysis”. Shanghai, 2019, [En línea]. Disponible en: https://remond.en.alibaba.com/es_ES/?spm=a2700.icbuShop.88.7.20674367QPvkOI.

[43] C. E. Boyd, *Water quality*, 3.ª ed. USA: Springer, 2020.

[44] M. Novák, *Introduction to Sensors for Electrical and Mechanical Engineers*. Taylor & Francis Group, LLC, 2021.

[45] J. De Gerson, “Instrumentación y control de plantas industriales”, 2020. https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2014/12/medida-de-temperatura-en-una-planta.html (accedido nov. 15, 2020).

[46] L. Peciña, *Programación de Controladores avanzados SIMATIC S7 1500 con TIA Portal AWL y SCL*, 2.ª ed. Madrid: Marcombo, 2018.

[47] Siemen, *S7-1500/ET 200MP Módulo de entradas analógicas AI 8xU/I/RTD/TC ST (6ES7531-7KF00-0AB0)*. 2018.

[48] Siemens, *TIA Portal V15*. 2017.

[49] Siemens, "Liberación para el suministro del SIMATIC WinCC Unified V16 - ID: 109771777 - Industry Support Siemens", 2020. https://support.industry.siemens.com/cs/document/109771777/liberación-para-el-suministro-del-simatic-wincc-unified-v16?dti=0&lc=es-CL (accedido nov. 15, 2020).

[50] INEI, *Perú: Crecimiento y distribución de la población total, 2017*. Lima, 2018.

[51] INEI, *Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares*. 2018.

[52] INEI, "Sistema de consulta de abastecimiento de agua por red pública a nivel de manzana", 2017. https://agua.inei.gob.pe/menu/?csrfmiddlewaretoken=t1sqixzwNll8tcm9StoqaBB2zniCPPIsWHgwVw8ajnqtQYVEEOiUzo2e6ByQz1yE&next= (accedido dic. 02, 2020).

[53] R. Hernández y C. Mendoza, *Metodología de la investigación - Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. México: McGraw-Hill, 2018.

[54] J. H. Pimienta Prieto y A. De La Orden Hoz, "Metodología de la Investigación". Pearson Educación, 2017.

[55] H. R. Mian, G. Hu, K. Hewage, M. J. Rodriguez, y R. Sadiq, "Drinking water quality assessment in distribution networks: A water footprint approach", *Sci. Total Environ.*, vol. 775, p. 145844, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145844.

[56] DIGESA, "Protocolo de procedimientos para la toma de muestras, preservación, conservación, transporte, almacenamiento y recepción de agua

para consumo humano", 2015.

[57] A. Quispe Andía, K. M. Calla Vasquez, J. S. Yangali Vicente, J. L. Rodríguez López, y I. I. Pumacayo Palomino, *Estadística no paramétrica aplicada a la investigación científica con software SPSS, Minitab y Excel*, 1.ª ed. Colombia: Eidec, 2019.

APÉNDICE

A. MUESTRA TOMADAS

Punto de muestreo 1: 12°23'51.84"S, 74°52'4.49"O

Dirección Jr. Miller 450 - Cercado Pampas-Tayacaja

Temperatura promedio 14.77 °C

Tabla A. Muestras tomadas de los parámetros organolépticos del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas.

			Límite máximo permisible				
			6.5 a 8.5	< 1500 us/cm	< 5	0,5 a 1,0 mg/L	< 3
Muestra	Fecha de muestreo	Hora	Potencial de hidrógeno "pH"	Conductividad eléctrica "CE" (uS/cm)	Turbiedad (UNT)	Cloro libre "FCL" (mg/L)	ΔTemperatura (°C)
1	03/10/2020	8:00	7.80	72.10	1.50	0.09	1.11
2	03/10/2020	9:00	8.40	74.10	1.60	0.17	0.80
3	03/10/2020	10:00	8.10	61.90	1.20	0.11	0.50
4	03/10/2020	11:00	8.20	66.10	1.20	0.15	0.10
5	03/10/2020	12:00	8.50	75.30	1.10	0.13	0.00
6	03/10/2020	13:00	8.60	78.20	1.10	0.18	0.30
7	03/10/2020	14:00	8.40	68.30	1.10	0.13	0.90
8	03/10/2020	15:00	8.30	64.40	1.10	0.16	1.00
9	03/10/2020	16:00	7.80	69.40	1.20	0.13	1.20
10	03/10/2020	17:00	8.20	79.00	1.30	0.13	1.30
11	10/10/2020	8:00	8.00	77.00	1.40	0.16	0.50
12	10/10/2020	9:00	7.90	64.80	1.50	0.09	0.00
13	10/10/2020	10:00	8.10	70.00	1.10	0.12	0.60
14	10/10/2020	11:00	7.90	67.40	1.40	0.13	1.00
15	10/10/2020	12:00	8.10	72.70	1.10	0.18	1.20
16	10/10/2020	13:00	8.50	73.70	1.10	0.16	1.30
17	10/10/2020	14:00	8.40	77.60	1.30	0.12	1.50
18	10/10/2020	15:00	7.90	71.50	1.40	0.08	1.70

19	10/10/2020	16:00	8.10	74.40	1.40	0.13	2.00
20	10/10/2020	17:00	8.60	60.30	1.40	0.17	2.50
21	17/10/2020	8:00	8.10	74.50	1.40	0.10	1.22
22	17/10/2020	9:00	8.50	79.20	1.10	0.16	1.22
23	17/10/2020	10:00	8.40	69.70	1.50	0.12	1.02
24	17/10/2020	11:00	8.60	65.10	1.20	0.10	0.72
25	17/10/2020	12:00	8.50	70.30	1.10	0.08	0.32
26	17/10/2020	13:00	7.80	75.10	1.00	0.17	0.32
27	17/10/2020	14:00	7.80	68.70	1.30	0.14	0.08
28	17/10/2020	15:00	8.60	62.80	1.30	0.16	0.18
29	17/10/2020	16:00	7.90	74.00	1.00	0.09	0.28
30	17/10/2020	17:00	8.40	60.50	1.20	0.14	0.78
31	24/10/2020	8:00	8.30	64.20	1.50	0.16	1.93
32	24/10/2020	9:00	8.50	61.30	1.50	0.15	1.53
33	24/10/2020	10:00	8.40	75.30	1.40	0.18	1.23
34	24/10/2020	11:00	8.10	65.10	1.30	0.14	0.73
35	24/10/2020	12:00	8.60	60.10	1.00	0.09	0.73
36	24/10/2020	13:00	8.40	68.60	1.00	0.09	0.33
37	24/10/2020	14:00	8.00	77.80	1.20	0.15	0.27
38	24/10/2020	15:00	8.40	71.40	1.30	0.10	0.67
39	24/10/2020	16:00	7.90	79.50	1.00	0.09	1.17
40	24/10/2020	17:00	8.50	74.50	1.20	0.11	1.77
41	07/11/2020	8:00	8.00	61.70	1.60	0.09	0.86
42	07/11/2020	9:00	7.90	65.30	1.50	0.08	0.57
43	07/11/2020	10:00	8.30	76.50	1.10	0.18	0.37
44	07/11/2020	11:00	8.00	64.70	1.40	0.10	0.03
45	07/11/2020	12:00	8.50	69.20	1.40	0.15	0.13
46	07/11/2020	13:00	8.60	64.30	1.40	0.12	0.33
47	07/11/2020	14:00	8.20	78.50	1.10	0.13	0.93
48	07/11/2020	15:00	7.90	78.60	1.10	0.10	1.13
49	07/11/2020	16:00	7.80	77.70	1.30	0.09	1.73

50	07/11/2020	17:00	8.30	76.40	1.40	0.15	1.83
51	14/11/2020	8:00	8.30	66.00	1.50	0.13	1.88
52	14/11/2020	9:00	8.30	60.60	1.30	0.09	1.87
53	14/11/2020	10:00	8.60	68.20	1.50	0.15	1.57
54	14/11/2020	11:00	8.40	64.30	1.10	0.18	1.47
55	14/11/2020	12:00	8.30	60.50	1.00	0.15	0.97
56	14/11/2020	13:00	8.10	63.60	1.40	0.15	0.77
57	14/11/2020	14:00	8.10	65.10	1.00	0.16	0.27
58	14/11/2020	15:00	8.50	77.50	1.00	0.16	0.17
59	14/11/2020	16:00	8.20	66.10	1.40	0.11	0.13
60	14/11/2020	17:00	7.90	62.80	1.10	0.17	0.73
61	21/11/2020	8:00	8.10	72.40	1.50	0.13	1.20
62	21/11/2020	9:00	8.50	60.30	1.10	0.16	1.20
63	21/11/2020	10:00	8.60	62.70	1.50	0.18	0.90
64	21/11/2020	11:00	8.50	70.00	1.10	0.12	0.30
65	21/11/2020	12:00	7.90	62.80	1.40	0.15	0.20
66	21/11/2020	13:00	8.60	70.60	1.00	0.10	0.40
67	21/11/2020	14:00	8.20	68.00	1.10	0.09	0.80
68	21/11/2020	15:00	8.40	72.30	1.40	0.14	1.20
69	21/11/2020	16:00	8.40	70.20	1.10	0.15	1.60
70	21/11/2020	17:00	8.60	75.90	1.00	0.15	2.00
71	28/11/2020	8:00	8.40	69.40	1.00	0.09	0.76
72	28/11/2020	9:00	8.20	79.50	1.00	0.11	0.46
73	28/11/2020	10:00	8.50	77.20	1.00	0.18	0.46
74	28/11/2020	11:00	8.30	64.70	1.40	0.17	0.36
75	28/11/2020	12:00	8.50	69.70	1.30	0.12	0.14
76	28/11/2020	13:00	8.00	72.30	1.40	0.11	0.14
77	28/11/2020	14:00	8.10	72.90	1.00	0.13	0.44
78	28/11/2020	15:00	8.00	64.70	1.10	0.12	0.44
79	28/11/2020	16:00	8.30	63.80	1.10	0.17	0.94
80	28/11/2020	17:00	7.80	78.90	1.10	0.10	1.24

81	05/12/2020	8:00	8.60	71.20	1.50	0.16	1.72
82	05/12/2020	9:00	8.20	74.60	1.20	0.08	1.72
83	05/12/2020	10:00	7.80	65.20	1.20	0.14	1.32
84	05/12/2020	11:00	7.80	75.80	1.10	0.15	1.22
85	05/12/2020	12:00	7.80	71.70	1.40	0.16	1.02
86	05/12/2020	13:00	8.20	73.50	1.10	0.12	0.52
87	05/12/2020	14:00	8.10	77.10	1.10	0.12	0.32
88	05/12/2020	15:00	8.20	63.90	1.30	0.09	0.18
89	05/12/2020	16:00	7.80	71.70	1.30	0.11	0.78
90	05/12/2020	17:00	8.00	75.70	1.10	0.13	0.98
91	12/12/2020	8:00	8.30	67.70	1.30	0.13	1.49
92	12/12/2020	9:00	8.10	69.30	1.30	0.18	1.29
93	12/12/2020	10:00	8.50	77.40	1.20	0.13	0.99
94	12/12/2020	11:00	8.10	79.30	1.30	0.10	0.49
95	12/12/2020	12:00	8.60	70.60	1.20	0.18	0.19
96	12/12/2020	13:00	8.10	66.20	1.30	0.08	0.41
97	12/12/2020	14:00	8.20	71.60	1.40	0.09	1.01
98	12/12/2020	15:00	7.80	67.00	1.40	0.10	1.21
99	12/12/2020	16:00	7.80	73.80	1.20	0.15	1.61
100	12/12/2020	17:00	7.90	75.90	1.30	0.13	2.01
101	19/12/2020	8:00	8.40	73.30	1.10	0.08	1.03
102	19/12/2020	9:00	8.40	60.30	1.30	0.12	0.73
103	19/12/2020	10:00	8.50	70.20	1.30	0.13	0.13
104	19/12/2020	11:00	8.00	71.10	1.40	0.15	0.27
105	19/12/2020	12:00	8.00	74.80	1.40	0.12	0.57
106	19/12/2020	13:00	7.90	70.40	1.10	0.15	1.17
107	19/12/2020	14:00	8.00	73.00	1.10	0.15	1.67
108	19/12/2020	15:00	8.30	77.80	1.20	0.13	1.77
109	19/12/2020	16:00	8.40	62.70	1.20	0.14	1.97
110	19/12/2020	17:00	7.80	66.40	1.30	0.13	2.07
111	26/12/2020	8:00	8.00	61.40	1.50	0.14	1.27

112	26/12/2020	9:00	8.60	61.20	1.40	0.10	0.87
113	26/12/2020	10:00	8.30	78.80	1.00	0.11	0.87
114	26/12/2020	11:00	8.00	68.00	1.30	0.08	0.37
115	26/12/2020	12:00	8.50	62.00	1.20	0.14	0.37
116	26/12/2020	13:00	8.60	70.70	1.40	0.14	0.37
117	26/12/2020	14:00	8.10	63.80	1.20	0.18	0.27
118	26/12/2020	15:00	8.20	76.70	1.00	0.13	0.17
119	26/12/2020	16:00	8.20	73.80	1.20	0.09	0.17
120	26/12/2020	17:00	8.00	68.30	1.00	0.14	0.23

Tabla B. Valor registrado del Índice de Calidad del Agua "WQI" organoléptica de consumo humano en la ciudad de Pampas.

Muestra	Fecha de muestreo	Hora	SubpH	SubCE	SubTurbiedad	SubFCL	SubΔTemp	**WQI**
1	03/10/2020	8:00	90.26	92.44	96.70	18.00	91.24	**67.76**
2	03/10/2020	9:00	73.75	92.23	96.48	34.00	92.05	**73.56**
3	03/10/2020	10:00	83.66	93.49	97.36	22.00	92.60	**69.82**
4	03/10/2020	11:00	80.73	93.06	97.36	30.00	92.97	**73.54**
5	03/10/2020	12:00	69.71	92.11	97.58	26.00	93.00	**69.39**
6	03/10/2020	13:00	71.43	91.81	97.58	36.00	92.83	**74.13**
7	03/10/2020	14:00	73.75	92.83	97.58	26.00	91.81	**70.11**
8	03/10/2020	15:00	77.43	93.23	97.58	32.00	91.56	**73.68**
9	03/10/2020	16:00	90.26	92.71	97.36	26.00	90.96	**72.80**
10	03/10/2020	17:00	80.73	91.73	97.14	26.00	90.62	**70.96**
11	10/10/2020	8:00	86.23	91.93	96.92	32.00	92.60	**75.12**
12	10/10/2020	9:00	88.43	93.19	96.70	18.00	93.00	**67.86**
13	10/10/2020	10:00	83.66	92.65	97.58	24.00	92.44	**70.87**
14	10/10/2020	11:00	88.43	92.92	96.92	26.00	91.56	**72.56**
15	10/10/2020	12:00	83.66	92.38	97.58	36.00	90.96	**76.28**
16	10/10/2020	13:00	69.71	92.27	97.58	32.00	90.62	**71.86**
17	10/10/2020	14:00	73.75	91.87	97.14	24.00	89.87	**68.54**
18	10/10/2020	15:00	88.43	92.50	96.92	16.00	89.02	**65.70**
19	10/10/2020	16:00	83.66	92.20	96.92	26.00	87.56	**71.02**
20	10/10/2020	17:00	71.43	93.65	96.92	34.00	84.60	**72.17**
21	17/10/2020	8:00	83.66	92.19	96.92	20.00	90.90	**68.05**
22	17/10/2020	9:00	69.71	91.71	97.58	32.00	90.90	**71.81**
23	17/10/2020	10:00	73.75	92.68	96.70	24.00	91.50	**68.85**
24	17/10/2020	11:00	71.43	93.16	97.36	20.00	92.22	**66.33**
25	17/10/2020	12:00	69.71	92.62	97.58	16.00	92.82	**63.30**
26	17/10/2020	13:00	90.26	92.13	97.80	34.00	92.82	**76.90**
27	17/10/2020	14:00	90.26	92.79	97.14	28.00	92.98	**74.13**
28	17/10/2020	15:00	71.43	93.40	97.14	32.00	92.93	**72.68**
29	17/10/2020	16:00	88.43	92.24	97.80	18.00	92.85	**67.85**
30	17/10/2020	17:00	73.75	93.63	97.36	28.00	92.09	**71.24**
31	24/10/2020	8:00	77.43	93.25	96.70	32.00	87.92	**72.95**
32	24/10/2020	9:00	69.71	93.55	96.70	30.00	89.75	**70.91**

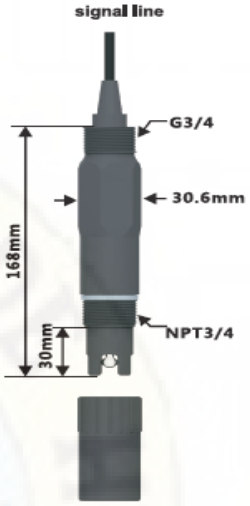
33	24/10/2020	10:00	73.75	92.11	96.92	36.00	90.86	**74.23**
34	24/10/2020	11:00	83.66	93.16	97.14	28.00	92.20	**72.96**
35	24/10/2020	12:00	71.43	93.68	97.80	18.00	92.20	**65.14**
36	24/10/2020	13:00	73.75	92.80	97.80	18.00	92.81	**65.52**
37	24/10/2020	14:00	86.23	91.85	97.36	30.00	92.86	**74.30**
38	24/10/2020	15:00	73.75	92.51	97.14	20.00	92.31	**66.65**
39	24/10/2020	16:00	88.43	91.68	97.80	18.00	91.06	**67.50**
40	24/10/2020	17:00	69.71	92.19	97.36	22.00	88.70	**66.57**
41	07/11/2020	8:00	86.23	93.51	96.48	18.00	91.91	**67.38**
42	07/11/2020	9:00	88.43	93.14	96.70	16.00	92.49	**66.27**
43	07/11/2020	10:00	77.43	91.98	97.58	36.00	92.76	**75.34**
44	07/11/2020	11:00	86.23	93.20	96.92	20.00	92.99	**68.92**
45	07/11/2020	12:00	69.71	92.74	96.92	30.00	92.96	**71.31**
46	07/11/2020	13:00	71.43	93.24	96.92	24.00	92.81	**68.72**
47	07/11/2020	14:00	80.73	91.78	97.58	26.00	91.74	**71.20**
48	07/11/2020	15:00	88.43	91.77	97.58	20.00	91.18	**68.88**
49	07/11/2020	16:00	90.26	91.86	97.14	18.00	88.89	**67.39**
50	07/11/2020	17:00	77.43	92.00	96.92	30.00	88.42	**71.97**
51	14/11/2020	8:00	77.43	93.07	96.70	26.00	88.17	**70.13**
52	14/11/2020	9:00	77.43	93.62	97.14	18.00	88.22	**65.52**
53	14/11/2020	10:00	71.43	92.84	96.70	30.00	89.59	**71.11**
54	14/11/2020	11:00	73.75	93.24	97.58	36.00	89.99	**74.38**
55	14/11/2020	12:00	77.43	93.63	97.80	30.00	91.64	**72.89**
56	14/11/2020	13:00	83.66	93.31	96.92	30.00	92.11	**73.90**
57	14/11/2020	14:00	83.66	93.16	97.80	32.00	92.86	**75.06**
58	14/11/2020	15:00	69.71	91.88	97.80	32.00	92.93	**72.19**
59	14/11/2020	16:00	80.73	93.06	96.92	22.00	92.96	**69.25**
60	14/11/2020	17:00	88.43	93.40	97.58	34.00	92.20	**76.67**
61	21/11/2020	8:00	83.66	92.41	96.70	26.00	90.96	**71.56**
62	21/11/2020	9:00	69.71	93.65	97.58	32.00	90.96	**72.13**
63	21/11/2020	10:00	71.43	93.41	96.70	36.00	91.81	**74.09**
64	21/11/2020	11:00	69.71	92.65	97.58	24.00	92.83	**68.40**
65	21/11/2020	12:00	88.43	93.40	96.92	30.00	92.91	**74.87**
66	21/11/2020	13:00	71.43	92.59	97.80	20.00	92.73	**66.39**
67	21/11/2020	14:00	80.73	92.86	97.58	18.00	92.05	**66.58**
68	21/11/2020	15:00	73.75	92.42	96.92	28.00	90.96	**70.81**
69	21/11/2020	16:00	73.75	92.63	97.58	30.00	89.47	**71.65**

70	21/11/2020	17:00	71.43	92.05	97.80	30.00	87.56	**70.83**
71	28/11/2020	8:00	73.75	92.71	97.80	18.00	92.14	**65.41**
72	28/11/2020	9:00	80.73	91.68	97.80	22.00	92.65	**69.12**
73	28/11/2020	10:00	69.71	91.91	97.80	36.00	92.65	**73.79**
74	28/11/2020	11:00	77.43	93.20	96.92	34.00	92.78	**74.62**
75	28/11/2020	12:00	69.71	92.68	97.14	24.00	92.95	**68.36**
76	28/11/2020	13:00	86.23	92.42	96.92	22.00	92.95	**70.06**
77	28/11/2020	14:00	83.66	92.35	97.80	26.00	92.68	**71.98**
78	28/11/2020	15:00	86.23	93.20	97.58	24.00	92.68	**71.42**
79	28/11/2020	16:00	77.43	93.29	97.58	34.00	91.71	**74.57**
80	28/11/2020	17:00	90.26	91.74	97.58	20.00	90.83	**69.10**
81	05/12/2020	8:00	71.43	92.53	96.70	32.00	88.93	**71.84**
82	05/12/2020	9:00	80.73	92.18	97.36	16.00	88.93	**64.53**
83	05/12/2020	10:00	90.26	93.15	97.36	28.00	90.55	**73.84**
84	05/12/2020	11:00	90.26	92.06	97.58	30.00	90.89	**74.73**
85	05/12/2020	12:00	90.26	92.48	96.92	32.00	91.50	**75.72**
86	05/12/2020	13:00	80.73	92.29	97.58	24.00	92.57	**70.33**
87	05/12/2020	14:00	83.66	91.92	97.58	24.00	92.82	**70.81**
88	05/12/2020	15:00	80.73	93.28	97.14	18.00	92.93	**66.70**
89	05/12/2020	16:00	90.26	92.48	97.14	22.00	92.09	**70.61**
90	05/12/2020	17:00	86.23	92.07	97.58	26.00	91.61	**72.17**
91	12/12/2020	8:00	77.43	92.89	97.14	26.00	89.91	**70.44**
92	12/12/2020	9:00	83.66	92.73	97.14	36.00	90.66	**76.22**
93	12/12/2020	10:00	69.71	91.89	97.36	26.00	91.58	**69.12**
94	12/12/2020	11:00	83.66	91.70	97.14	20.00	92.61	**68.26**
95	12/12/2020	12:00	71.43	92.59	97.36	36.00	92.92	**74.23**
96	12/12/2020	13:00	83.66	93.04	97.14	16.00	92.72	**65.62**
97	12/12/2020	14:00	80.73	92.49	96.92	18.00	91.53	**66.36**
98	12/12/2020	15:00	90.26	92.96	96.92	20.00	90.93	**69.21**
99	12/12/2020	16:00	90.26	92.26	97.36	30.00	89.42	**74.49**
100	12/12/2020	17:00	88.43	92.05	97.14	26.00	87.50	**71.80**
101	19/12/2020	8:00	73.75	92.31	97.58	16.00	91.47	**63.78**
102	19/12/2020	9:00	73.75	93.65	97.14	24.00	92.20	**69.16**
103	19/12/2020	10:00	69.71	92.63	97.14	26.00	92.96	**69.40**
104	19/12/2020	11:00	86.23	92.54	96.92	30.00	92.86	**74.34**
105	19/12/2020	12:00	86.23	92.16	96.92	24.00	92.49	**71.13**
106	19/12/2020	13:00	88.43	92.61	97.58	30.00	91.06	**74.54**

107	19/12/2020	14:00	86.23	92.34	97.58	30.00	89.16	**73.82**
108	19/12/2020	15:00	77.43	91.85	97.36	26.00	88.70	**70.12**
109	19/12/2020	16:00	73.75	93.41	97.36	28.00	87.71	**70.52**
110	19/12/2020	17:00	90.26	93.02	97.14	26.00	87.18	**72.20**
111	26/12/2020	8:00	86.23	93.54	96.70	28.00	90.73	**73.16**
112	26/12/2020	9:00	71.43	93.56	96.92	20.00	91.89	**66.28**
113	26/12/2020	10:00	77.43	91.75	97.80	22.00	91.89	**68.45**
114	26/12/2020	11:00	86.23	92.86	97.14	16.00	92.76	**66.00**
115	26/12/2020	12:00	69.71	93.48	97.36	28.00	92.76	**70.53**
116	26/12/2020	13:00	71.43	92.58	96.92	28.00	92.76	**70.66**
117	26/12/2020	14:00	83.66	93.29	97.36	36.00	92.86	**76.72**
118	26/12/2020	15:00	80.73	91.96	97.80	26.00	92.93	**71.45**
119	26/12/2020	16:00	80.73	92.26	97.36	18.00	92.93	**66.59**
120	26/12/2020	17:00	86.23	92.83	97.80	28.00	92.89	**73.56**

B. CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS

1. Certificado de calibración del medidor de pH



Unidad bajo prueba: Sensor de pH

Marca: Remond

Modelo: RMD-ISHP105

N° de serie: PH32020010818

Alcance de escala: 0 a 14 pH

Iout: 4 … 20 mA

INSTRUINGENIERIA
SERVICIOS, SUMINISTRO, METROLOGÍA Y PROYECTOS

ISO/IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Área Metrología Laboratorio de Electroquímica

N° CERT: LEQ-0056-2020

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Prueba de pH.

Patrón	Equipo	Corrección	Incertidumbre	E.M.P. ±
4.00 pH	4.50 pH	-0.50 pH	0.02	0.2
7.00 pH	7.20 pH	-0.20 pH	0.02	0.2
14.00 pH	13.70 pH	0.30 pH	0.30	0.3

Error Máximo Permitido (E.M.P)

Observaciones

- La incertidumbre reportada en el certificado es obtenido con un factor de cobertura de k=2 , con un nivel de confianza aproximada del 95%.
- La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.
- Se colocó un sticker con la indicación "CALIBRADO".

FIN DEL DOCUMENTO

GERENCIA DE METROLOGÍA
INSTRUINGENIERIA
V°B°

2. Certificado de calibración de medidor de conductividad eléctrica (CE)

Unidad bajo prueba: Sensor de Conductividad Eléctrica

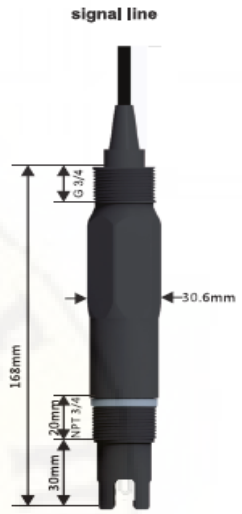
Marca: Remond

Modelo: RMD-ISRP105

N° de serie: EC320200108407

Alcance de escala: 0 a 20000 µS/cm

Iout: 4 … 20 mA



INSTRUINGENIERIA
SERVICIOS, SUMINISTRO, METROLOGÍA Y PROYECTOS

ISO/IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Área Metrología Laboratorio de Electroquímica

N° CERT: LEQ-0061-2020

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Prueba de Lectura de Medidor de conductividad eléctrica.

Patrón	Equipo	Corrección	Incertidumbre
0.00 µS/cm	0.00 µS/cm	0.00 µS/cm	0.82 µS/cm
500.00 µS/cm	501.00 µS/cm	-1.00 µS/cm	5.83 µS/cm
1000.00 µS/cm	10002.0 µS/cm	-9002.00 µS/cm	11.58 µS/cm
2000.00 µS/cm	2001.2 µS/cm	-1.20 µS/cm	23.11 µS/cm

Observaciones

- La incertidumbre reportada en el certificado es obtenido con un factor de cobertura de k=2 , con un nivel de confianza aproximada del 95%.
- La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.
- Se colocó un sticker con la indicación "CALIBRADO".

FIN DEL DOCUMENTO

GERENCIA DE METROLOGIA INSTRUINGENIERIA V°B°

3. Certificado de calibración del medidor de Turbiedad

Unidad bajo prueba: Sensor de Turbiedad

Marca: Remond

Modelo: RMD-ISST105

N° de serie: SS32020010818

Alcance de escala: 0 a 4000 UNT

Iout: 4 … 20 mA

INSTRUINGENIERIA
SERVICIOS, SUMINISTRO, METROLOGÍA Y PROYECTOS

ISO/IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Área Metrología Laboratorio de Electroquímica N° CERT: LEQ-0057-2020

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Prueba de Lectura de Medidor de turbidez

Patrón	Equipo	Corrección	Incertidumbre
4.00 NTU	5.00 NTU	-1.00 NTU	0.82 NTU
100.00 NTU	102.00 NTU	-2.00 NTU	1.41 NTU
200.00 NTU	205.0 NTU	-5.00 NTU	2.45 NTU
400.00 NTU	410.0 NTU	-10.00 NTU	4.69 NTU

Observaciones

- La incertidumbre reportada en el certificado es obtenido con un factor de cobertura de k=2 , con un nivel de confianza aproximada del 95%.
- La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.
- Se colocó un sticker con la indicación "CALIBRADO".

FIN DEL DOCUMENTO

GERENCIA DE METROLOGÍA INSTRUINGENIERIA V°B°

4. Certificado de calibración de medidor de cloro libre (FCL)

Unidad bajo prueba: Sensor de Cloro (FCL)

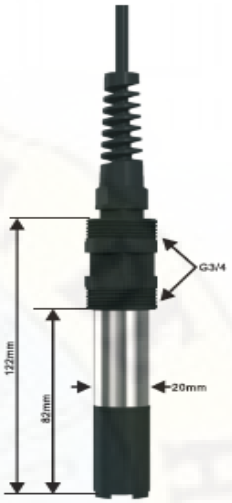
Marca: Remond

Modelo: RMD-ISCT105

N° de serie: Y32020010803DD

Alcance de escala: 0 a 20 mg/L

Iout: 4 … 20 mA



INSTRUINGENIERIA
SERVICIOS, SUMINISTRO, METROLOGÍA Y PROYECTOS

ISO/IEC 17025

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Área Metrología Laboratorio de Electroquímic

N° CERT: LEQ-0059-2020

RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Prueba de Lectura de Medidor de cloro.

Patrón	Equipo	Corrección	Incertidumbre
0.00 mg/L	0.02 mg/L	-0.02 mg/L	0.82 mg/L
10.00 mg/L	9.80 mg/L	0.20 mg/L	0.82 mg/L
15.00 mg/L	14.8 mg/L	0.20 mg/L	0.83 mg/L
20.00 mg/L	20.0 mg/L	-0.01 mg/L	0.85 mg/L

Observaciones

- La incertidumbre reportada en el certificado es obtenido con un factor de cobertura de k=2 , con un nivel de confianza aproximada del 95%.
- La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.
- Se colocó un sticker con la indicación "CALIBRADO".

FIN DEL DOCUMENTO

GERENCIA DE METROLOGIA INSTRUINGENIERIA V°B°

C. FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. *Equipamiento electrónico para medición de parámetros organolépticos sobre tablero con sensores-transmisores de inmersión y PLC S7 1500.*

Fotografía 2. *Inmersión de los sensores de pH, CE, Turbiedad, FCL y Temperatura en recipiente conteniendo agua de consumo humano de la ciudad de Pampas.*

Fotografía 3. *Equipamiento electrónico para medición de parámetros organolépticos sobre tablero con sensores-transmisores de inmersión y PLC S7 1500.*

Fotografía 4. *Interface HMI en WinCC para determinación de la calidad organoléptica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas*

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ORGANOLÉPTICA DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA CIUDAD DE PAMPAS CON PLC SIMATIC S7 1500 Y WINCC

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES		MÉTODO
			VARIABLES	DEFINICIÓN OPERATIVA	
Problema General	**Objetivo General**	**Hipótesis General**	**variable independiente**: ➢ Parámetros organolépticos = PO	Los parámetros organolépticos determinan el índice de calidad del agua que vienen consumiendo los pobladores de la ciudad de Pampas, entre estos se considera para estudio la turbidez, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, cloro libre y variación de temperatura.	➢ En esta investigación se empleará el método científico que utilizará como procesos lógicos la inducción y la deducción, que permitirán determinar la calidad organoléptica del agua con PLC S7 1500 y Wincc.
¿Cuál es el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, determinado con el algoritmo Dinius-WQI implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?	Determinar el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, con el algoritmo Dinius-WQI implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.	Con el algoritmo Dinius-WQI implementado en PLC Simatic S7 1500 y WinCC se determina que el índice de calidad organoléptica del agua de consumo humano de la ciudad de Pampas es dudoso para el consumo sin tratamiento, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.			
Problemas Específicos	**Objetivos Específicos**	**Hipótesis Específicas**			
a. ¿Cuál es el intervalo del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?	a. Determinar el intervalo del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISHP105, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.	a. Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISHP105 se determina que el intervalo del Potencial de Hidrógeno del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas está en el intervalo de 6.5 a 8.5, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.	**Variable Dependiente:** ➢ Calidad organoléptica del agua = COA	La calidad organoléptica del agua es determinada en base a la metodología Dinius- WQI. El que se calcula con los parámetros organolépticos del agua teniendo en cuenta el Reglamento de Calidad de agua para consumo humano.	
b. ¿Cuál es el nivel de la Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?	b. Determinar el nivel de la Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano, en la ciudad de Pampas, con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISRP105, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.	b. Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISRP105 se determina que el nivel de Conductividad Eléctrica del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 1500 uS/cm, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.			
c. ¿Cuál es el nivel de Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?	c. Determinar el nivel de Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISST105, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.	c. Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISST105 se determina que el nivel de Turbiedad del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 5 UNT, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.			
d. ¿Cuál es la concentración de Cloro Libre en el agua de consumo humano de la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?	d. Determinar el nivel de concentración de Cloro Libre en el agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISCT105, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.	d. Con el sensor-transmisor Remond modelo RMD-ISCT105 se determina que la concentración de Cloro Libre en el agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 0.5 mg/L, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.			
e. ¿Cuál es la variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020?	e. Determinar la variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas, con el sensor transmisor Pt100 tipo J, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.	e. Con el sensor transmisor Pt100 tipo J se determina que la variación diaria de la Temperatura del agua de consumo humano en la ciudad de Pampas es menor a 3° C, en el periodo de estiaje octubre a diciembre del año 2020.			