

**SISTEMA DE MEDICIÓN REMOTA TDS (TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS) PARA LA
SUPERVISIÓN DEL TANQUE DE SALMUERA EN LA EMPRESA FRESENIUS
MEDICAL CARE**

Diana Carolina Velasco Molina

Práctica profesional

Tutor

**MEng. Jefferson Sarmiento Rojas
Ing. Cesar Iván Villamil**



**Universidad del
Rosario**



**ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO
PROGRAMA DE INGENIERÍA BIOMÉDICA
BOGOTÁ D.C
2023**

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas las personas que me apoyaron e hicieron parte en la realización del proyecto directa e indirectamente. Su ayuda fue esencial para ejecutar este logro.

Principalmente, quiero agradecer a mi familia por ser mi apoyo todos los días, desde que empecé esta etapa. A mi tutor de práctica, **Jefferson Sarmiento** y al ingeniero **Cesar Villamil** por el todo el tiempo, guía y consejos que brindaron para mi trabajo de grado. Asimismo, quiero agradecer a Juan, al ingeniero Camilo y a la profesora Diana, quienes también se involucraron en el proyecto con sus aportes y experiencia. La exigencia de cada uno de ellos, sus cuestionamientos y aportes nutrieron mucho más esta investigación y a mí tanto académica cómo profesional y personalmente.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. OBJETIVOS	9
2.1. General.....	9
2.2. Específicos	9
3. METODOLOGÍA	10
4. RESULTADOS	14
5. DISCUSIÓN.....	16
6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	17
7. CONCLUSIONES	18
REFERENCIAS	19
ANEXOS.....	21

LISTA DE TABLAS

Tabla I. Medición de la conductividad obtenida de cada uno de los sensores.....	13
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Arquitectura IoT	9
Figura 2. Esquema de funcionamiento.....	10
Figura 3. Diagrama de bloques para el dashboard y el sistema de notificación	11
Figura 4. Interfaz de la aplicación	11
Figura 5. Notificación en el correo electrónico.....	12
Figura 6. Variación de la conductividad dependiendo de la concentración de la mezcla..	14

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad renal crónica (ERC) es una patología donde se disminuye la función renal considerablemente. Esto sucede cuando los riñones dejan de remover los productos metabólicos producidos por el cuerpo o dejan de realizar su función reguladora. Los riñones cumplen varias funciones en el cuerpo humano como lo son: filtrar la sangre, eliminar productos de desecho metabólico, mantener el balance hidroelectrico, regular el equilibrio acido-base, secretar hormonas y finalmente modifican sustancias como la vitamina D que a su vez se encarga de regular el fósforo y el calcio [1].

La tasa de filtración glomerular (TFG) es la técnica más precisa para calcular la función renal. Ya que se basa en medir la depuración renal de una sustancia, en otras palabras, mide el volumen de plasma del cual una sustancia puede ser completamente eliminada por unidad de tiempo. Generalmente se mide en mililitros por minuto (mL/min) [1].

Las etapas de la ERC son 5, las cuales se pueden establecer mediante la TFG. En las etapas uno y dos se desarrolla un daño renal ligero donde usualmente el paciente no presenta síntomas, para la etapa tres los riñones empiezan acumular sustancias tóxicas en el cuerpo generando en los pacientes diferentes síntomas y desarrollando enfermedades precursoras como lo son: la hipertensión y las alteraciones del metabolismo óseo. También, aumentan los riesgos de desarrollar enfermedades cardiovasculares. La etapa cuatro se caracteriza por sufrir un daño renal severo, teniendo en cuenta la gran disminución que se presenta en la TFG. Finalmente, en la etapa 5 se manifiesta la falla renal crítica conocida como insuficiencia renal crónica donde es necesario realizar tratamientos que reemplacen la función renal [2]. Existen tres tratamientos para los pacientes que padecen esta enfermedad: la hemodiálisis, la diálisis peritoneal y el trasplante. La hemodiálisis se encarga de filtrar las toxinas y el agua de la sangre, contribuye con el control de la presión arterial, equilibra minerales importantes en la sangre como: potasio, sodio y calcio. Durante la hemodiálisis, se bombea sangre por medio de un filtro llamado dializador el cual en su interior está constituido por pequeñas fibras por donde pasa la sangre y en dirección contraria pasa la solución de diálisis en el exterior de las fibras, haciendo que las toxinas de la sangre pasen a la solución de diálisis y la sangre filtrada permanezca en las fibras huecas y regrese al organismo. La diálisis peritoneal es un tratamiento que utiliza el revestimiento del abdomen para filtrar la sangre dentro del organismo [3]. A su vez, el trasplante renal es un procedimiento rutinario que se ve limitado por la escasez de riñones teniendo en cuenta la alta demanda que se tiene debido a la cantidad de pacientes que lo necesitan. Se ha evidenciado que al realizar este tratamiento la calidad de vida del paciente mejora considerablemente al tener que abstenerse de la diálisis, las dietas rigurosas y la supervivencia es mayor. También se sabe que existen dos tipos de trasplante de donante fallecido y donante vivo [4].

En Colombia para el año 2021, se reportaron 4.518 personas con ERC en la etapa 5, donde el 43% de los casos se registran en mujeres y el 57% en hombres, la mayor parte de ellos se ubicaron en la región central y Bogotá. Se calcula una incidencia de 85.44 casos por cada 100.000 habitantes. La tendencia para las diferentes terapias de reemplazo renal se distribuye de la siguiente forma: hemodiálisis con el 58%, diálisis peritoneal el 22.2% y la terapia médica no dialítica el 1.4% [5]

Una persona con enfermedad renal crónica necesita de un cuidador en la mayoría de los casos para el acompañamiento, supervisión o ejecución en la terapia de diálisis. También el cuidador se encarga de la administración de medicamentos, alimentos y asistencia en las labores diarias de la persona [6].

Fresenius Medical Care es un proveedor líder mundial de productos y servicios para el cuidado de insuficiencia renal crónica. A nivel mundial tiene alrededor de 343.000 pacientes, 4.100 clínicas de diálisis y 42 plantas de producción en más de 20 países. El desarrollo de los productos al estar descentralizado tiene la capacidad de responder a las necesidades regionales de forma rápida. En Fresenius Medical Care tienen como objetivo principal la mejora continua en la calidad de vida del paciente con Enfermedad Renal Crónica (ERC), brindando un servicio integral con la más alta tecnología para el tratamiento de diálisis y el acompañamiento constante de profesionales comprometidos con su salud [7].

En 1462 se funda Hirsch Pharmacy en Frankfurt y en el siglo XVIII la familia Fresenius adquiere la propiedad. Desde 1912 hasta 1974 se dedicaron a la fabricación de productos farmacéuticos. Desde ese año comenzaron a elaborar soluciones para infusión e insumos médicos desechables. Y en 1979 empieza la producción de la máquina de diálisis A2008.

Durante el periodo comprendido por los años 1981 hasta 1999, Fresenius Medical Care presenta un desarrollo significativo con la producción de las primeras bolsas de solución para diálisis peritoneal con sistema estándar SafeLock, también, en la elaboración de membranas sintéticas de fibras de polisulfona para purificación sanguínea. Dichas membranas hoy en día determinan los estándares de calidad en los dializadores que se usan actualmente. Además de esto, crea PD Plus que es una opción de terapia PD automatizada para los pacientes de diálisis peritoneal donde no necesitan suministros adicionales. Fresenius Medical Care comprometido con el constante desarrollo de nuevas soluciones para el paciente y generando menor impacto para el ambiente, crea Biofine un material libre de PVC, esto hace que el material sea más delgado y económico de producir.

En la década del 2000 Fresenius Medical Care se establece como la compañía líder de diálisis, atendiendo más de 119.000 pacientes en sus propios centros de diálisis en el mundo y estableciendo un récord al tener un volumen de 50 millones de dializadores por año e incluye el nuevo sistema para terapia de diálisis 5008. Por otro lado, Fresenius adquiere la compañía proveedora de atención de diálisis de EE.UU. Renal Care Group y finalmente funda una empresa conjunta para el desarrollo y venta de fármacos para pacientes con ERC.[8]

Fresenius Medicare se encuentra en Colombia desde septiembre de 1996 brindado su experiencia, conocimiento y vocación en el cuidado y atención para los pacientes con enfermedad renal crónica. En Colombia cuentan con 37 clínicas de NephroCare, 12 centros de Nefroprotección FMEPrever y 9 sedes de FMExpress, donde son atendidos más de 9.000 pacientes en terapia de diálisis, 55.000 consultas en el programa de nefroprotección y más de 50.000 pacientes con falla renal aguda.[9]

El área de servicio técnico de Fresenius Medical Care Colombia, es la encargada de asegurar la correcta prestación de los servicios, el correcto funcionamiento de los

equipos y presta las herramientas necesarias para la adecuación de la infraestructura utilizada para las unidades renales a nivel nacional. Adicionalmente, esta área presta su servicio para el mantenimiento, asistencia y respuesta efectiva para que los equipos estén disponibles y en total funcionamiento para cuando el paciente lo requiera.

Actualmente, en las plantas de agua de Fresenius Medical Care el agua permeada es obtenida después de pasar por diferentes etapas. Esta purificación del agua está compuesta por dos procesos: el pretratamiento y el tratamiento.

El marco de este proyecto se enfocó en el proceso del pretratamiento que tiene como función eliminar los sólidos suspendidos y los contaminantes químicos que no son compatibles con las membranas de la ósmosis inversa ya que podrían dañarlas. Este consta de tres subetapas. El filtro multimedia que se encarga de la eliminación de sólidos suspendidos, el suavizador remueve los iones de dureza y finalmente el filtro de carbón activado sustrae el cloro y las cloraminas. El suavizador funciona mediante el intercambio de iones de calcio y magnesio, que vienen en el agua potable. Estos son reemplazados por iones de sodio que se adquieren mediante la salmuera que ingresa en la regeneración. Una vez establecido el tiempo de regeneración se debe estar cargando cloruro de sodio para saturar la solución continuamente y mantener dentro del tanque de salmuera en un nivel no inferior del 50% para garantizar una buena regeneración.

El proceso en el que se centró el proyecto es en el taque de salmuera ya que su llenado se realiza empíricamente y se busca implementar un sistema de alarma que indique cuando el tanque debe ser llenado.

2. OBJETIVOS

2.1. General

Diseñar un sistema IoT para medición del nivel de sal en un tanque de salmuera para la obtención de agua permeada para el proceso de diálisis en la empresa Fresenius Medical Care de la ciudad de Bogotá D.C.

2.2. Específicos

1. Diseñar la correcta arquitectura de un sistema de IoT que permita medir el nivel de sal dentro del tanque de salmuera.
2. Implementar un sistema que notifique por medio de una alarma, mensaje de texto, correo electrónico o nube que se debe suministrar más sal al tanque.
3. Implementar un sistema que notifique por medio de una alarma, mensaje de texto, correo electrónico o nube que se debe suministrar más sal al tanque

3. METODOLOGÍA

3.1. Problema a solucionar

El desarrollo de este proyecto consistió en dar solución a una oportunidad de mejora en el área de Servicio Técnico específicamente en uno de los procesos establecidos para el tratamiento del agua con el propósito de optimizar los recursos y materiales.

El agua permeada que es usada para las diferentes terapias de diálisis se obtiene gracias a dos procesos el pretratamiento y el tratamiento. El pretratamiento consta de 3 subetapas el filtro multimedia, el suavizador y el filtro de carbón activado.

En el interior del filtro suavizador se da el intercambio de iones de sodio por iones calcio y magnesio presentes en el agua. Estos iones de sodio provienen del tanque de salmuera e ingresan en la regeneración. Una vez establecido el tiempo de regeneración se debe estar cargando cloruro de sodio para saturar la solución constantemente y mantener dentro del tanque de salmuera en un nivel no inferior del 50% para garantizar una buena regeneración.

Con este proyecto se quiere establecer el diseño de un prototipo para determinar la conductividad adecuada que debe tener el tanque de salmuera para garantizar una buena regeneración y una saturación en el tanque no inferior al 50%.

3.2. Fases del proyecto

3.2.1. Definición de las características deseadas en el tanque de salmuera e indicadores que permitan verificar la concentración de sal y conductividad.

Para el desarrollo de este proyecto se recolectaron muestras de salmuera del tanque ubicado en la planta de tratamiento de agua del taller central de Fresenius Medical Care, donde se midió la conductividad de estas muestras para poder determinar cuál es el valor mínimo de saturación que puede tener el tanque de salmuera para su correcto funcionamiento.

3.2.2. Diseño del sistema IoT para comunicar el sensor del tanque.

El funcionamiento del proyecto se realizó teniendo en cuenta la tecnología IoT (internet de las cosas) que tiene como propósito enlazar varios dispositivos, como por ejemplo los sensores, cuya función se basa en detectar y responder a un parámetro físico. Dicha respuesta se envía para ser procesada y posteriormente analizada. La información que se recibe es procesada y analizada en tiempo real, por tal razón se pueden establecer patrones y predecir comportamientos futuros. Además, esta tecnología tiene como ventaja el fácil acceso que tiene con los servicios en la nube, dado que estos tienen la capacidad de almacenar información y tener fácil acceso a ella desde cualquier lugar y momento, siempre y cuando se establezca una conexión a internet [10].



Figura 1. Arquitectura IoT

También se implementó el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport). Este protocolo de comunicación se caracteriza por ser ligero y de bajo consumo de ancho de banda. Es una tecnología que permite la comunicación inalámbrica entre dispositivos y es comúnmente utilizado por el campo del IoT. El modelo que hace uso de este protocolo se conoce como el de publicación/suscripción, en el que los dispositivos adquieren dos funciones: publicadores que se encargan de enviar mensajes a través de un tema (topic) y suscriptores encargados de suscribirse a varios temas para recibir los mensajes [11].

Para la implementación del sistema se hace uso de una tarjeta de desarrollo Wifi Bluetooth (**ESP32-C3**) y el sensor/medidor TDS para Arduino. El sensor se introduce al tanque de salmuera, este su vez envía los datos a la tarjeta la cual está conectada a un servidor que se creó con ayuda de la herramienta flowforge que es un desarrollador colaborativo de Node-RED para realizar aplicaciones de manera remota, creando instancias de Node-RED lo que permite que se puedan implementar en múltiples objetivos remotos.

Lo descrito anteriormente se puede observar con ayuda de la **figura 2** donde se muestra cómo es el funcionamiento de la tecnología, teniendo en cuenta el protocolo MQTT y la tecnología IOT

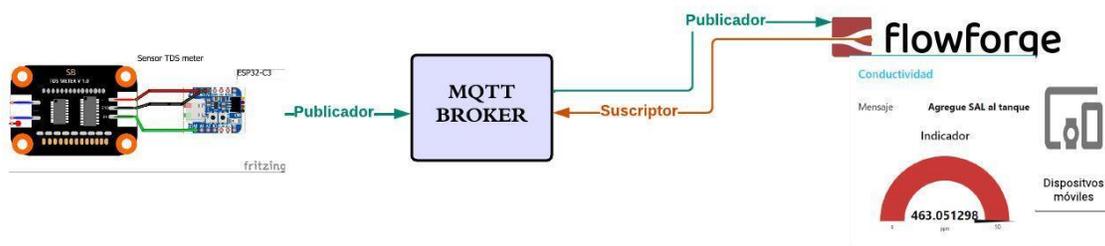


Figura 2. Esquema de funcionamiento

Para la visualización del valor de la conductividad se hace uso de una dashboard y el sistema de notificación que se genera gracias a la tecnología lot y el protocolo MQTT se muestra por medio de un correo electrónico. El diagrama de bloques de este proceso se evidencia en la figura 3.

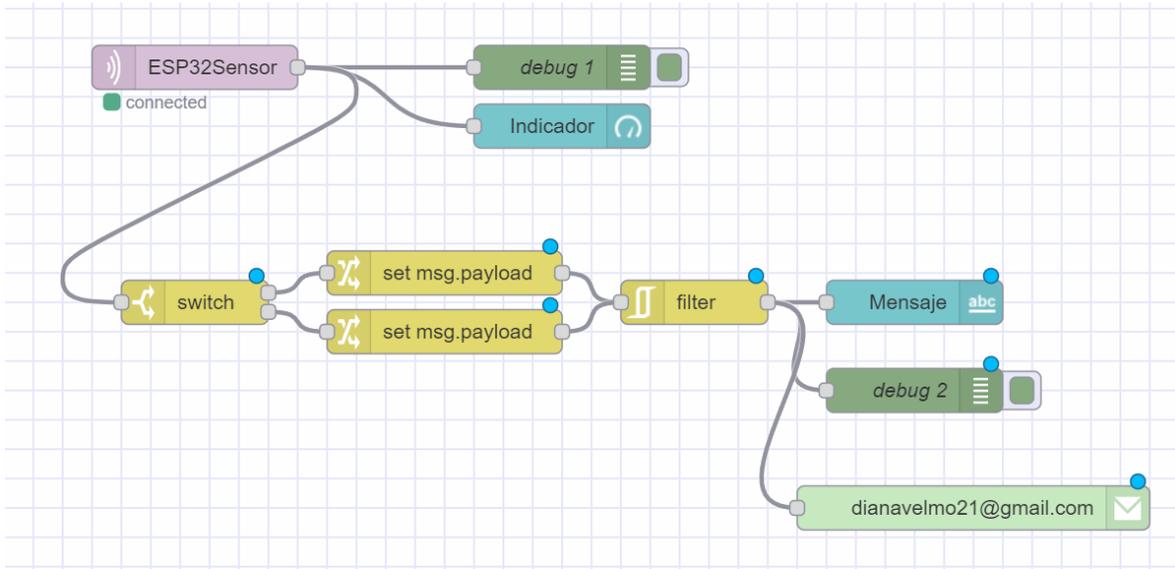


Figura 3. Diagrama de bloques para el dashboard y el sistema de notificación.

En el correo electrónico como en el dashboard nos notifica si al tanque hay que adicionarle sal o caso contrario nos indica que el tanque se encuentra saturado como se puede observar en la figura 4 y 5



Figura 4. Interfaz de la aplicación.



Figura 5. Notificación en el correo electrónico

4. RESULTADOS

Los datos obtenidos en la fase 1 son el resultado de mediciones realizadas con dos dispositivos diferentes, los cuales midieron la conductividad que presenta la mezcla (sal y agua) del tanque de salmuera ubicado en el taller central de servicio técnico de la empresa Fresenius Medical Care. Lo anterior, con el fin de observar el comportamiento de ambos dispositivos cuando se varía la concentración de esta mezcla. En total se estudiaron 11 concentraciones diferentes (100%, 90%, 80%, 70%, 60%, 50%, 40%, 30%, 20% 10% y 0%).

4.1. Conductividad y concentración de la mezcla

Tabla I
Mediciones de la conductividad obtenidas de cada uno de los sensores

Concentración de la mezcla (salmuera) y conductividad		
Concentración	Hanna (ppm)	Sensor TDS (ppm)
100%	2000	1367
90%	2000	1221
80%	2000	1391
70%	2000	1247
60%	2000	1302
50%	2000	1289
40%	2000	1257
30%	1830	1080
20%	1717	1034
10%	749	644
0%	56	47

En la *Tabla I* se puede observar el comportamiento de los dos sensores utilizados para la determinación de la conductividad que tiene la mezcla (salmuera) teniendo en cuenta las diferentes concentraciones.

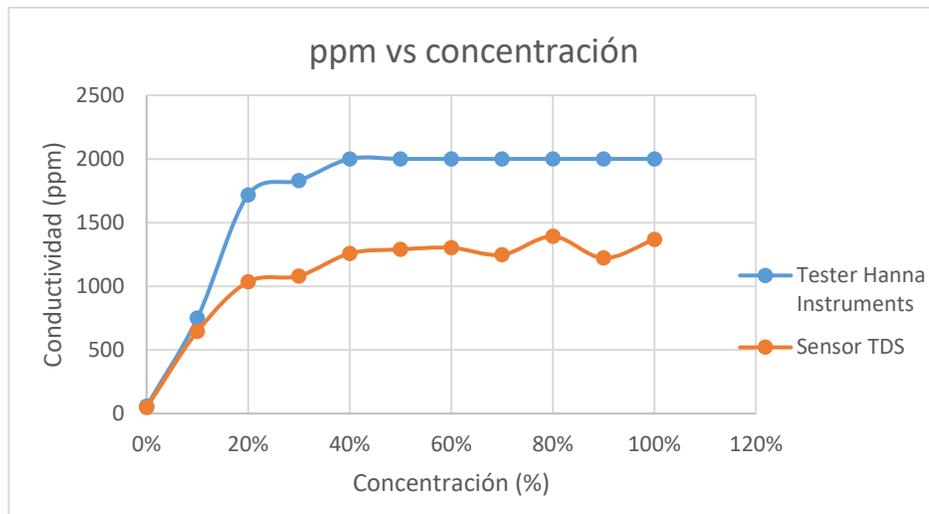


Figura 6. Variación de la conductividad dependiendo de la concentración de la mezcla

5. DISCUSIÓN

Mediante la realización de este proyecto se muestran los diferentes resultados que se obtienen en la conductividad de las 11 muestras estudiadas que se utilizaron para determinar los niveles de saturación de la mezcla. Se pudo determinar con ayuda de la figura 6 que los dos sensores usados tienen comportamientos similares. En las mediciones obtenidas con el sensor de Hanna instruments se puede observar que tiene un comportamiento constante hasta que la mezcla está al 30% a partir de ese momento el sensor empieza a decrementar su conductividad y de igual manera sucede con el sensor TDS meter de Arduino.

Esta comparación entre los sensores se hizo con el fin de determinar si tienen comportamientos similares y así poder establecer el valor mínimo en el sensor implementado para el desarrollo del proyecto. Ya que el sensor utilizado tiene diferente sensibilidad, es por esto por lo que los valores que se obtienen para cada uno de ellos distan entre sí.

Una vez establecido el valor mínimo de la conductividad en el sensor TDS meter para Arduino, se realiza la implementación del sistema de notificación y visualización del valor de la conductividad con ayuda de la herramienta de Flowforge donde también se hace uso del protocolo MQTT.

6. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En el desarrollo de este proyecto se pudo evidenciar que la sensibilidad del sensor afecto los resultados al momento de hacer las pruebas de las diferentes concentraciones de mezcla que se estudiaron. Para así poder encontrar el valor mínimo en la conductividad para que el tanque se encuentre saturado.

Para un mejor desarrollo en trabajos futuros se recomienda realizar más pruebas en las concentraciones de la mezcla con más equipos de medición para que se puedan establecer índices de incertidumbre y también se tenga en cuenta las diferentes resoluciones de los equipos a usar.

Cabe resaltar que para realizar esta misma implementación en cada una de las unidades renales también es necesario establecer una curva como la que se realizó en el desarrollo de este proyecto. Ya que los parámetros del agua, como el contenido de sales disueltas y la dureza varia para cada unidad renal. También es importante tener en cuenta los filtros utilizados en las demás plantas, ya que esto también puede generar variaciones en la adición de sal al tanque de salmuera. Una vez establecidos estos valores se pueden definir dentro de la programación ya establecida del sistema IoT.

7. CONCLUSIONES

- El sistema de alarma diseñado brinda la posibilidad de enviar datos de manera remota para avisar el estado actual del tanque.
- Con ayuda de la medición de la conductividad de las diferentes concentraciones de la mezcla de salmuera se pudo determinar el valor a partir del cual el tanque necesita adicionar sal
- La implementación de notificaciones por medio del IoT si genera una solución al problema. Ya que de esta forma se pueden obtener los datos actualizados y regularmente sin la necesidad de tener un recurso humano verificando diariamente el estado del tanque de salmuera.

REFERENCIAS

- [1] A. Venado, J. Moreno, M. Rodríguez, and M. López, “Insuficiencia Renal Crónica UNAM,” *Medicina y Salud UNAM*. [Online]. Available: http://www.medicinaysalud.unam.mx/temas/2009/02_feb_2k9.pdf. [Accessed: 18-Jul-2023]
- [2] J. Restrepo, “Años de Vida potencialmente perdidos por enfermedad renal crónica ...,” *biblioteca digital UDEA*. [Online]. Available: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/24436/3/RestrepoJuanCamilo_2021EnfermedadRenalCr%C3%B3nica. [Accessed: 18-Jul-2023]
- [3] “¿Qué es la insuficiencia renal? - niddk,” *National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases*. [en línea]. Disponible en: < <https://www.niddk.nih.gov/health-information/informacion-de-la-salud/enfermedades-rinones/insuficiencia-renal/que-es>. > [Acceso 28-Mar-2023].
- [4] P. Martín and P. Errasti, “Trasplante Renal,” *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1137-66272006000400008&script=sci_arttext [accessed Jul. 26, 2023].
- [5] J. Rico, E. Yama, A. Robayo, G. Aroca, J. Arango, L. Barros, M. Raad, and L. Acuna, *Situación de la enfermedad renal crónica en Colombia - Researchgate*. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Aroca-Martinez-Gustavo/publication/366444113_Situacion_de_la_enfermedad_renal_cronica_en_Colombia/links/63a38fd3c3c9bb1647fc520a/Situacion-de-la-enfermedad-renal-cronica-en-Colombia.pdf. [Accessed: 18-Jul-2023]
- [6] Fresenius Medical Care Colombia, 2023. Quienes-somos. [en línea] [Freseniusmedicalcare.com](https://www.freseniusmedicalcare.com). Disponible en:< <https://www.freseniusmedicalcare.com.co/es-co/quienes-somos/perfil-de-la-compania> > [Acceso 28 Marzo 2023].
- [7] Fresenius Medical Care Colombia, 2023. Historia. [en línea] [Freseniusmedicalcare.com](https://www.freseniusmedicalcare.com). Disponible en: <<https://www.freseniusmedicalcare.com.co/es-co/quienes-somos/historia>> [Acceso 28 marzo 2023].
- [8] Fresenius medical care en Colombia, *Fresenius Medical Care*. [en línea]. Disponible en: <https://www.freseniusmedicalcare.com.co/es-co/quienes-somos/fresenius-medical-care-en-colombia>. [Acceso: 28-Mar-2023].

- [9] [1]“Fresenius medical care en Colombia,” Fresenius Medical Care. [Online]. Available: <https://www.freseniusmedicalcare.com.co/es-co/quienes-somos/fresenius-medical-care-en-colombia/>. [Accessed: 18-Jul-2023]
- [10] W. López Garzón y J. Cárdenas López, «Tecnología internet of things (IoT) y el big data», mare, vol. 1, n.º 1, pp. 73–79, abr. 2019.
- [11] F. Mahedero, “Desarrollo de una aplicación IOT para el Envío de Imágenes Mediante el ...,” UPV. [Online]. Available: <https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/152408/Mahedero%20-%20Desarrollo%20de%20una%20aplicaci%C3%B3n%20IoT%20para%20el%20env%C3%ADo%20de%20im%C3%A1genes%20mediante%20el%20protocolo%20MQTT..pdf?sequence=1>. [Accessed: 18-Jul-2023]

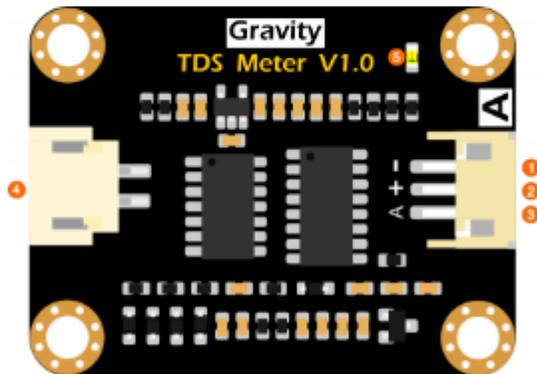
ANEXOS

Anexo 1. Esquemático TDS Sensor meter

Specification

- Signal Transmitter Board
 - Input Voltage: 3.3 ~ 5.5V
 - Output Voltage: 0 ~ 2.3V
 - Working Current: 3 ~ 6mA
 - TDS Measurement Range: 0 ~ 1000ppm
 - TDS Measurement Accuracy: $\pm 10\%$ F.S. (25 °C)
 - Module Size: 42 * 32mm
 - Module Interface: PH2.0-3P
 - Electrode Interface: XH2.54-2P
- TDS probe
 - Number of Needle: 2
 - Total Length: 83cm
 - Connection Interface: XH2.54-2P
 - Colour: Black
 - Other: Waterproof Probe

Board Overview



Num	Label	Description
1	-	Power GND(0V)
2	+	Power VCC(3.3 ~ 5.5V)
3	A	Analog Signal Output(0 ~ 2.3V)
4	TDS	TDS Probe Connector
5	LED	Power Indicator

Tomado de: [Analog TDS Sensor Meter for Arduino / ESP32 / Raspberry Pi - DFRobot Wiki](#)

4 Electrical Characteristics

4.1 Absolute Maximum Ratings

Stresses above those listed in *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions* is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

Table 6: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	-0.3	3.6	V
T _{STORE}	Storage temperature	-40	105	°C

4.2 Recommended Operating Conditions

Table 7: Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	
VDD33	Power supply voltage	3.0	3.3	3.6	V	
I _{VDD}	Current delivered by external power supply	0.5	—	—	A	
T _A	Operating ambient temperature	85 °C version	-40	—	85	°C
		105 °C version			105	
Humidity	Humidity condition	—	—	85	%RH	

4.3 DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Table 8: DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
C_{IN}	Pin capacitance	—	2	—	pF
V_{IH}	High-level input voltage	$0.75 \times V_{DD}^1$	—	$V_{DD}^1 + 0.3$	V
V_{IL}	Low-level input voltage	-0.3	—	$0.25 \times V_{DD}^1$	V
I_{IH}	High-level input current	—	—	50	nA
I_{IL}	Low-level input current	—	—	50	nA
V_{OH}^2	High-level output voltage	$0.8 \times V_{DD}^1$	—	—	V
V_{OL}^2	Low-level output voltage	—	—	$0.1 \times V_{DD}^1$	V
I_{OH}	High-level source current ($V_{DD}^1 = 3.3$ V, $V_{OH} \geq 2.64$ V, PAD_DRIVER = 3)	—	40	—	mA
I_{OL}	Low-level sink current ($V_{DD}^1 = 3.3$ V, $V_{OL} = 0.495$ V, PAD_DRIVER = 3)	—	28	—	mA
R_{PU}	Pull-up resistor	—	45	—	k Ω
R_{PD}	Pull-down resistor	—	45	—	k Ω
V_{IH_nRST}	Chip reset release voltage	$0.75 \times V_{DD}^1$	—	$V_{DD}^1 + 0.3$	V

Cont'd on next page

Table 8 – cont'd from previous page

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
$V_{IL,RST}$	Chip reset voltage	-0.3	—	$0.25 \times V_{DD}^1$	V

¹ VDD is the I/O voltage for a particular power domain of pins.

² V_{OH} and V_{OL} are measured using high-impedance load.

4.4 Current Consumption Characteristics

With the use of advanced power-management technologies, the module can switch between different power modes. For details on different power modes, please refer to Section *Low Power Management* in [ESP32-C3 Series Datasheet](#).

Table 9: Current Consumption Depending on RF Modes

Work mode	Description	Peak (mA)	
Active (RF working)	TX	802.11b, 1 Mbps, @21 dBm	350
		802.11g, 54 Mbps, @19 dBm	295
		802.11n, HT20, MCS 7, @18.5 dBm	290
		802.11n, HT40, MCS 7, @18.5 dBm	290
	RX	802.11b/g/n, HT20	82
		802.11n, HT40	84

¹ The current consumption measurements are taken with a 3.3 V supply at 25 °C of ambient temperature at the RF port. All transmitters' measurements are based on a 100% duty cycle.

² The current consumption figures for in RX mode are for cases when the peripherals are disabled and the CPU idle.

Table 10: Current Consumption Depending on Work Modes

Work mode	Description	Typ	Unit
Modem-sleep ^{1, 2}	The CPU is powered on ³	160 MHz	20 mA
		80 MHz	15 mA
Light-sleep	—	130	μ A
Deep-sleep	RTC timer + RTC memory	5	μ A
Power off	CHIP_PU is set to low level, the chip is powered off	1	μ A

¹ The current consumption figures in Modem-sleep mode are for cases where the CPU is powered on and the cache idle.

² When Wi-Fi is enabled, the chip may switch between Active and Modem-sleep modes. Therefore, current consumption changes accordingly.

³ In practice, software can adjust CPU's frequency according to CPU load to reduce current consumption.

Tomado de: https://cdn.sparkfun.com/assets/e/2/9/7/3/esp32-c3-mini-1_datasheet_en.pdf