



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Evaluación del rendimiento metrológico de contadores de ultrasonidos de pequeño calibre en diferentes entornos residenciales y comerciales de Valencia.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

AUTOR/A: Zapata Jaramillo, Juan Diego

Tutor/a: Arregui de la Cruz, Francisco

Director/a Experimental: VALERA TALAVERA, OMAR

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

# Trabajo Fin de Máster

## *EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO METROLÓGICO DE CONTADORES DE ULTRASONIDOS DE PEQUEÑO CALIBRE EN DIFERENTES ENTORNOS RESIDENCIALES Y COMERCIALES DE VALENCIA.*

**Intensificación:**  
*HIDRÁULICA URBANA*

**Autor:**  
*JUAN DIEGO ZAPATA JARAMILLO*

**Tutor:**  
*DR. FRANCISCO ARREGUI DE LA CRUZ*

**Director experimental:**  
*OMAR VALERA TALAVERA*

**FEBRERO, 2024**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**



## Resumen del Trabajo de Fin de Máster

### Datos del proyecto

**Título del TFM en español:** Evaluación del rendimiento metrológico de contadores de ultrasonidos de pequeño calibre en diferentes entornos residenciales y comerciales de Valencia.

**Título del TFM en inglés:** Evaluation of the metrological performance of small-caliber ultrasonic meters in different residential and commercial environments in Valencia.

**Título del TFM en Valenciano:** Avaluació del rendiment metrològic de comptadors d'ultrasons de xicotet calibre en diferents entorns residencials i comercials de València.

**Alumno:** Juan Diego Zapata Jaramillo

**Tutor:** DR. Francisco Arregui De La Cruz

**Cotutor/es:** -

**Director experimental:** Omar Valera Talavera

**Fecha de Lectura:** Febrero, 2024

### Resumen

#### En español (máximo 5000 caracteres)

El suministro de agua potable es un recurso vital para el bienestar y la vida diaria de las personas. La gestión eficiente y eficaz del consumo de agua es fundamental para garantizar su disponibilidad y conservación. En este contexto, los contadores de agua desempeñan un papel crucial al medir y registrar el consumo de agua en hogares y edificios. En los últimos años, los avances tecnológicos han dado lugar al desarrollo de nuevos tipos de contadores, entre ellos, los contadores de agua de ultrasonidos.



Los contadores de agua de ultrasonidos se presentan como una alternativa prometedora a los tradicionales contadores mecánicos prometiendo mayor precisión y capacidad para registrar diferentes parámetros del flujo de agua. Estos contadores utilizan la tecnología de ultrasonidos para medir el caudal de agua y ofrecen ventajas potenciales, como una mayor durabilidad, menor mantenimiento y consumo de energía. Además, la implementación de contadores de ultrasonidos podría contribuir a la sostenibilidad, al reducir el desperdicio de agua y minimizar los impactos ambientales asociados a la producción y disposición de contadores mecánicos.

La presente tesis se enfoca en llevar a cabo una comparación metrológica entre los contadores de agua mecánicos y los de estado sólido, específicamente en un entorno real de estudio en ciertas edificaciones de la ciudad de Valencia (España). El objetivo principal de este estudio es analizar y evaluar el desempeño de ambos tipos de contadores en un escenario práctico, considerando aspectos clave como la precisión de las mediciones y la confiabilidad en la captura de datos.

Sin embargo, antes de adoptar ampliamente los contadores de agua de ultrasonidos, es crucial evaluar su rendimiento en diferentes entornos y condiciones de consumo. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo principal evaluar el rendimiento de los contadores de agua de ultrasonidos en entornos residenciales y comerciales de la ciudad de Valencia, España. Se prestará especial atención a los patrones de consumo, considerando su influencia en la precisión y confiabilidad de los contadores.

Para lograr este objetivo, se realizará un estudio detallado en una muestra representativa de inmuebles en la ciudad. Se instalarán tanto contadores de agua mecánicos como de estado sólido, y se recolectarán datos de consumo a lo largo de un período de tiempo significativo. Con los datos de consumos obtenidos, se pretende generar patrones de consumo en cada uno



de los inmuebles estudiado y a partir de ellos, evaluar el rendimiento de los contadores de ultrasonidos en términos de exactitud de las mediciones y confiabilidad de los registros.

Se espera que los resultados de este estudio proporcionen información valiosa para la toma de decisiones en la implementación de contadores de agua de ultrasonidos en entornos residenciales y comerciales. Además, se espera contribuir al conocimiento existente sobre la eficiencia y sostenibilidad de estos contadores, con el fin de promover prácticas más responsables y eficientes en la gestión del recurso hídrico.

### **En valenciano (máximo 5000 caracteres)**

El subministrament d'aigua potable és un recurs vital per al benestar i la vida diària de les persones. La gestió eficient i eficaç del consum d'aigua és fonamental per a garantir la seua disponibilitat i conservació. En este context, els comptadors d'aigua exercixen un paper crucial en mesurar i registrar el consum d'aigua en llars i edificis. En els últims anys, els avanços tecnològics han donat lloc al desenvolupament de nous tipus de comptadors, entre ells, els comptadors d'aigua d'ultrasons.

Els comptadors d'aigua d'ultrasons es presenten com una alternativa prometedora als tradicionals comptadors mecànics prometent major precisió i capacitat per a registrar diferents paràmetres del flux d'aigua. Estos comptadors utilitzen la tecnologia d'ultrasons per a mesurar el cabal d'aigua i oferixen avantatges potencials, com una major durabilitat, menor manteniment i consum d'energia. A més, la implementació de comptadors d'ultrasons podria contribuir a la sostenibilitat, en reduir el desaprofitament d'aigua i minimitzar els impactes ambientals associats a la producció i disposició de comptadors mecànics.

La present tesi s'enfoca a dur a terme una comparació metrològica entre els comptadors d'aigua mecànics i els d'estat sòlid, específicament en un entorn real d'estudi en unes certes



edificacions de la ciutat de València (Espanya). L'objectiu principal d'este estudi és analitzar i avaluar l'acompliment de tots dos tipus de comptadors en un escenari pràctic, considerant aspectes clau com la precisió dels mesuraments i la confiabilitat en la captura de dades.

No obstant això, abans d'adoptar àmpliament els comptadors d'aigua d'ultrasons, és crucial avaluar el seu rendiment en diferents entorns i condicions de consum. En este context, el present estudi té com a objectiu principal avaluar el rendiment dels comptadors d'aigua d'ultrasons en entorns residencials i comercials de la ciutat de València, Espanya. Es prestarà especial atenció als patrons de consum, considerant la seua influència en la precisió i confiabilitat dels comptadors.

Per a aconseguir este objectiu, es realitzarà un estudi detallat en una mostra representativa d'immobles a la ciutat. S'instal·laran tant comptadors d'aigua mecànics com d'estat sòlid, i es recol·lectaran dades de consum al llarg d'un període de temps significatiu. Amb les dades de consums obtinguts, es pretén generar patrons de consum en cadascun dels immobles estudiat i a partir d'ells, avaluar el rendiment dels comptadors d'ultrasons en termes d'exactitud dels mesuraments i confiabilitat dels registres.

S'espera que els resultats d'este estudi proporcionen informació valuosa per a la presa de decisions en la implementació de comptadors d'aigua d'ultrasons en entorns residencials i comercials. A més, s'espera contribuir al coneixement existent sobre l'eficiència i sostenibilitat d'estos comptadors, amb la finalitat de promoure pràctiques més responsables i eficients en la gestió del recurs hídric.

**En inglés (máximo 5000 caracteres)**

The supply of drinking water is a vital resource for the well-being and daily life of people. Efficient and effective management of water consumption is essential to ensure its



availability and conservation. In this context, water meters play a crucial role in measuring and recording water consumption in households and buildings. In recent years, technological advancements have led to the development of new types of meters, including ultrasonic water meters.

Ultrasonic water meters are presented as a promising alternative to traditional mechanical meters, promising greater accuracy and the ability to record different parameters of water flow. These meters use ultrasound technology to measure the water flow and offer potential advantages such as increased durability, lower maintenance, and energy consumption. Additionally, the implementation of ultrasonic meters could contribute to sustainability by reducing water waste and minimizing the environmental impacts associated with the production and disposal of mechanical meters.

This thesis focuses on conducting a metrological comparison between mechanical water meters and solid-state meters, specifically in a real study environment in certain buildings in the city of Valencia, Spain. The main objective of this study is to analyze and evaluate the performance of both types of meters in a practical scenario, considering key aspects such as measurement accuracy and data capture reliability.

However, before widely adopting ultrasonic water meters, it is crucial to assess their performance in different environments and consumption conditions. In this context, the main objective of this study is to evaluate the performance of ultrasonic water meters in residential and commercial environments in the city of Valencia, Spain. Special attention will be given to consumption patterns, considering their influence on the accuracy and reliability of the meters.

To achieve this objective, a detailed study will be conducted on a representative sample of buildings in the city. Both mechanical and solid-state water meters will be installed, and



consumption data will be collected over a significant period of time. With the obtained consumption data, consumption patterns will be generated for each of the studied buildings, and based on these patterns, the performance of ultrasonic meters will be evaluated in terms of measurement accuracy and data record reliability.

It is expected that the results of this study will provide valuable information for decision-making in the implementation of ultrasonic water meters in residential and commercial environments. Furthermore, it is expected to contribute to the existing knowledge about the efficiency and sustainability of these meters, in order to promote more responsible and efficient practices in water resource management.

**Palabras clave español (máximo 5):** Contadores de agua, curva de error, patrón de consumo, exactitud.

**Palabras clave valenciano (máximo 5):** Comptadors d'aigua, corba d'error, patró de consum, exactitud.

**Palabras clave inglés (máximo 5):** Water meters, error curve, consumption pattern, accuracy.



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer principalmente a mi padre, que siempre me ha apoyado en todos los procesos de mi vida y ha sido un pilar en mi crecimiento como personas y profesional, a mi hermano que es un soporte que siempre ha estado aun estando a la distancia. A mi novia por siempre apoyarme y darme fuerzas para continuar y a todos mis amigos que han estado aquí presentes y han hecho de mi vida en España algo mucho mejor.



## Tabla de contenido

1.	Introducción y objetivo .....	3
2.	marco teórico .....	4
2.1.	Contadores de agua .....	4
2.1.1.	Contadores mecánicos .....	6
2.1.2.	Contadores de estado sólido.....	10
2.2.	Parámetros metrológicos .....	13
2.3.	Patrones de consumo .....	17
2.4.	Normativa aplicable .....	19
2.4.1.	UNE-EN ISO 4064:2018 .....	19
2.4.2.	OIML R 49.....	19
3.	Metodología .....	21
3.1.	Localización de los inmuebles de estudio .....	23
3.2.	Descripción de los contadores analizados .....	25
3.2.1.	Modelo de contador mecánico (MC) .....	25
3.2.2.	Modelo de ultrasonido 1 (UT1) .....	25
3.2.3.	Modelo de ultrasonido 2 (UT2) .....	26
3.2.4.	Modelo de ultrasonido 3 (UT3) .....	26
3.3.	Rotación de contadores ultrasónicos por vivienda.....	27
3.4.	Lectura de contadores.....	31
3.5.	Obtención de las curvas de errores de los contadores mecánicos .....	32
3.5.1.	Proceso Detallado de Medición de las Curvas de Error .....	33
3.6.	Determinación del patrón de consumo.....	35
3.6.1.	Consumo diario.....	36
3.6.2.	Curva de modulación .....	37
3.7.	Cálculo de errores.....	38
3.7.1.	Error global de contadores mecánicos .....	38
3.7.2.	Error de lectura entre el contador mecánico y contador de estado solido .....	39
4.	Resultados y análisis .....	40
4.1.	Curvas de error de contadores mecánicos obtenidas en laboratorio .....	41



4.2.	Pautas de consumo .....	50
4.2.1.	Consumo de agua diario.....	50
4.2.2.	Curvas de modulación horario .....	53
4.2.3.	Histograma de distribución de caudales (patrón de consumo) .....	65
4.3.	Comportamiento metrológico entre contadores de agua mecánicos y de estado sólido (ultrasonido).....	74
4.3.1.	Comportamiento metrológico de los contadores de agua de estado sólido .....	77
4.3.2.	Error global promedio de los contadores mecánicos y comparación con los contadores de estado sólido .....	86
5.	Conclusiones .....	89
6.	Bibliografía .....	92
7.	Anexos .....	94



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El suministro de agua potable es un componente vital para el bienestar y la calidad de vida de las personas en todo el mundo (Cárdenas, 2019). Acceder a agua segura y limpia es fundamental para satisfacer las necesidades básicas, como el consumo humano, la higiene y el saneamiento adecuado. Sin embargo, a pesar de los avances realizados, aún existen desafíos significativos para garantizar un suministro de agua potable adecuado y sostenible para todas las personas.

En este contexto, la medición precisa del consumo de agua juega un papel crucial en la gestión eficiente y equitativa de este recurso. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas reconocen la importancia del acceso al agua potable y el saneamiento como elementos esenciales para lograr un desarrollo sostenible. En particular, el ODS 6 se enfoca en garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos

Una medición precisa, permite además a las autoridades y organismos responsables tener información actualizada sobre la demanda de agua, identificar patrones de consumo, detectar fugas y tomar decisiones informadas para la planificación y gestión adecuada de los recursos hídricos (Stoker et. al, 2012).

En este sentido, los contadores de agua desempeñan un papel central al proporcionar datos fiables y precisos sobre el consumo de agua. La adopción de tecnologías avanzadas, como los contadores ultrasonidos y de velocidad, ha permitido mejorar la exactitud de las mediciones y facilitar la detección temprana de fugas y pérdidas en las redes de distribución.

Además, la medición precisa del consumo de agua y la gestión eficiente promovidas por los contadores contribuyen a la sostenibilidad en diversos aspectos. En primer lugar, permiten una asignación justa y equitativa de los recursos hídricos, asegurando que todas las personas tengan



acceso a agua potable de calidad. Esto está alineado con el ODS 10, que busca reducir las desigualdades dentro y entre los países.

En segundo lugar, la medición precisa del consumo de agua ayuda a detectar fugas y reducir las pérdidas en las redes de distribución. Esto contribuye a la conservación del agua y a la eficiencia en el uso de los recursos, en línea con el ODS 12, que busca garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

Por ello, esta tesis tiene como objetivo evaluar el comportamiento metrológico de los contadores de estado sólido, en concreto, de tecnología de ultrasonido en viviendas ubicadas en la ciudad de Valencia, España, principalmente a través de la comparación de las lecturas de estos contadores con las lecturas de contadores mecánicos, teniendo en cuenta además los patrones de consumo de estas viviendas y el error presente en el contador mecánico.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Contadores de agua**

Los contadores de agua son instrumentos empleados para medir y registrar el caudal de agua en diversos entornos, abarcando desde residencias y edificios hasta instalaciones industriales y sistemas de abastecimiento público. A diferencia de los caudalímetros (que se enfoca en medir el flujo de agua en tiempo real), los contadores de agua registran tiene como objetivo primordial cuantificar el consumo de agua, lo cual posibilita una gestión eficiente, equitativa y sostenible de este recurso esencial.

Estos dispositivos juegan un papel fundamental al brindar una medición del consumo, detectar fugas, facilitar la facturación adecuada y contribuir a la planificación eficaz del suministro. Sin embargo, estos aparatos, al igual que cualquier otro dispositivo de medición, presentan ciertas imperfecciones. Al ser instalados, no logran capturar de manera precisa la cantidad exacta de



agua consumida por los usuarios. Cada medidor de agua, sin importar su tecnología, posee limitaciones específicas en cuanto a su capacidad de medición (Arregui et al, 2015).

En la actualidad, existe una amplia variedad de contadores de agua disponibles en el mercado, los cuales se distinguen principalmente por su método de medición del flujo de agua, la tecnología utilizada y, por supuesto, su precisión y confiabilidad. La elección de este depende de varios factores que se abordarán más adelante en este texto.

En el ámbito doméstico, es común encontrar una variedad de tipos de contadores utilizados, entre ellos se incluyen los contadores de chorro único, chorro múltiple, pistón oscilante y disco nutante (Arregui, 2005), sin embargo, gracias a los avances tecnológicos, hoy en día se cuentan con una nueva generación de contadores de agua de estado sólido, los cuales se diferencian de los tradicionales en su enfoque de medición del flujo de agua. Mientras que los contadores convencionales utilizan mecanismos mecánicos, esta nueva generación hace uso de tecnologías más modernas y electrónicas para llevar a cabo esta función.

A continuación, se presentará una descripción de las dos tecnologías utilizadas en este estudio para cuantificar el consumo del agua, incluyendo los contadores basados en velocidad y la tecnología ultrasónica. En la Figura 1 podemos observar los diferentes tipos de contadores y su respectiva clasificación.

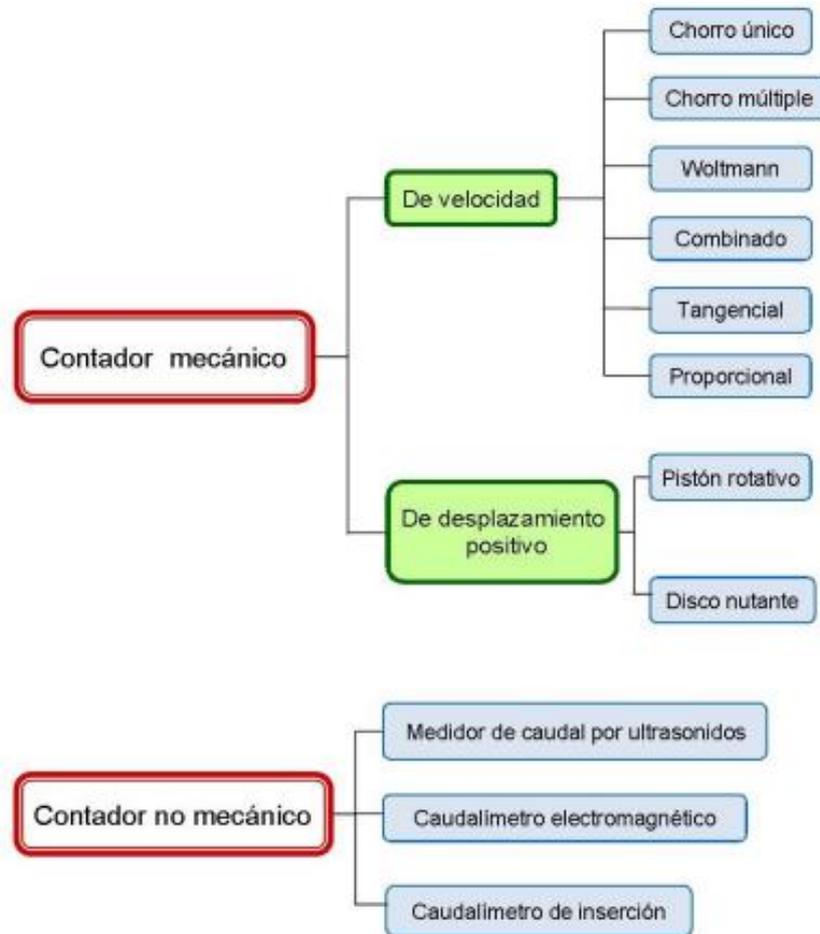


Figura 1 Clasificación de los contadores. Fuente: (URA, s.f.)

### 2.1.1. Contadores mecánicos

Los contadores mecánicos operan mediante el desplazamiento de un elemento interno impulsado por el flujo de agua, lo que les permite medir y registrar la cantidad de fluido que ha pasado a través del contador. Estos elementos internos pueden ser de diferentes tipos, como engranajes, diafragmas, paletas, discos o pistones, dependiendo de la tecnología utilizada en el contador.

Existen tres categorías principales de contadores de agua mecánicos: contadores de velocidad, volumétricos y combinados. Los primeros, utilizan una turbina que se mueve en respuesta al flujo de agua, contando las vueltas para determinar la cantidad de agua consumida. Los contadores volumétricos emplean cámaras internas que se llenan y se vacían para medir el



volumen de agua que pasa a través del contador (Palau, 2005). Por último, los contadores combinados combinan ambos métodos de medición para lograr una mayor precisión y fiabilidad en la medición del consumo de agua. Cada tipo de tecnología tiene sus propias ventajas y se elige según las necesidades específicas de cada situación.

Entre los contadores mecánicos más usados actualmente en el mercado, podemos encontrar:

- Contadores de chorro único
- Contadores de chorro múltiple
- Contadores de pistón rotativo
- Contadores de disco nutante
- Contadores Woltmann
- Contadores Tangenciales
- Contadores Combinados
- Contadores Proporcionales

Los contadores de velocidad registran el consumo de agua al utilizar dispositivos de medición, como rotores, hélices o turbinas, que se activan en función de la velocidad del flujo de agua (EAAB, 2009). Estos aparatos están equipados con un mecanismo de registro que convierte la velocidad del dispositivo interno en una medida cuantitativa del volumen de agua que ha pasado a través del contador. Esta medición se muestra en las unidades de volumen correspondientes, como litros o metros cúbicos.

Las dimensiones del instrumento desempeñan un papel crucial en su capacidad de medición precisa. Los sedimentos y las acumulaciones de minerales pueden causar errores en las mediciones, dando lugar a sobremedición o submedición. Esto se debe a que estos materiales pueden afectar la relación entre el caudal de agua y la velocidad de giro de la turbina al depositarse en el cuerpo del medidor (Garzón, 2014).



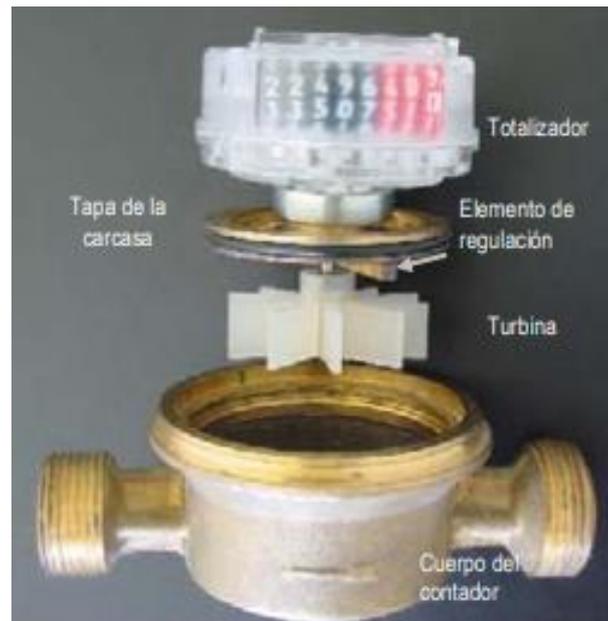
### **2.1.1.1. Contadores combinados**

Los contadores de chorro único son los dispositivos más frecuentes utilizados en los hogares españoles para medir el consumo de agua realizado por los usuarios registrados (Palau, 2005). Entre sus principales atractivos del mercado se encuentran su alta fiabilidad con precios de mercado más bajo que muchas otras tecnologías.

Su funcionamiento se basa principalmente en la interacción tangencial de un chorro de agua con una turbina ubicada dentro de la carcasa. El volumen es registrado por estos contadores mediante el conteo de las vueltas realizadas por la turbina ubicada en su interior, acumulando así el total de volumen medido.

Cabe destacar que, la precisión del contador depende en gran medida de las dimensiones de su cuerpo, por lo tanto, su fabricación debe cumplir con tolerancias muy ajustadas. Esto explica por qué los contadores de chorro único no son comúnmente utilizados en diámetros medianos (entre 25 y 40 mm). En el caso de los diámetros de 15 y 20 mm, los contadores de chorro único son más económicos debido al ahorro de material en comparación con los contadores de chorro múltiple (Arregui et al, 2007).

Los contadores de chorro único están diseñados para funcionar en posición horizontal, donde la turbina apoya en un solo punto del pivote, lo que minimiza el rozamiento y los errores de medición a caudales bajos. Esta posición de funcionamiento también reduce el desgaste de la turbina y el pivote, ya que los materiales de los puntos de apoyo son muy resistentes al desgaste.



**Figura 2** Despiece de contador de chorro único. Fuente: (Aeas, 2020).

Con los avances tecnológicos, hoy en día se cuenta con contadores híbridos (Ver Figura 3) combinan la tecnología mecánica para medir el flujo que circula, ya sea de velocidad o volumétrica, con un totalizador de tipo electrónico (Aeas, 2020). Estos contadores híbridos de velocidad utilizan una turbina en su interior que es impulsada por el flujo de agua y genera una señal eléctrica proporcional a la velocidad de rotación. El sensor electrónico detecta el giro de la única pieza móvil (turbina) y envía la señal al microprocesador para que interprete y comunique la información digital a través del visor LCD y los conectores (Contazara, s.f.).

Estos tipos de contadores ofrecen varias ventajas en comparación con los contadores mecánicos tradicionales. Son más precisos, ya que eliminan los errores mecánicos asociados al desgaste de los componentes (Valera et al, 2019). Además, proporcionan una lectura más rápida y precisa del consumo de agua, lo que facilita la detección de fugas y un mejor control del suministro.



**Figura 3** Contador electrónico de agua de tipo velocidad Fuente: (Contazara, s.f.)

### **2.1.2. Contadores de estado sólido**

Los contadores de estado sólido son dispositivos avanzados de medición que ofrecen una alternativa innovadora a los contadores de agua mecánicos convencionales. Estos dispositivos utilizan tecnología electrónica y semiconductores para medir con precisión el flujo de agua y registrar el consumo de manera continua y confiable.

Una de las principales ventajas de estas nuevas tecnologías es su diseño sin componentes móviles. A diferencia de los contadores mecánicos que dependen de turbinas o paletas que se desplazan con el flujo de agua, los contadores de estado sólido emplean sensores y circuitos integrados para detectar el flujo y calcular el consumo. Esto los hace más duraderos, resistentes a la obstrucción y menos propensos a sufrir desgaste con el tiempo.

Otra ventaja de estos dispositivos es su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones de uso. Pueden medir con precisión tanto flujos altos como bajos, lo que los hace adecuados para una amplia gama de aplicaciones, desde hogares residenciales hasta grandes instalaciones industriales. Además, son menos susceptibles a interferencias externas, como las causadas por partículas sólidas en el agua, lo que mejora la precisión y confiabilidad de la medición.

En términos de sostenibilidad, los contadores de estado sólido también ofrecen beneficios significativos. Al proporcionar registros continuos del consumo de agua, ayudan a identificar y controlar los desperdicios y las fugas (EMAYA, 2023). Esto fomenta un uso más eficiente del agua y contribuye a la conservación de este recurso vital. Además, su durabilidad y menor necesidad de mantenimiento reducen los residuos generados y los costos asociados con la sustitución y reparación de contadores mecánicos.

Entre los contadores estáticos podemos encontrar principalmente las siguientes tecnologías:

- Los contadores ultrasónicos
- Los contadores electromagnéticos
- Los contadores por inserción

#### **2.1.2.1. Medidores de caudal ultrasónicos**

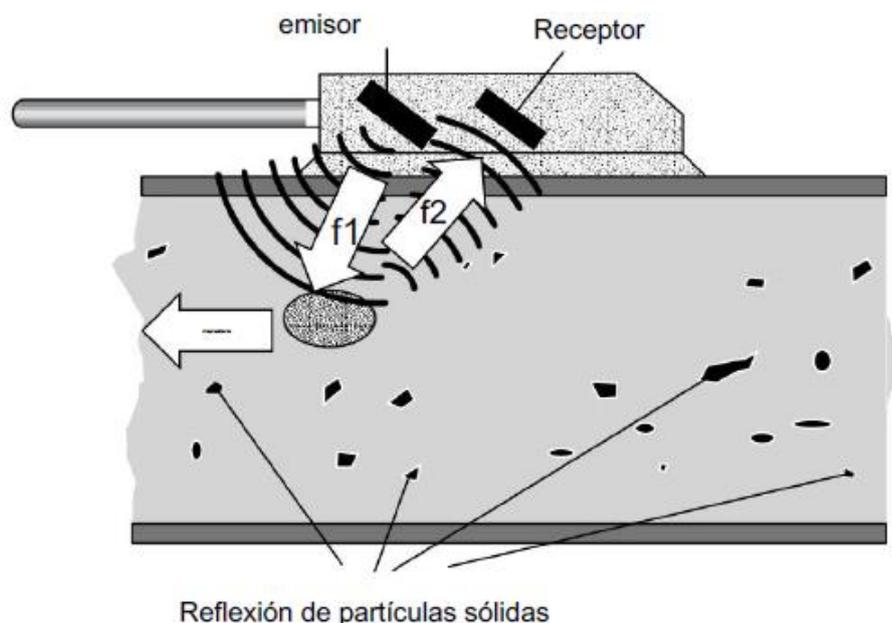
Los medidores de caudal ultrasónicos son dispositivos que emplean ondas ultrasónicas para medir la velocidad y el volumen de un flujo de fluido en tuberías o conductos. Estos dispositivos son adecuados para una amplia gama de fluidos, incluyendo líquidos, gases, y más recientemente, vapor (KROHNE, 2000) y pueden utilizarse en diferentes industrias, como la industria del agua, la industria química, la industria del petróleo y gas, entre otras. Son capaces de medir caudales tanto altos como bajos con precisión y ofrecen una respuesta rápida a los cambios en el flujo. En esta tecnología, podemos distinguir dos tipos de tecnologías: los que utilizan el efecto Doppler y los basados en el tiempo de tránsito.

Los primeros medidores mencionados se basan en el principio del efecto Doppler, que se produce cuando las ondas ultrasónicas se reflejan en partículas o burbujas presentes en el flujo (Ver Figura 4). Se utiliza un solo transductor que emite pulsos ultrasónicos y detecta las frecuencias de retorno de las ondas reflejadas. La variación de frecuencia está directamente

relacionada con la velocidad relativa entre las partículas y el emisor/receptor, lo que a su vez se traduce en el caudal circulante (Arregui et al, 2007).

Es importante tener en cuenta que los medidores de caudal ultrasónicos no miden directamente la velocidad del líquido en el conducto, sino la velocidad de los elementos que arrastra la corriente, como sólidos en suspensión o burbujas de aire. Sin embargo, la precisión de estos caudalímetros es menor que la de los medidores de tiempo de tránsito, ya que la velocidad de las partículas puede diferir de la velocidad real del flujo en mayor o menor medida (Arregui et al, 2007).

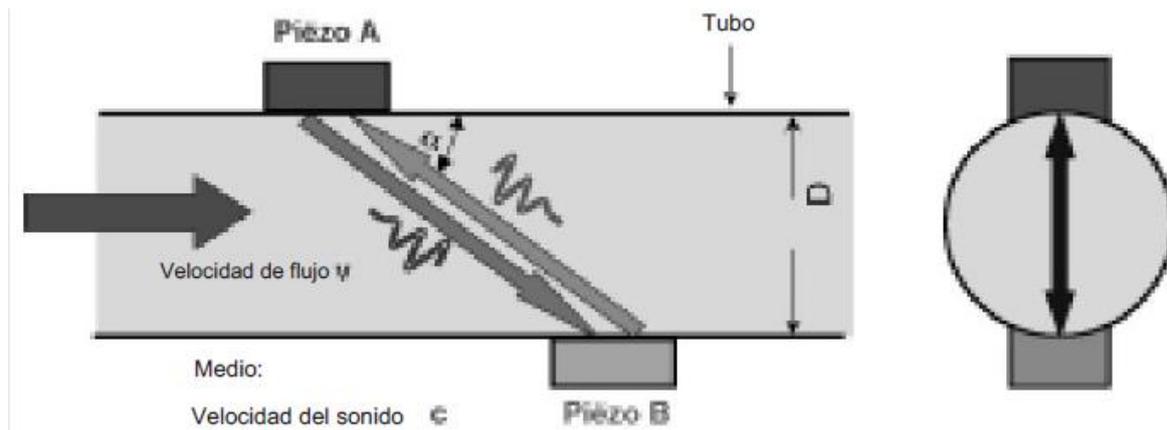
El método de medición de flujo ultrasónico requiere reflectores en el producto del proceso para funcionar correctamente. Sin embargo, debido a problemas de funcionamiento, aplicaciones incorrectas y la falta de confiabilidad en la década de 1970, la medición de flujo ultrasónico ha adquirido una mala reputación. En la actualidad, se utiliza solo en algunas aplicaciones especiales (KROHNE, 2000).



**Figura 4** Principio del caudalímetro de efecto Doppler. Fuente: (KROHNE, 2000)

Por otro lado, los caudalímetros basados en el tiempo de tránsito (Figura 5) miden el tiempo que tardan los pulsos ultrasónicos en viajar entre el transmisor y el receptor. Se utilizan dos

transductores ubicados en lados opuestos del conducto, y la diferencia de tiempo entre los pulsos que viajan en la dirección del flujo y en la dirección opuesta se utiliza para calcular la velocidad del flujo y, a partir de ahí, el caudal volumétrico (Mercedes, 2020). Hoy en día, este método de medición de flujo es el más aplicado universalmente, incluyendo la micromedición de agua doméstica.



**Figura 5** Principio de medición de caudal ultrasónico según el método diferencial de tiempo de tránsito. Fuente: (KROHNE, 2000)

Existen distintos tipos de transductores utilizados en la medición de caudal. Los transductores en contacto directo con el medio transmisor, conocidos como transductores en contacto (*wetted*), son más precisos. Por otro lado, existen transductores que se instalan externamente, llamados transductores de sujeción (*clamp-on*), los cuales se utilizan comúnmente como caudalímetros portátiles (Palau, 2005).

## 2.2. Parámetros metrológicos

Aunque los contadores de agua pueden tener características técnicas diferentes, existen parámetros comunes que son aplicables a todos ellos. Estos parámetros son fundamentales para comprender y describir diversos aspectos de su funcionamiento. Se conocen como parámetros metrológicos y están estrechamente relacionados con la incertidumbre y la determinación de los errores de medición. Es esencial tener conocimiento de estos parámetros en el ámbito de los contadores de agua, por lo cual se definen a continuación:



- *Volumen real*: El volumen de agua que ha pasado a través del contador durante un período de tiempo específico, sin tener en cuenta la duración exacta del mismo.
- *Volumen indicado o medio*: El volumen del agua medido por el contador, el cual refleja el volumen real.
- *Error absoluto de medición*: Volumen indicado, menos el volumen real. Es posible que se presente un error positivo conocido como sobrecontaje, así como un error negativo llamado subcontaje.
- *Error de medición relativo*: Es un valor adimensional que se obtiene al dividir
  - el error absoluto entre el volumen real.
- *Error máximo permisible (EMP)*: valores extremos del error de indicación del medidor de agua.
- *condiciones de operación nominales (CON)*: Condiciones de uso establecen el rango de valores de los factores de influencia, dentro del cual se exige que los errores de indicación del medidor se mantengan dentro del Error Máximo Permisible (EMP).

Debido a los errores mencionados anteriormente, el ser humano, siendo consciente de su naturaleza falible, tiene la responsabilidad de explorar y comprender las fallas presentes en las herramientas que él mismo desarrolla. Reconocer estas imperfecciones es esencial para mejorar y evaluar la efectividad de las tecnologías que se están creando. En el caso de los contadores de agua, al ser artefactos creados por personas, es importante tener en cuenta que poseen un margen de error inherente. Es necesario identificar y determinar este error para poder evaluar la confiabilidad y precisión del instrumento de medición.

Mediante un estudio detallado de los errores asociados, se puede avanzar hacia la mejora continua y la optimización de los contadores, garantizando así mediciones más precisas y confiables del consumo de agua.



A raíz de lo mencionado anteriormente, se crea la curva de error de los contadores de agua, con el propósito de comprender y visualizar el comportamiento del error de medición del contador en función del caudal circulante. Esta curva proporciona información valiosa sobre el desempeño del medidor en diferentes rangos de caudal y permite identificar las variaciones en la precisión de las mediciones.

La creación de la curva de error implica realizar mediciones comparativas entre el volumen de agua registrado por el contador y el volumen real consumido. Los contadores no pueden medir con la misma precisión el consumo de agua en todos los flujos que atraviesan. Esto significa que el error de medición no es constante en todo el rango de caudales (Arregui et al, 2007), por lo cual, es necesario llevar cabo pruebas en condiciones controladas donde se varía el caudal de agua que atraviesa el contador. Luego se comparan los valores medidos por el contador con los valores reales para determinar la diferencia o el error de medición.

Al trazar estos resultados en un gráfico, se obtiene la curva de error que muestra cómo varía el error en función del caudal (ver Figura 6). Esta curva puede revelar patrones, como errores sistemáticos en ciertos rangos de caudal o comportamientos no lineales en la precisión de las mediciones. Estos datos son fundamentales para evaluar la confiabilidad y la exactitud del contador en diferentes condiciones de uso y para tomar decisiones informadas sobre su calibración o reemplazo.

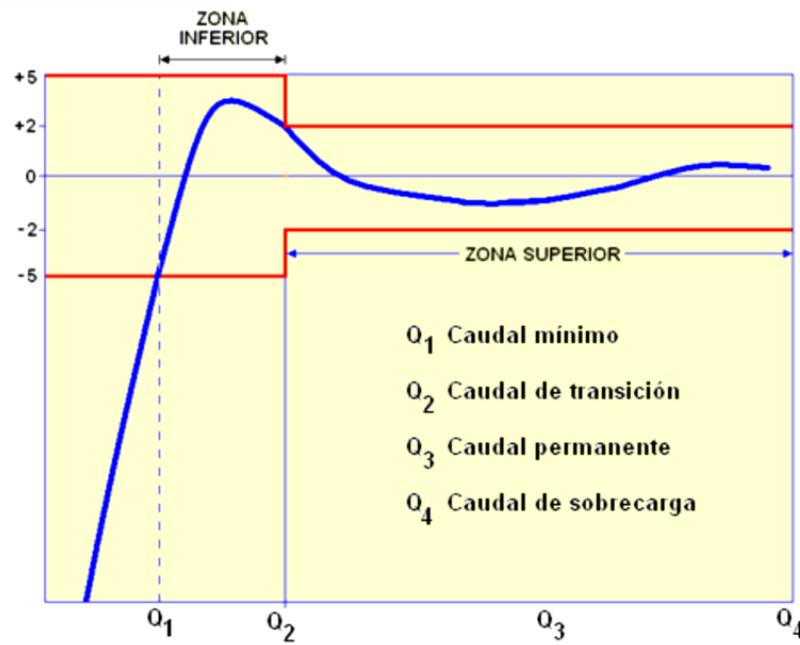


Figura 6 Curva de error. Fuente: (ibmetro, 2022).

En la Figura 6 se pueden observar diferentes caudales que proporcionan la información base para dividir la curva en diferentes zonas de operación, básicamente en zonas de caudales bajos y altos, donde se permitirán errores máximos y mínimos diferentes según el caudal del sistema.

Estos caudales se dividen en:

- *Caudal de Arranque*: Es el caudal a partir del cual, el medidor empieza a dar indicación de consumo, sin importar los límites prefijados para los errores, es decir, sin un grado de error en particular.
- *Caudal mínimo (Q1)*: El menor caudal al cual se requiere que el medidor de agua opere dentro del EMP. Entre este caudal y el de transición el error del medidor no debe superar el  $\pm 5\%$ .
- *Caudal de transición (Q2)*: Caudal que ocurre entre el caudal permanente, Q3, y el caudal mínimo, Q1, que divide el rango de caudal en dos Zonas, la “Zona superior” y la “Zona inferior”, cada una caracterizada por su propio EMP. En este rango el error del medidor no debe superar el  $\pm 2\%$ .

- *Caudal permanente (Q3)*: Mayor caudal dentro de las Condiciones de Operación Nominales (“CON” por abreviatura) a la cual se requiere que el medidor de agua opere de manera satisfactoria dentro del error máximo permisible.
- *Caudal de sobrecarga (Q4)*: Máximo caudal al cual el medidor de agua debe operar durante un período de tiempo corto dentro de su EMP, mientras mantiene su desempeño metrológico cuando opera posteriormente dentro de sus CON.

### 2.3. Patrones de consumo

El patrón de consumo, también conocido como curva de consumos clasificados, representa la cantidad de agua consumida en cada rango de caudal. Se asemeja a un histograma de frecuencias que proporciona información sobre el porcentaje de volumen consumido en intervalos específicos de caudal (Arregui, 1999). Estos patrones reflejan los hábitos y comportamientos de los consumidores en cuanto a cómo utilizan el agua. Los patrones de consumo de agua pueden afectar tanto la cantidad de agua utilizada como la eficiencia en su uso, tanto a nivel de hogares individuales como a nivel comunitario.

Con el fin de minimizar el error de medición y obtener mediciones más precisas de los volúmenes de agua consumidos, es necesario determinar los caudales mínimo, de transición y nominal en base a los hábitos de consumo de los usuarios. De esta manera, se busca adecuar el funcionamiento del medidor a las características y patrones de consumo específicos de cada usuario (Garzón, 2014). En la Figura 7 podemos observar un ejemplo de patrón de consumo doméstico, sin embargo, estudio como el realizado por Arregui (2002) muestran patrones en función del tipo de vivienda, como se puede observar en la Tabla 1, y que pueden ser utilizados como referencias para estudios particulares, sin dejar de mencionar la necesidad de realizar un estudio específico para cada abastecimiento si se requieren datos más próximos a la situación propia del sistema y sus usuarios.

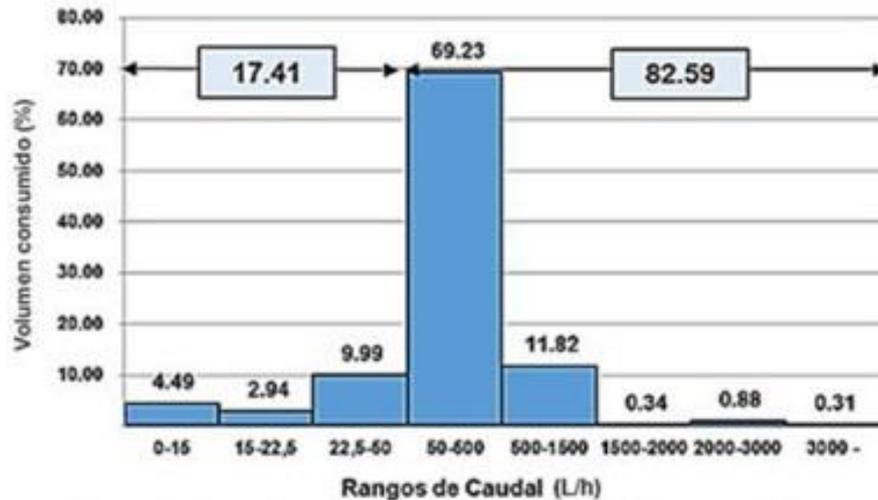


Figura 7 Curva de consumo de viviendas en Cuba. Fuente: (Ramos, 2019).

Aunque a simple vista parezca fácil la obtención de esta información, la realidad es que se trata de un proceso muy complejo por el hecho de la dificultad que presenta este tipo de estudios en el campo, derivando también costes altos e incertidumbres que no son para nada despreciables. A pesar de la existencia de publicaciones que detallan la metodología y proporcionan datos sobre el consumo en viviendas, estos estudios suelen tener un alcance limitado y sus conclusiones no son aplicables de manera general a otros sistemas de suministro.

Tabla 1 patrones de consumo en España por tipo de vivienda. Fuente: (Arregui, 2002)

Caudal (l/h)	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
0-12	4,7%	10,0%	2,7%
12-24	2,8%	3,1%	1,9%
24-36	1,9%	1,8%	1,6%
36-72	4,3%	4,2%	4,5%
72-180	8,5%	11,6%	5,7%
180-1500	75,7%	69,3%	63,6%
1500-3000	1,9%	0,0%	17,3%
>3000	0,2%	0,0%	2,7%

En general, estos patrones de consumo varían significativamente por muchos aspectos, desde el diseño hidráulica, como, por ejemplo, si la alimentación se hace directo de red, por bombeo o por depósito de agua, la presión del sistema, del clima del lugar, fugas, la estacionalidad del

consumo y demás factores que afectan enormemente a la construcción de esta curva, sin embargo, es un reto que se debe plantear ya que el error de medición depende directamente de estos patrones.

## **2.4. Normativa aplicable**

En el mundo de la ingeniería hidráulica y, más específicamente, en el campo de los contadores de agua, las normativas y estándares juegan un papel crucial en asegurar la calidad, precisión y fiabilidad de estos dispositivos. Estos estándares son esenciales para garantizar que los contadores de agua funcionen de manera eficiente, proporcionen mediciones precisas y sean compatibles con los sistemas de gestión y facturación del agua.

### **2.4.1. UNE-EN ISO 4064:2018**

La norma UNE-EN ISO 4064:2018 establece los requisitos y métodos de prueba para los contadores de agua fría y caliente. Esta norma tiene como objetivo asegurar la precisión y confiabilidad de las mediciones de consumo de agua, proporcionando criterios estandarizados para la fabricación, instalación y funcionamiento de los contadores.

Esta norma abarca diferentes aspectos, como la construcción y materiales de los contadores, las tolerancias de medición, la resistencia a la obstrucción, la durabilidad y la protección contra influencias externas. También establece los procedimientos y condiciones para las pruebas de verificación y calibración de los contadores de agua.

### **2.4.2. OIML R 49**

La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) ha desarrollado la Recomendación R 49, que proporciona directrices sobre los requisitos de rendimiento y ensayos para contadores de agua fría y caliente. Esta norma es ampliamente reconocida y adoptada por varios países para la regulación y evaluación de contadores de agua. Establece criterios específicos para



pruebas de durabilidad y exactitud, y es especialmente relevante para los contadores mecánicos, por ejemplo, donde el desgaste y la acumulación de partículas pueden afectar la precisión a lo largo del tiempo (Kroner et al, 2022).

La implementación de estas normativas presenta desafíos, especialmente en el contexto de los avances tecnológicos y las nuevas demandas del mercado. Los contadores ultrasónicos, por ejemplo, plantean desafíos únicos en términos de pruebas y certificación, ya que utilizan tecnologías avanzadas para medir el flujo de agua. La precisión y la capacidad de estos contadores para medir flujos bajos de agua les confiere una ventaja sobre los contadores mecánicos, pero también requiere un enfoque de prueba más sofisticado para garantizar su precisión a lo largo del tiempo.

Por otro lado, los contadores mecánicos volumétricos, aunque bien establecidos en el mercado, enfrentan desafíos en cuanto a su capacidad para mantener la precisión con el desgaste y bajo diferentes condiciones de calidad del agua. Las normativas actuales pueden no reflejar completamente las condiciones operativas reales, lo que ha llevado a la necesidad de desarrollar regímenes de prueba más representativos y realistas.

El desarrollo continuo de normas y su adaptación a las nuevas tecnologías es crucial. Esto no solo garantiza la precisión y fiabilidad de los contadores de agua, sino que también facilita la interoperabilidad y la comparabilidad a nivel internacional. La armonización de normas a nivel global es esencial para los fabricantes que buscan expandirse en mercados internacionales y para las autoridades reguladoras que buscan garantizar la equidad en la facturación del agua y la gestión eficiente de los recursos hídricos.



### 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se detallan los materiales, procedimientos de ensayo y estudios realizados para evaluar los diferentes modelos y llegar a la determinación del error global de medición de contadores sólidos frente a los contadores mecánicos, así como las curvas de errores, histograma de distribución de caudales de consumo y demás pautas de consumo que sean relevantes para analizar el comportamiento entre las dos tecnologías estudiadas.

Para la investigación, se seleccionaron tres edificios representativos ubicados en una zona urbana, con el fin de cubrir un amplio rango de patrones de consumo. Cada edificio ofrece características únicas en términos de diseño arquitectónico, número de viviendas y perfil de los residentes, lo que permite un análisis diversificado del rendimiento de los contadores.

En cada vivienda seleccionada de los edificios, se instaló un sistema de dos contadores en serie (Ver Figura 8). El primer contador instalado es un modelo mecánico de velocidad combinado (Ver Figura 9), conocido por su robustez y amplia utilización en el sector residencial. Este contador permanecerá fijo durante toda la prueba de campo, sirviendo como referencia para las mediciones.



**Figura 8** Ejemplo de instalación de contadores en viviendas. Fuente: (elaboración propia).



**Figura 9** Contador mecánico instalados en las viviendas. Fuente: (elaboración propia).

Posteriormente, se instaló un contador de estado sólido, caracterizado por su tecnología avanzada y capacidad para detectar flujos de agua con mayor precisión. Este contador se irá rotando periódicamente entre las viviendas seleccionadas, con el fin de analizar su comportamiento en diferentes escenarios de consumo.

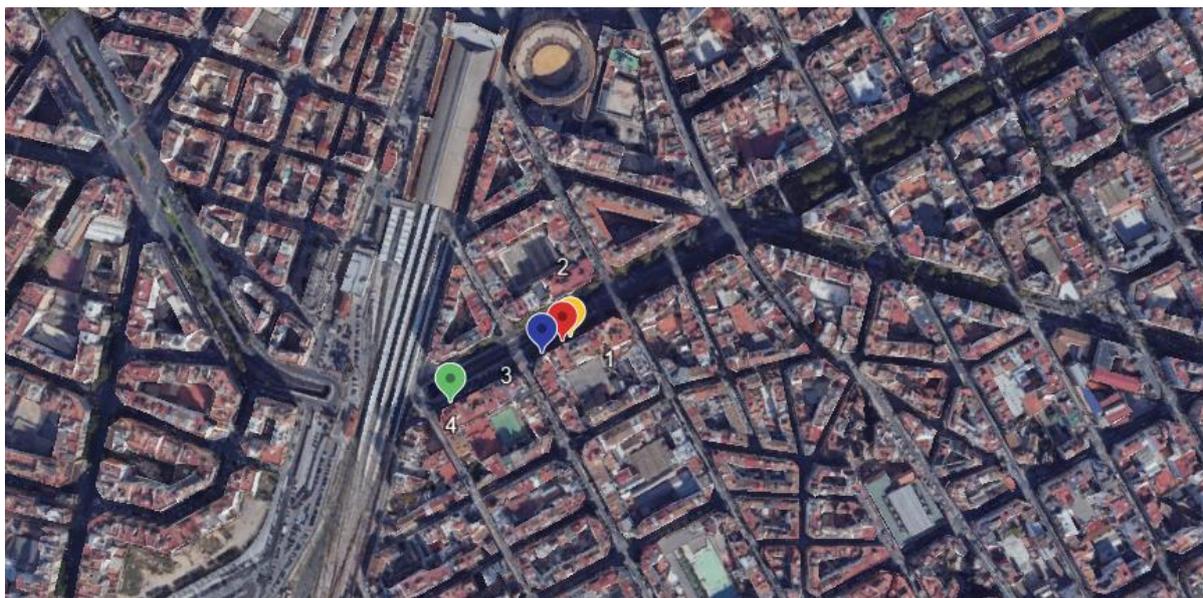
### 3.1. Localización de los inmuebles de estudio

En el marco de esta tesis, se realizará una comparación metrológica detallada entre contadores mecánicos y de estado sólido llevada a cabo en una variedad de propiedades, incluyendo viviendas, oficinas y locales comerciales, ubicados en tres edificios distintos en la ciudad de Valencia, España. Estos edificios han sido cuidadosamente seleccionados por su ubicación estratégica y por las diferencias significativas en sus patrones de consumo de agua, abarcando rangos de demanda bajos, medios y altos.

Los edificios seleccionados para este estudio están situados en la Gran Vía de les Germanías, una zona representativa de Valencia. Estas propiedades se encuentran en posiciones contiguas (Marcadores 1 a 4 en la Tabla 2 y Figura 10), asegurando que todos están sujetos a condiciones similares de suministro de agua, lo que incluye factores como la presión del agua y la calidad del suministro, fundamentales para un análisis consistente y fiable.

**Tabla 2** Marcadores de direcciones de los edificios. Fuente: (Elaboración propia).

Marcador	Dirección
1	Gran Vía de les Germanías 29
2	Gran Vía de les Germanías 31
3	Gran Vía de les Germanías 35
4	Gran Vía de les Germanías 49



**Figura 10** Ubicación de los contadores en Valencia, España. Fuente: (Elaboración propia a partir de Google Earth).

A pesar de su proximidad, estos edificios presentan una notable variedad en sus consumos de agua. Esta variación se debe a múltiples factores, como el número de residentes o usuarios en cada inmueble, la naturaleza de las actividades llevadas a cabo en cada propiedad (residencial, comercial, oficina), y las diferencias en las instalaciones de fontanería y sistemas de agua. Esta diversidad en los patrones de consumo es crucial para obtener un conjunto de datos representativo, permitiendo una comparación efectiva y realista del rendimiento entre los dos tipos de contadores.

Durante la fase inicial de la investigación, se enfrentaron desafíos en la recopilación de datos en el edificio situado en Gran Vía de les Germanías 49. Debido a estas dificultades, se decidió trasladar la instalación de contadores al edificio de Gran Vía de les Germanías 35, comenzando desde la segunda semana de enero de 2023. Este cambio aseguró la continuidad en la recopilación de datos y amplió el alcance del estudio, permitiendo una mejor comparación y un conjunto de datos más robusto para el análisis.



### **3.2. Descripción de los contadores analizados**

En el curso de esta investigación, se llevaron a cabo toma de datos con varios contadores de agua. En total, se utilizó una referencia de contador mecánico que se tomó como referencia para todas las unidades estudiadas y 3 referencias conocidas en el mercado de contadores de ultrasonido, siendo una de estas de la misma compañía productora del contador mecánico. Estos contadores, además de presentar diferencias en sus características físicas, exhiben variaciones en su funcionamiento. Se tiene en cuenta que todos los contadores mecánicos utilizados en el proyecto eran totalmente nuevos.

A continuación, se presenta una tabla que detalla información esencial, como la relación de contador y los caudales que delimitan las distintas zonas de funcionamiento de cada medidor.

#### **3.2.1. Modelo de contador mecánico (MC)**

El modelo MC representa la tecnología tradicional de chorro único-combinado, con un total de 18 unidades ensayadas y son los contadores que permanecerán en cada vivienda a lo largo de la toma de datos. Este tipo de tecnología es común en aplicaciones residenciales y se caracteriza por su robustez y confiabilidad a largo plazo. El ratio de este contador se establece en 200, con caudales de transición y críticos desde 12,5 l/h hasta un caudal máximo de 3125 l/h, lo que lo hace adecuado para un amplio rango de condiciones operativas domésticas. El diámetro nominal de estos contadores es DN15, estándar en la industria para este tipo de aplicaciones.

#### **3.2.2. Modelo de ultrasonido 1 (UT1)**

El UT1, con seis unidades ensayadas, emplea tecnología de ultrasonido, conocida por su alta precisión y mínima pérdida de carga. Con un ratio notable de 500, este contador muestra una sensibilidad mayor a los flujos bajos, con un Q1 de 5 l/h y Q2 de 8 l/h, lo que lo hace especialmente eficaz en la detección de pequeñas demandas de agua, un factor crítico en la

identificación de fugas o consumos mínimos. Su rango se extiende hasta Q4 de 3125 l/h, manteniendo la precisión en un espectro amplio de caudales.

### 3.2.3. Modelo de ultrasonido 2 (UT2)

El UT2 es otro ejemplo de la avanzada tecnología ultrasónica, con seis contadores sometidos a prueba. Este modelo tiene un ratio de 400 y es capaz de medir flujos que comienzan desde 6,3 l/h, indicativo de su capacidad para registrar consumos bajos con alta precisión. Con un Q3 de 2500 l/h y un Q4 de 3125 l/h, este contador se adapta eficientemente a variaciones significativas en el consumo de agua, sin comprometer la exactitud de las mediciones.

### 3.2.4. Modelo de ultrasonido 3 (UT3)

El modelo UT3, también con seis unidades evaluadas, destaca por su elevado ratio de 800. Este modelo ultrasonido es excepcional en su respuesta a flujos muy bajos, con un Q1 de 3,125 l/h y un Q2 de 5 l/h. Estas características lo posicionan como una excelente opción para aplicaciones donde se requiere la máxima precisión en el registro de consumos ínfimos de agua. Al igual que los otros contadores ultrasónicos, su rango llega hasta 3125 l/h en Q4, demostrando gran versatilidad operativa.

A continuación, se resumen la información de los contadores utilizados en el presente trabajo:

**Tabla 3** Características de funcionamiento de los contadores. Fuente: (Diferentes fabricantes).

Id	Nº contadores ensayados	Tecnología de medición	Ratio	Q1 (l/h)	Q2 (l/h)	Q3 (l/h)	Q4 (l/h)	Diámetro
MC	18	Chorro único-combinado	200	12,5	20	2500	3125	DN15
UT1	6	Ultrasonido	500	5	8	2500	3125	DN15
UT2	6	Ultrasonido	400	6,3	10	2500	3125	DN15
UT3	6	Ultrasonido	800	3,125	5	2500	3125	DN15



### **3.3. Rotación de contadores ultrasónicos por vivienda**

La metodología de rotación de contadores sólidos implementada en esta investigación desempeña un papel fundamental en la evaluación comparativa del rendimiento de los contadores de agua. En lugar de utilizar un contador estático para cada vivienda, se optó por un enfoque dinámico que involucra la rotación programada de contadores de estado sólido, manteniendo fijos los contadores mecánicos como referencia constante. Este esquema metodológico no solo permite un análisis detallado de las capacidades de medición de los dispositivos ultrasónicos en diversas condiciones residenciales, sino que también asegura que cada contador sea sometido a un espectro representativo de patrones de consumo.

El proceso se inició con la instalación de contadores mecánicos, los cuales se mantuvieron inalterados a lo largo del estudio para servir de comparación con los contadores sólidos ultrasónicos, que fueron trasladados entre distintas viviendas según un cronograma preestablecido. Esta rotación fue documentada rigurosamente, anotando las fechas y lecturas de cada contador en cada cambio. La consistencia y precisión de la recopilación de datos se mantuvieron como una prioridad en todo momento para garantizar la validez de los resultados del estudio.

El principal beneficio de esta técnica es la capacidad de capturar una imagen fidedigna de la fiabilidad y precisión de los contadores sólidos en un entorno de uso real y variado, además, permite la detección oportuna de cualquier discrepancia o anomalía en la medición que podría ser atribuida a factores específicos de la vivienda o del propio contador.

El esquema de rotación implementado fue diseñado teniendo en cuenta tanto la necesidad de obtener datos representativos como la logística operativa de la empresa encargada de la instalación. Las rotaciones se programaron en intervalos de entre 10 y 20 días, dependiendo de la disponibilidad de los trabajadores y de las necesidades específicas de cada vivienda. Esta

flexibilidad en el cronograma permitió adaptar el proceso a imprevistos o a necesidades particulares, como la accesibilidad de las viviendas o la disponibilidad de los residentes. Además, el período de rotación permitió que cada contador sólido registrara un conjunto variado de datos de consumo, capturando así una imagen más completa y fidedigna del rendimiento de cada dispositivo en diferentes condiciones de uso.

En la Tabla 4 se presenta un compendio detallado de las rotaciones efectuadas a lo largo del proceso de recopilación de datos. Este resumen incluye las fechas específicas en las que se realizaron los cambios de los contadores y los números de serie correspondientes a cada unidad que fue instalada. Este registro meticuloso proporciona una visión cronológica precisa de la secuencia de instalaciones, esencial para la integridad y la trazabilidad de los datos dentro del estudio.

**Tabla 4** Esquema de rotaciones de contadores. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	Contador Mecánico	1 Rotación		2 Rotación	3 Rotación
		26/10/2022	27/10/2022	07/11/2022	21/11/2022
GV. Germanías 29-5	P22AA808186	5839653	-	I22VA002453	5910547
GV. Germanías 29-6	P22AA808191	I22VA002453	-	5839653	5910577
GV. Germanías 29-9	P22AA808193	5910547	-	5910577	5839653
GV. Germanías 29-10	P22AA808188	5910577	-	5910547	I22VA002453
GV. Germanías 31-2a	P22AA808195	5910579	-	5910349	P22UA071197
GV. Germanías 31-3b	P22AA808203	5910349	-	5910579	P22UA071192
GV. Germanías 31-4a	P22AA808199	I22VA002447	-	I22VA002446	P22UA071190
GV. Germanías 31-5b	P22AA808192	P22UA071194	-	I22VA002448	I22VA002447
GV. Germanías 31-6a	P22AA808196	P22UA071197	-	P22UA071192	5910579
GV. Germanías 31-7a	P22AA808185	P22UA071192	-	P22UA071190	P22UA071194
GV. Germanías 31-7b	P22AA808200	I22VA002448	-	P22UA071194	I22VA002446
GV. Germanías 31-9b	P22AA808190	I22VA002446	-	I22VA002447	I22VA002448
GV. Germanías 31-10a	P22AA808197	P22UA071190	-	P22UA071197	5910349
GV. Germanías 49-1b	P22AA808194	-	I22VA002452	P22UA071196	I22VA002454
GV. Germanías 49-2a	P22AA808201	-	P22UA071191	I22VA002454	P22UA071196
GV. Germanías 49-13a	P22AA808202	-	I22VA002454	5910497	P22UA071191
GV. Germanías 49-14a	P22AA808198	-	5910497	P22UA071191	I22VA002452
GV. Germanías 49-20b	P22AA808184	-	P22UA071196	I22VA002452	5910497
GV. Germanías 35-3	P22AA808201	-	-	-	-
GV. Germanías 35-4	P22AA808198	-	-	-	-



GV. Germanías 35-6	P22AA808194	-	-	-	-
GV. Germanías 35-7	P22AA808202	-	-	-	-
GV. Germanías 35-8	P22AA808184	-	-	-	-
Dirección	Contador Mecánico	4 Rotación	5 Rotación	6 Rotación	
		30/11/2022	21/12/2022	10/01/2023	12/01/2023
GV. Germanías 29-5	P22AA808186	5910577	P22UA071191	P22UA071196	-
GV. Germanías 29-6	P22AA808191	5910547	I22VA002452	I22VA002454	-
GV. Germanías 29-9	P22AA808193	I22VA002453	I22VA002454	I22VA002452	-
GV. Germanías 29-10	P22AA808188	5839653	P22UA071196	P22UA071191	-
GV. Germanías 31-2a	P22AA808195	P22UA071190	I22VA002447	I22VA002446	-
GV. Germanías 31-3b	P22AA808203	I22VA002447	P22UA071190	P22UA071194	-
GV. Germanías 31-4a	P22AA808199	I22VA002448	P22UA071197	P22UA071192	-
GV. Germanías 31-5b	P22AA808192	P22UA071192	5910349	5910579	-
GV. Germanías 31-6a	P22AA808196	I22VA002446	I22VA002448	5910349	-
GV. Germanías 31-7a	P22AA808185	5910349	I22VA002446	P22UA071197	-
GV. Germanías 31-7b	P22AA808200	P22UA071197	5910579	I22VA002447	-
GV. Germanías 31-9b	P22AA808190	P22UA071194	P22UA071192	P22UA071190	-
GV. Germanías 31-10a	P22AA808197	5910579	P22UA071194	I22VA002448	-
GV. Germanías 49-1b	P22AA808194	P22UA071191	5910497	-	-
GV. Germanías 49-2a	P22AA808201	5910497	5910577	-	-
GV. Germanías 49-13a	P22AA808202	I22VA002452	5910547	-	-
GV. Germanías 49-14a	P22AA808198	P22UA071196	5839653	-	-
GV. Germanías 49-20b	P22AA808184	I22VA002454	I22VA002453	-	-
GV. Germanías 35-3	P22AA808201	-	-	-	5910497
GV. Germanías 35-4	P22AA808198	-	-	-	5910577
GV. Germanías 35-6	P22AA808194	-	-	-	5910547
GV. Germanías 35-7	P22AA808202	-	-	-	I22VA002453
GV. Germanías 35-8	P22AA808184	-	-	-	5839653
Dirección	Contador Mecánico	7 Rotación	8 Rotación	9 Rotación	10 Rotación
		24/01/2023	14/02/2023	28/02/2023	13/03/2023
GV. Germanías 29-5	P22AA808186	P22UA071192	5910579	I22VA002447	P22UA071190
GV. Germanías 29-6	P22AA808191	P22UA071190	P22UA071192	5910579	I22VA002447
GV. Germanías 29-9	P22AA808193	I22VA002447	P22UA071190	P22UA071192	5910579
GV. Germanías 29-10	P22AA808188	5910579	I22VA002447	P22UA071190	P22UA071192
GV. Germanías 31-2a	P22AA808195	5910497	5910577	P22UA071191	I22VA002452
GV. Germanías 31-3b	P22AA808203	5839653	I22VA002453	5910547	5910497
GV. Germanías 31-4a	P22AA808199	P22UA071196	5839653	I22VA002453	5910547
GV. Germanías 31-5b	P22AA808192	P22UA071191	I22VA002452	I22VA002454	P22UA071196
GV. Germanías 31-6a	P22AA808196	I22VA002453	5910547	5910497	5910577
GV. Germanías 31-7a	P22AA808185	5910577	P22UA071191	I22VA002452	I22VA002454
GV. Germanías 31-7b	P22AA808200	I22VA002452	I22VA002454	P22UA071196	5839653
GV. Germanías 31-9b	P22AA808190	I22VA002454	P22UA071196	5839653	I22VA002453



GV. Germanías 31-10a	P22AA808197	5910547	5910497	5910577	P22UA071191
GV. Germanías 49-1b	P22AA808194	-	-	-	-
GV. Germanías 49-2a	P22AA808201	-	-	-	-
GV. Germanías 49-13a	P22AA808202	-	-	-	-
GV. Germanías 49-14a	P22AA808198	-	-	-	-
GV. Germanías 49-20b	P22AA808184	-	-	-	-
GV. Germanías 35-3	P22AA808201	I22VA002446	P22UA071197	P22UA071194	5910349
GV. Germanías 35-4	P22AA808198	P22UA071197	P22UA071194	5910349	I22VA002448
GV. Germanías 35-6	P22AA808194	I22VA002448	I22VA002446	P22UA071197	P22UA071194
GV. Germanías 35-7	P22AA808202	5910349	I22VA002448	I22VA002446	P22UA071197
GV. Germanías 35-8	P22AA808184	P22UA071194	5910349	I22VA002448	I22VA002446
<b>Dirección</b>	<b>Contador Mecánico</b>	<b>11 Rotación 18/04/2023</b>	<b>12 Rotación 02/05/2023</b>	<b>13 Rotación 16/05/2023</b>	
GV. Germanías 29-5	P22AA808186	I22VA002448	I22VA002446	P22UA071194	
GV. Germanías 29-6	P22AA808191	5910349	I22VA002448	I22VA002446	
GV. Germanías 29-9	P22AA808193	P22UA071194	5910349	I22VA002448	
GV. Germanías 29-10	P22AA808188	I22VA002446	P22UA071194	5910349	
GV. Germanías 31-2a	P22AA808195	I22VA002453	5910547	5839653	
GV. Germanías 31-3b	P22AA808203	I22VA002454	P22UA071196	P22UA071197	
GV. Germanías 31-4a	P22AA808199	P22UA071191	I22VA002454	5910497	
GV. Germanías 31-5b	P22AA808192	5910577	P22UA071197	5910547	
GV. Germanías 31-6a	P22AA808196	P22UA071196	5839653	I22VA002454	
GV. Germanías 31-7a	P22AA808185	5910547	5910497	I22VA002453	
GV. Germanías 31-7b	P22AA808200	5910497	P22UA071191	5910577	
GV. Germanías 31-9b	P22AA808190	P22UA071197	5910577	P22UA071191	
GV. Germanías 31-10a	P22AA808197	5839653	I22VA002453	P22UA071196	
GV. Germanías 49-1b	P22AA808194	-	-	-	
GV. Germanías 49-2a	P22AA808201	-	-	-	
GV. Germanías 49-13a	P22AA808202	-	-	-	
GV. Germanías 49-14a	P22AA808198	-	-	-	
GV. Germanías 49-20b	P22AA808184	-	-	-	
GV. Germanías 35-3	P22AA808201	I22VA002447	P22UA071190	I22VA002452	
GV. Germanías 35-4	P22AA808198	P22UA071190	I22VA002452	P22UA071192	
GV. Germanías 35-6	P22AA808194	5910579	I22VA002447	P22UA071190	
GV. Germanías 35-7	P22AA808202	P22UA071192	5910579	I22VA002447	
GV. Germanías 35-8	P22AA808184	I22VA002452	P22UA071192	5910579	



### 3.4. Lectura de contadores

Este apartado de la metodología se centra en el proceso de recopilación de datos de los contadores de agua, tanto mecánicos como ultrasónicos, un paso esencial para la fiabilidad y exactitud del estudio. La recopilación de datos precisa y sistemática es clave para una evaluación efectiva del rendimiento y la precisión de los contadores en entornos residenciales.

En colaboración con un técnico de Emivasa, se llevó a cabo la rotación y lectura de los contadores. Esta cooperación aseguró que las operaciones se realizaran siguiendo procedimientos estándar del sector. Durante estas visitas, se registraban primero las lecturas de los contadores mecánicos fijos y de los contadores ultrasónicos rotativos, antes de proceder a su rotación. Este paso era crucial para obtener datos comparativos de ambos tipos de contadores en idénticas condiciones de uso.

Después de cada sesión de lectura, se procedía a ingresar los datos en una hoja de cálculo de Excel. Esta tarea incluía la documentación de detalles como el número de serie de cada contador, la fecha de lectura y el volumen de agua registrado. El registro ordenado y completo en Excel era vital para el análisis posterior, permitiendo un cálculo preciso de las diferencias entre las mediciones de los distintos contadores.

Se complementó el estudio con un sistema de telelectura vía radio (Ver Figura 10) para los contadores mecánicos. Este enfoque proporcionó datos de consumo con detalle horario, lo que aportó una dimensión adicional al conjunto de datos del estudio. La información recogida se incorporó igualmente en Excel, lo que permitió una gestión eficaz de los datos y su análisis posterior.



**Figura 11** Red y dispositivo de telelectura vía radio. Fuente: (Elaboración propia).

Este proceso de recopilación de datos es crucial en nuestra investigación, ya que proporciona los fundamentos necesarios para un análisis detallado del rendimiento de los contadores. La precisión en la recolección de datos es fundamental, ya que garantiza que los análisis y conclusiones del estudio se basen en información fiable y representativa.

### **3.5. Obtención de las curvas de errores de los contadores mecánicos**

La medición precisa de las curvas de error en contadores de agua es un aspecto crucial para garantizar la fiabilidad y exactitud en la medición del consumo de agua. Este proceso se lleva a cabo en laboratorios especializados, donde se simulan condiciones reales de uso para evaluar el rendimiento de los contadores bajo diferentes rangos de flujo. El objetivo es identificar cualquier discrepancia entre el volumen de agua realmente pasado a través del contador y el volumen registrado por el mismo. Este proceso no solo ayuda en el control de calidad de los contadores, sino que también es fundamental para la gestión eficiente de los recursos hídricos.

En el contexto de nuestra tesis, se llevaron a cabo una serie de ensayos en el laboratorio de GOlab (Ver Figura 12), que cuenta con la tecnología adecuada para realizar dichas pruebas. Es importante destacar que, debido a la falta de acoplamientos específicos para los contadores

ultrasónicos que teníamos disponibles para nuestras pruebas de campo, solo pudimos realizar ensayos en laboratorio en relación con las curvas de error de los contadores mecánicos.

A continuación, se detalla el proceso que llevamos a cabo en el laboratorio para obtener estas curvas de error.



**Figura 12** Banco de ensayos de contadores de agua en GOlab. Fuente: (GOlab, s.f.)

### 3.5.1. Proceso Detallado de Medición de las Curvas de Error

- Preparación y Calibración de Equipos:

Antes de iniciar las pruebas, se realiza una revisión exhaustiva de todos los equipos. Esto incluye la calibración de las balanzas utilizadas para medir el peso del agua, que es crítico para determinar el volumen exacto. Los instrumentos de medición de flujo también se calibran usando patrones de referencia.



Se verifica que el sistema de tuberías y conexiones esté libre de fugas y que mantenga una presión constante, ya que variaciones en la presión pueden afectar la precisión del contador.

- Instalación en el Banco de Pruebas:

Los contadores seleccionados se instalan en un banco de pruebas diseñado para simular las condiciones reales de funcionamiento. Durante la instalación, se presta especial atención a la alineación y nivelación para garantizar mediciones precisas.

- Ejecución de las Pruebas:

Las pruebas se realizan en un rango de flujos que va desde caudales muy bajos, típicos de un grifo goteando, hasta flujos altos, como los de una conexión principal en horas punta. Los caudales de ensayo para todos los contadores son los siguientes: 13.1 l/h, 21 l/h, 750 l/h, 2375 l/h y 3031 l/h.

En cada prueba, se registra el volumen de agua indicado por el contador y se compara con el volumen medido directamente (a través del peso). Se utilizan métodos de medición de alta precisión, en concreto, balanzas electrónicas, para garantizar la exactitud del volumen medido.

- Recolección y Análisis Detallado de Datos:

Los datos de cada prueba se registran meticulosamente. Esto incluye no solo los volúmenes medidos y registrados, sino también variables como la temperatura del agua, la presión en el sistema y la duración de cada prueba.

Se utiliza un análisis estadístico para evaluar los resultados, calculando el error porcentual y la desviación estándar para cada rango de flujo.

- Generación de Curvas de Error y Análisis Gráfico:

Con los datos recopilados, se construyen gráficas que muestran la relación entre el flujo y el error de medición para cada contador. Esto permite visualizar cómo el rendimiento del contador

varía con diferentes condiciones de flujo. En el apartado de Resultados y análisis se pueden observar cada una de las curvas de error obtenidas para cada contador mecánico.

### **3.6. Determinación del patrón de consumo**

Para comenzar el análisis del patrón de consumo de agua y realizar el correspondiente histograma de distribución de caudales, es imprescindible contar con datos detallados de consumo para diversos rangos de caudal. Estos datos han sido recopilados a través de un sistema de telelectura aplicado a contadores mecánicos, los cuales están instalados en cada vivienda objeto de estudio. Dichos dispositivos capturan y registran el volumen de agua acumulado, con actualizaciones horarias, y categorizan el caudal en trece rangos distintos, expresados en litros por hora (l/h): T1 (0-5), T2 (5-12.5), hasta el T12 (3120 en adelante).

La meticulosa recolección de datos es crucial, ya que cada medición refleja las variaciones en el uso del agua dentro de un hogar a lo largo del tiempo. Esta metodología permite un mapeo preciso de las fluctuaciones de consumo, abarcando desde picos de alta demanda hasta los momentos de mínima actividad.

Posteriormente, utilizando herramientas como Excel, se calcula un promedio de los volúmenes registrados en cada rango de caudal durante el período de estudio para cada contador. Con estos promedios, determinamos la contribución porcentual de cada rango al volumen total consumido. Esto nos brinda un perfil porcentual del consumo, que facilita el cálculo de estadísticas como el error global y nos ofrece una interpretación más clara del comportamiento de consumo de agua en la muestra estudiada.

Un ejemplo de este patrón de consumo se ilustra en la Figura 7, donde se representa el perfil típico de uso de agua en una vivienda. Es importante señalar que la obtención de estos patrones de consumo es un proceso complejo, y existen metodologías específicas para su cálculo preciso. Sin embargo, para los propósitos de esta tesis, se han utilizado los rangos de consumo

y los volúmenes registrados por el contador mecánico, lo cual, aunque simplifica el proceso, ofrece una aproximación válida para el análisis requerido.

### **3.6.1. Consumo diario**

Una vez que obtuvimos los datos diarios de consumo de todas las viviendas en nuestra muestra, llevamos a cabo un proceso de cálculo para determinar el promedio de estos valores en cada espacio habitacional. Esta estrategia de premediación nos permitió obtener un indicador representativo y consolidado del consumo promedio diario de agua en cada uno de los lugares que estábamos investigando.

El análisis de los consumos promedio diarios de agua por vivienda podría por ejemplo revelar variaciones considerables en el consumo de agua. Esta variabilidad puede atribuirse a una serie de factores diversos, como el tamaño de la vivienda, el número de ocupantes, los hábitos de uso del agua y la eficiencia de los accesorios y electrodomésticos instalados en cada hogar. Cada uno de estos elementos puede influir significativamente en la cantidad de agua que se consume en una vivienda determinada.

Por ejemplo, una vivienda más grande con más habitantes probablemente tenga un consumo promedio diario de agua mayor en comparación con una vivienda más pequeña con menos ocupantes. Además, los hábitos de consumo, como la duración de las duchas, la frecuencia de lavado de ropa y la cantidad de veces que se utilizan los grifos, pueden variar ampliamente de un hogar a otro y, por lo tanto, afectar el consumo promedio diario de agua.

Asimismo, la eficiencia de los accesorios y electrodomésticos, como grifos de bajo flujo, inodoros de doble descarga o lavadoras eficientes en el uso del agua, puede contribuir significativamente a la reducción del consumo de agua en una vivienda. Por lo tanto, estos factores juegan un papel crucial en la comprensión de la variabilidad en el consumo promedio



diario de agua entre diferentes viviendas y son fundamentales para diseñar estrategias de gestión eficiente del recurso hídrico.

### **3.6.2. Curva de modulación**

Estas curvas son fundamentales para entender el comportamiento del consumo de agua en una dimensión temporal a lo largo del día. Inicialmente, los datos de consumo se recopilan de manera continua a lo largo de un periodo determinado, utilizando la telelectura de contadores mecánicos en cada vivienda. Estos datos recogidos reflejan el volumen de agua consumido en intervalos horarios durante cada día. El primer paso consiste en la agregación de estos datos horarios a lo largo de todos los días del periodo de estudio para cada vivienda, lo que resulta en una serie temporal de consumo para cada hora del día.

A continuación, calculamos el promedio de consumo para cada una de las 24 horas, sumando los volúmenes horarios y dividiéndolos por el número de días de estudio. Este promedio horario ofrece una perspectiva representativa del consumo típico en cada hora, minimizando las fluctuaciones atípicas y resaltando las tendencias subyacentes.

El paso siguiente es determinar los máximos horarios de consumo. Para cada hora del día, identificamos el valor máximo registrado, que nos indica los picos de consumo y nos ayuda a comprender las horas de mayor demanda de agua.

Para construir las curvas de modulación adimensionales, cada valor de consumo horario se divide por el consumo medio horario de la muestra total. Esto normaliza los datos, creando una base de comparación uniforme entre todas las viviendas, independientemente de sus diferencias en tamaño o número de ocupantes. La curva resultante muestra cómo el consumo en cada hora se compara con el promedio, proporcionando una visión clara de cuándo el consumo es inusualmente alto o bajo.



El resultado es una serie de curvas que representan el consumo de agua de manera dinámica a lo largo del día para cada vivienda. Estas curvas son una herramienta analítica poderosa para la parte metodológica de la tesis, ya que ofrecen una comprensión más matizada de los patrones de consumo y permiten identificar posibles áreas para la intervención y la mejora de la eficiencia en el uso del agua.

### **3.7. Cálculo de errores**

#### **3.7.1. Error global de contadores mecánicos**

Una vez que tengamos información sobre cómo los usuarios consumen agua (Patrón de consumo) y conocemos la precisión de los medidores instalados, a través de la curva de error, podemos determinar el porcentaje real de consumo que estos medidores registran. Este proceso implica asignar un valor ponderado al porcentaje de consumo registrado en rangos específicos, considerando la precisión de medición obtenida en pruebas realizadas en los medidores correspondientes a esos mismos rangos de consumo.

Para este efecto, la ponderación se lleva a cabo multiplicando el porcentaje de consumo de cada rango por el error de medición correspondiente a ese mismo rango. Para tal hecho, se tiene las siguientes consideraciones:

- Se supone un error de medición del -15% para caudales de 6 l/h, esto tomado como referencia el Modelo 2 de la Figura 16 en la tesis llamada “Evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos” (Colado, 2012), ya que cuentan con características metrológicas iguales a la del contador mecánico en cuestión.
- Para el análisis en la curva de error, se toma el promedio entre los dos caudales de cada rango.
- Se hayan los valores intermedios necesarios a través de una interpolación lineal.

- El porcentaje de consumo en T1 se añadirá a T2 para ser ponderado junto con su respectivo error en la curva. Esto se debe a que no tenemos información sobre el caudal de arranque, y hacer suposiciones en este sentido sería poco precisa.

Una vez se tiene en cuenta estas consideraciones, procedemos a calcular el error global de la siguiente manera:

$$Error\ global(\%) = ER_1 * RT1 + ER_2 * RT2 + ER_x * RTx \dots$$

Donde  $ER_1$ ,  $ER_2$ ,  $ER_x$  y demás, son los errores de la curva de error para cada valor de caudal, y  $RT_1$ ,  $RT_2$ ,  $RT_x$  y demás, son los promedios del caudal de cada uno de los rangos del patrón de consumo.

### 3.7.2. Error de lectura entre el contador mecánico y contador de estado solido

Una vez que se han recopilado las lecturas tomadas en el campo para los contadores mecánicos y ultrasónicos, se inicia el proceso de cálculo del error que existe entre ellas. Este error se determina mediante una fórmula que compara el volumen registrado por el contador ultrasónico (también conocido como contador estático) con el volumen registrado por el contador mecánico. La fórmula utilizada para calcular el error de lectura en porcentaje se expresa de la siguiente manera:

$$Error\ lectura\ (\%) = \frac{Vol.\ Estático\ (l) - Vol.\ Mecánico\ (l)}{Vol.\ Mecánico\ (l)}$$

En esta ecuación, el "Volumen Estático" representa la cantidad de agua medida por el contador ultrasónico, mientras que el "Volumen Mecánico" refleja la cantidad de agua registrada por el contador mecánico. El resultado de esta operación proporciona una medida del error relativo en porcentaje entre los dos tipos de contadores.



Este enfoque permite identificar con precisión cuánta agua se registra de más (lo que se conoce como un error positivo) o cuánta agua se registra de menos (un error negativo) por parte de los contadores estáticos en comparación con los contadores mecánicos.

#### **4. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En un conjunto de contadores en buen estado, se ha observado que el error de medición total se mantiene igual o por debajo del 5% (Cabrera & Cabrera, 2009). En términos generales, es común que los contadores tiendan a subcontar el consumo de los usuarios, lo que beneficia a estos últimos al reducir sus costos asociados al consumo de agua. Sin embargo, esta situación perjudica a la empresa suministradora, que debe asumir los costos relacionados con el subcontaje. También puede ocurrir lo contrario, dependiendo de factores como la tecnología del contador, el comportamiento de consumo y la infraestructura de la red.

Por lo tanto, resulta esencial comprender cómo se comportan las nuevas tecnologías de contadores, como los ultrasónicos, en comparación con los modelos más convencionales, como los contadores mecánicos. Este análisis se centra principalmente en la evaluación de errores de lectura entre las diferentes tecnologías, con el propósito de determinar cuál de ellas ofrece una lectura más precisa. Además, se examinan las implicaciones económicas de estos cambios, considerando tanto los costos de adquisición e instalación de los equipos como el retorno de inversión derivado del consumo de los usuarios.

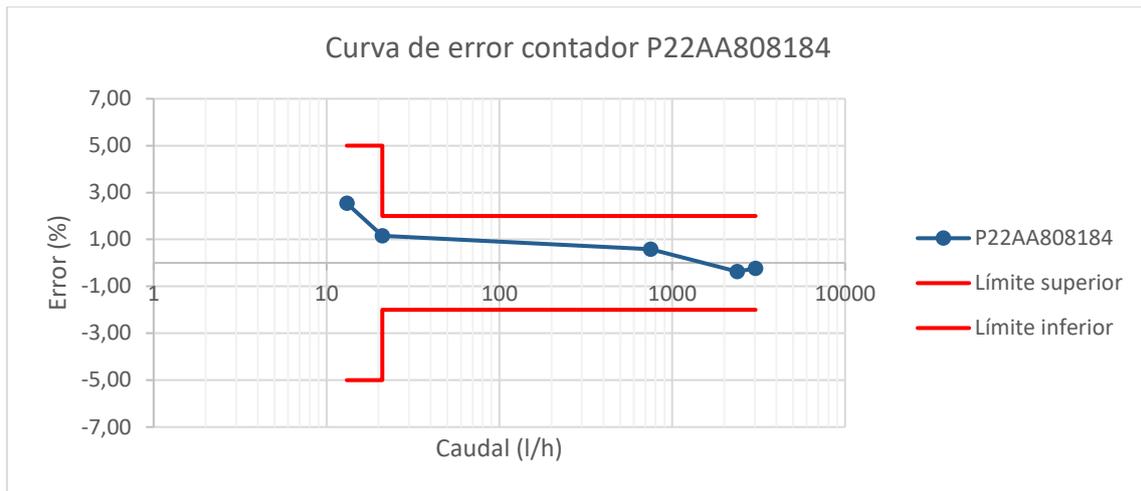
Si las nuevas tecnologías mostraran una tendencia al subcontaje, podría generar dudas sobre la conveniencia de realizar la transición, ya que implicaría pérdidas en términos de facturación y un menor retorno de inversión. No obstante, la decisión de adoptar estas tecnologías dependerá de cada empresa proveedora de servicios.

A continuación, se presentan los resultados clave de la investigación, que abarcan desde los consumos promedio de los usuarios y sus patrones de consumo hasta una comparación de los errores de medición entre las dos tecnologías estudiadas.

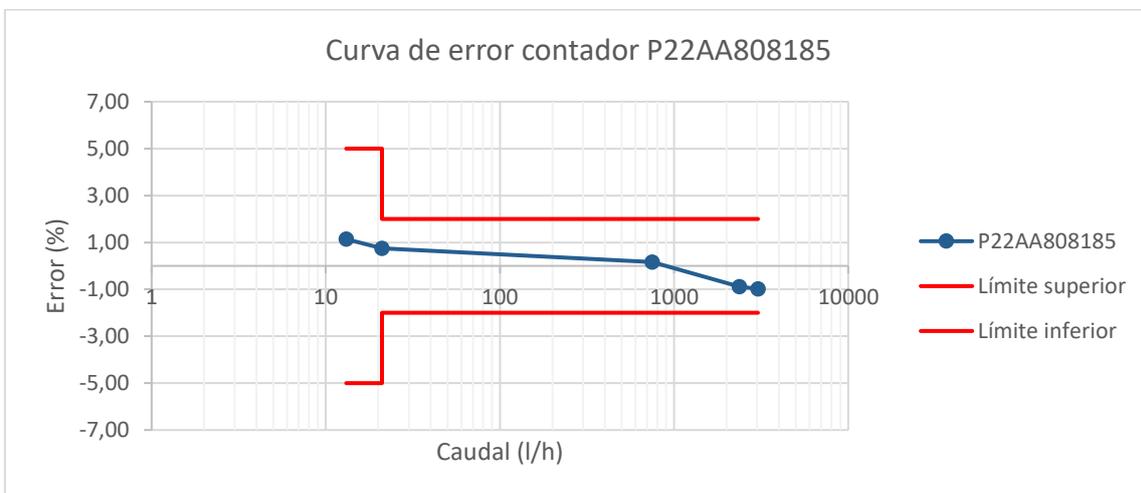
#### **4.1. Curvas de error de contadores mecánicos obtenidas en laboratorio**

En este apartado se presentan las curvas de error para una serie de contadores mecánicos (Gráficas 1 a 19), específicamente dieciocho, cuyos ensayos en laboratorio han sido meticulosamente documentados. Los gráficos proporcionados, ilustran de manera clara y concisa el comportamiento de estos dispositivos en un espectro de caudales muy amplio, simulando tanto caudales bajos como caudales altos que se puedan presentar normalmente en un contexto urbano. Esta gama de caudales no solo simula las condiciones reales de consumo en entornos residenciales y comerciales, sino que también pone a prueba la capacidad de los contadores de mantener su precisión en condiciones extremas de uso.

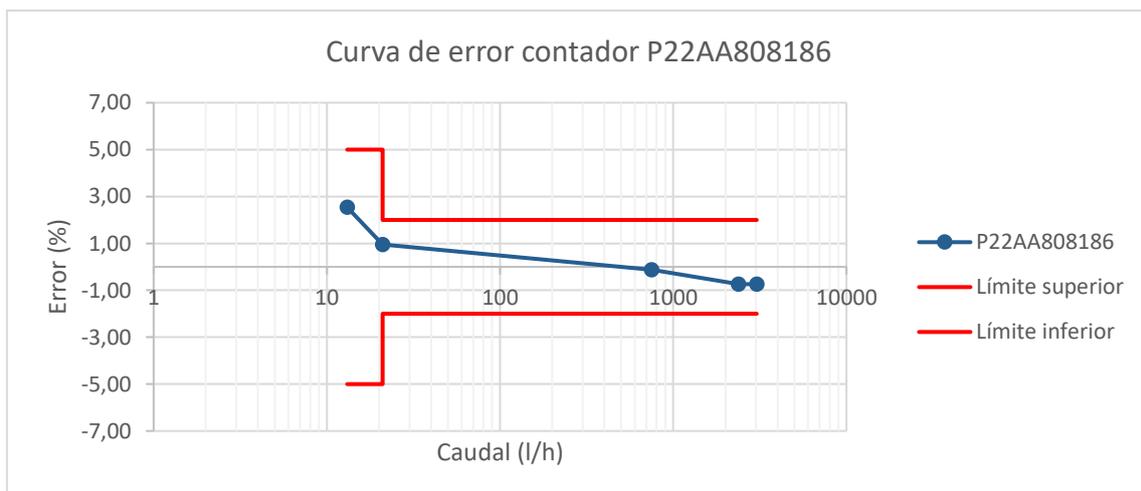
Los límites superior e inferior marcados en rojo, que definen la aceptabilidad del error de medición, son los valores límite determinados en la normativa UNE-EN ISO 4064. El hecho de que todos los contadores evaluados se mantuvieran dentro de estos límites a lo largo de la mayoría del rango de caudales es un testimonio de su rendimiento y fiabilidad generales. No obstante, es crucial señalar las zonas donde el error fluctúa con mayor variabilidad, especialmente en los extremos del rango de caudal. Estas zonas, que a menudo son pasadas por alto en aplicaciones prácticas, pueden tener implicaciones significativas para la precisión de la facturación y la gestión del consumo de agua.



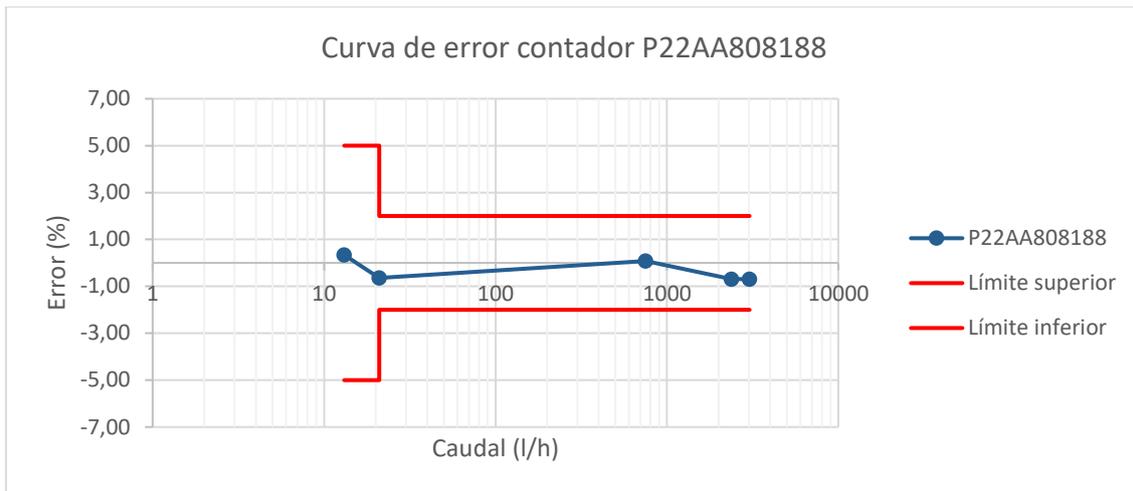
**Gráfica 1** Curva de error contador P22AA808184. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



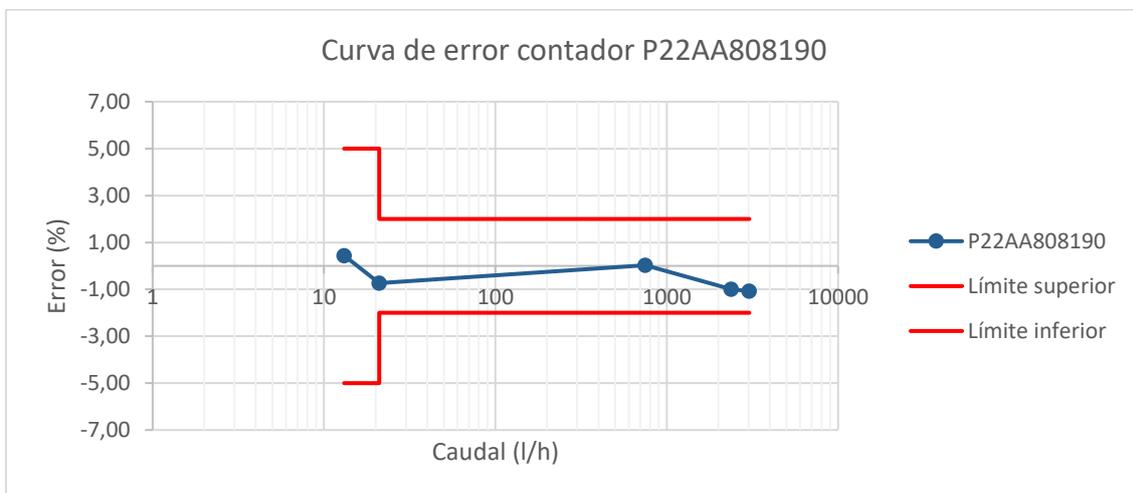
**Gráfica 2** Curva de error contador P22AA808185. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



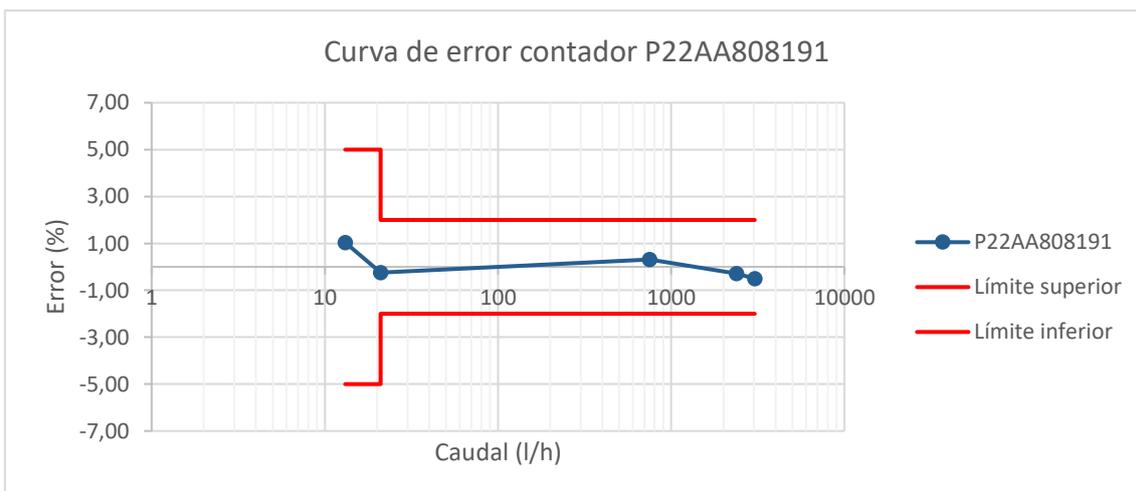
**Gráfica 3** Curva de error contador P22AA808186. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



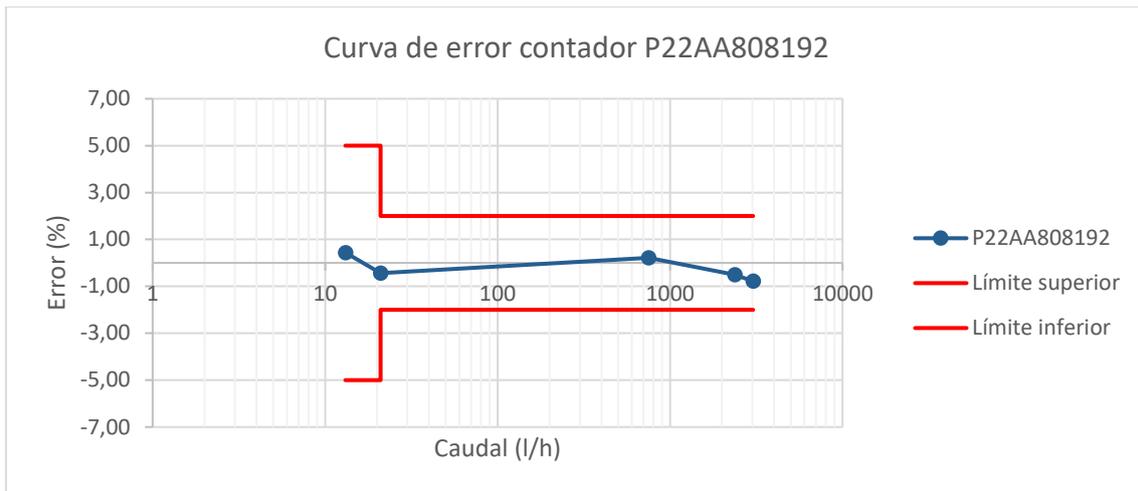
**Gráfica 4** Curva de error contador P22AA808188. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



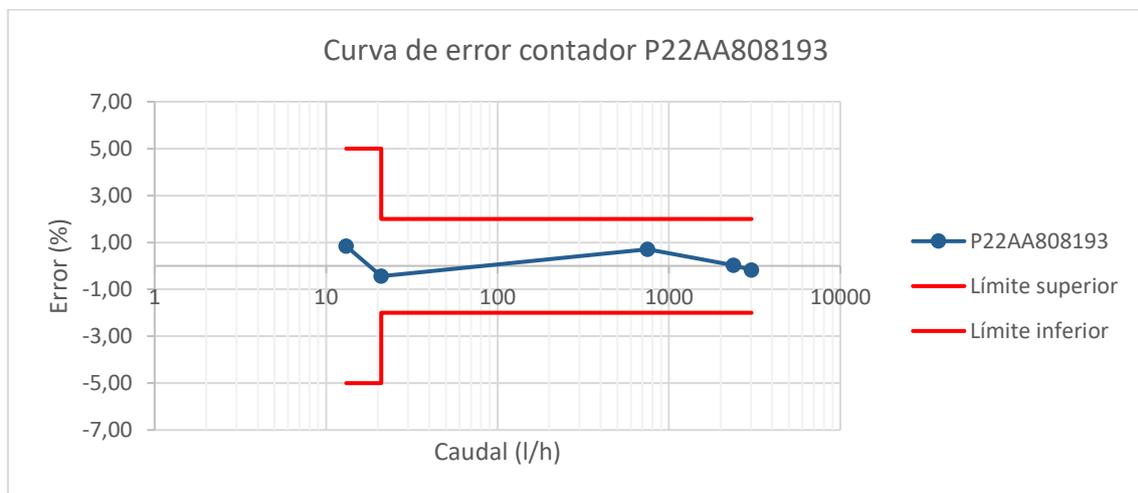
**Gráfica 5** Curva de error contador P22AA808190. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



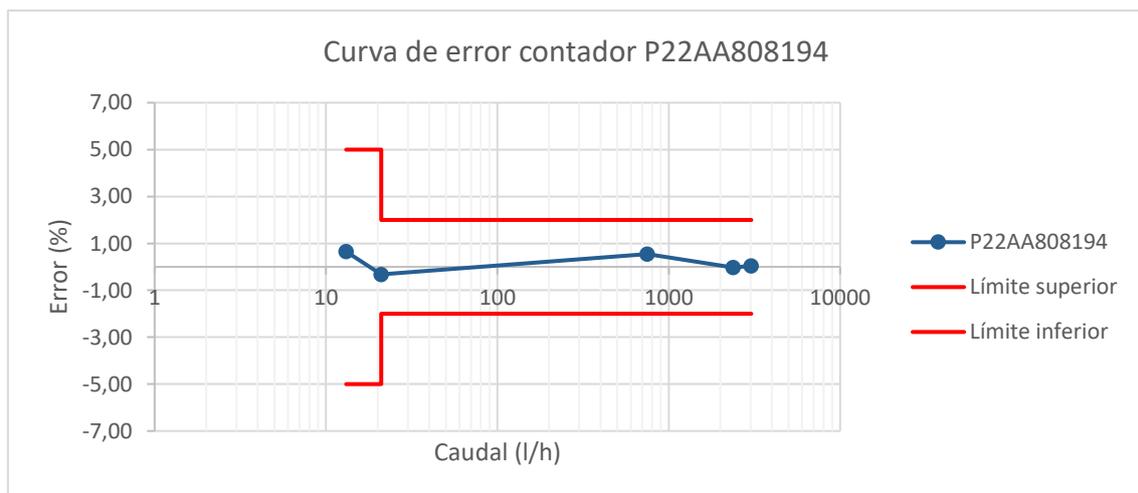
**Gráfica 6** Curva de error contador P22AA808191. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



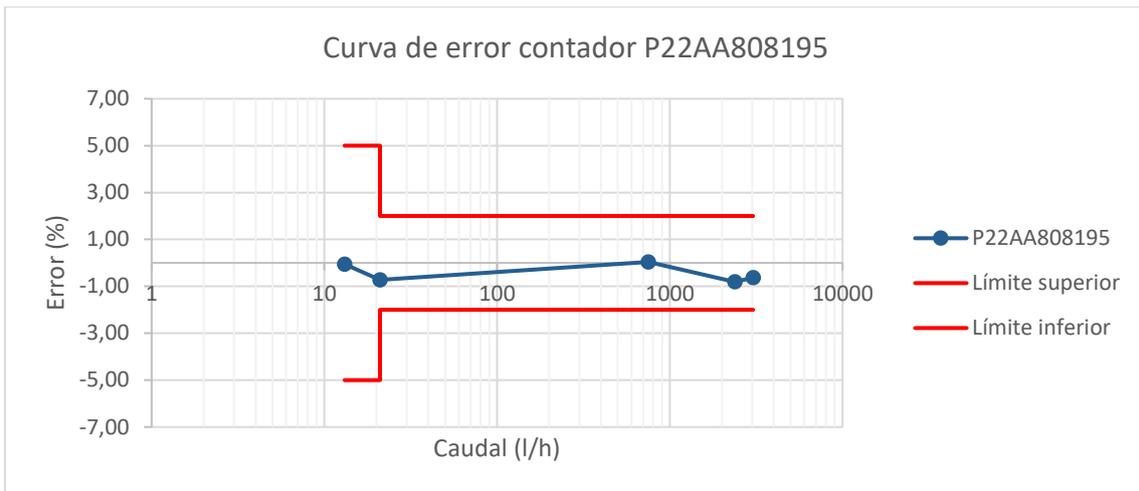
**Gráfica 7** Curva de error contador P22AA808192. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



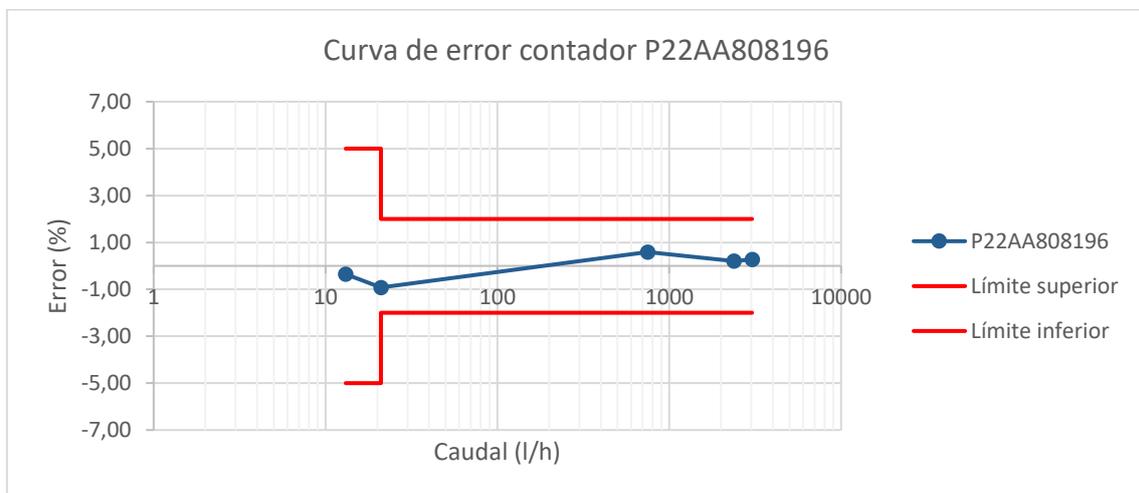
**Gráfica 8** Curva de error contador P22AA808193. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



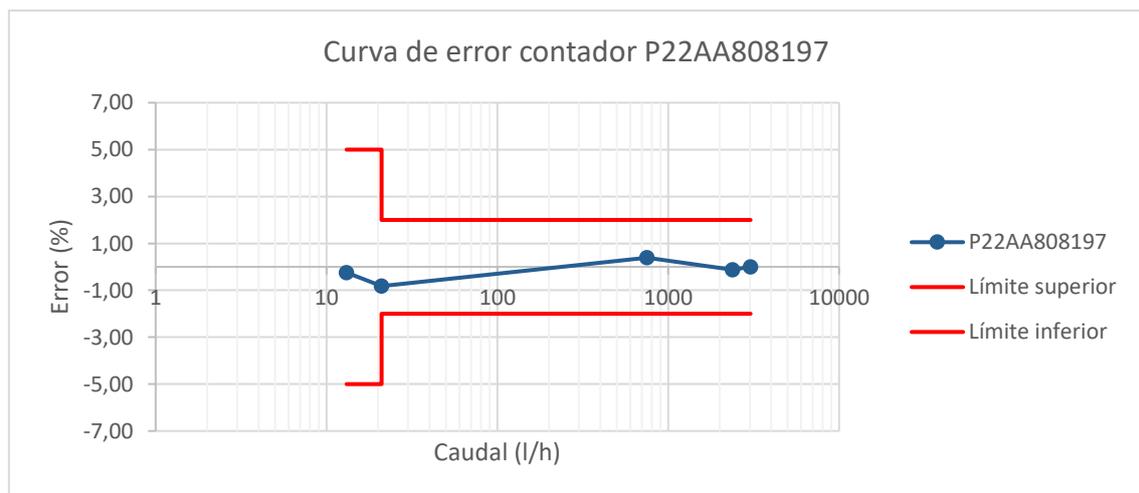
**Gráfica 9** Curva de error contador P22AA808194. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



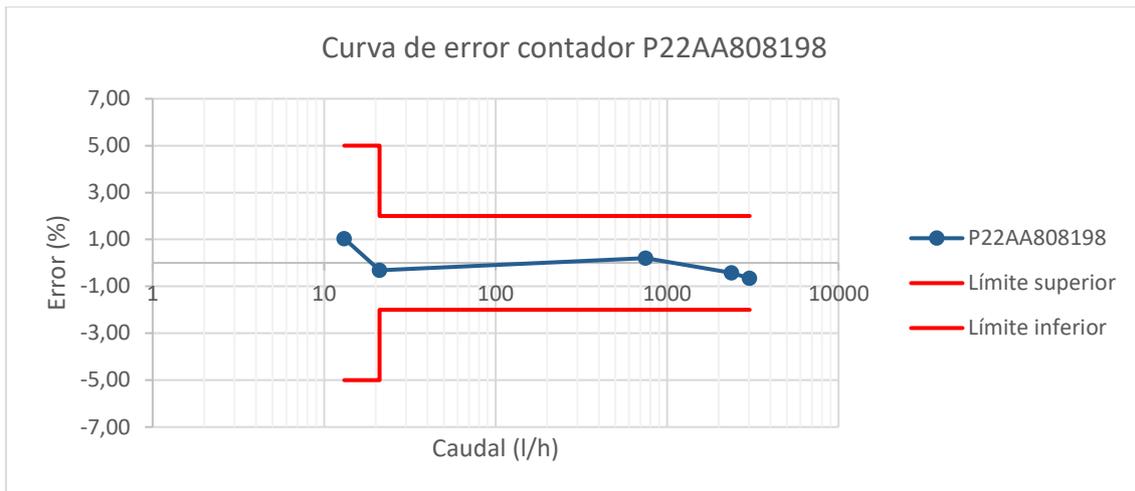
**Gráfica 10** Curva de error contador P22AA808195. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



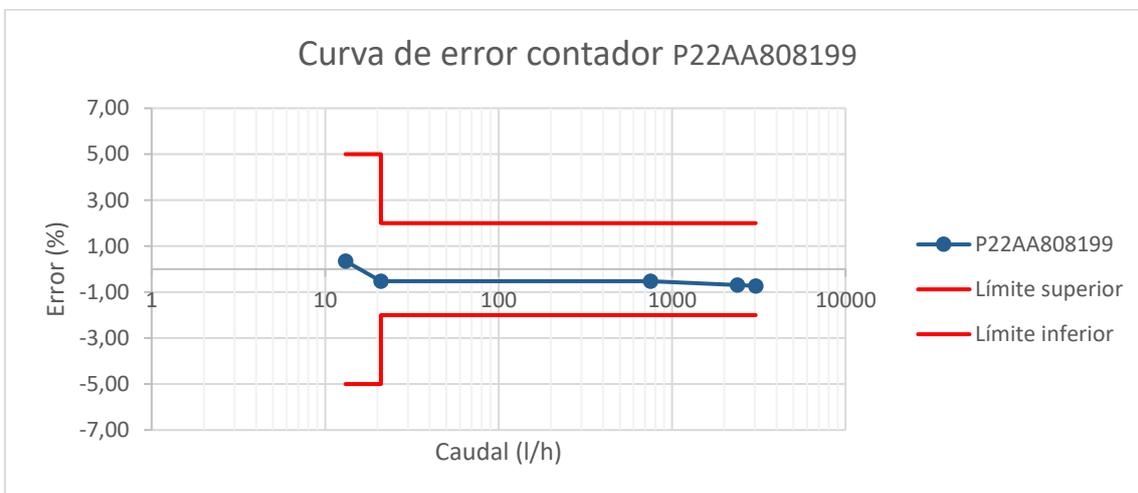
**Gráfica 11** Curva de error contador P22AA808196. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



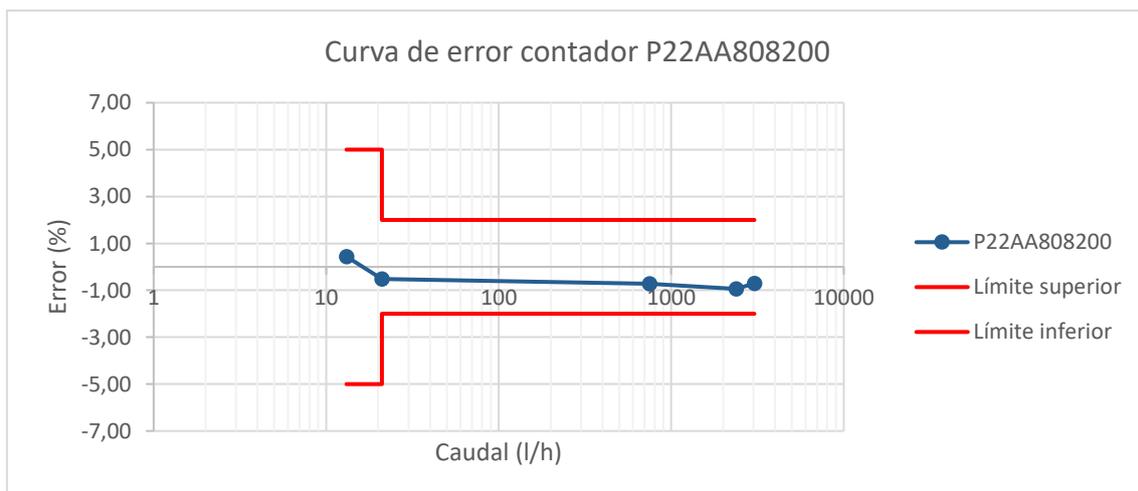
**Gráfica 12** Curva de error contador P22AA808197. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



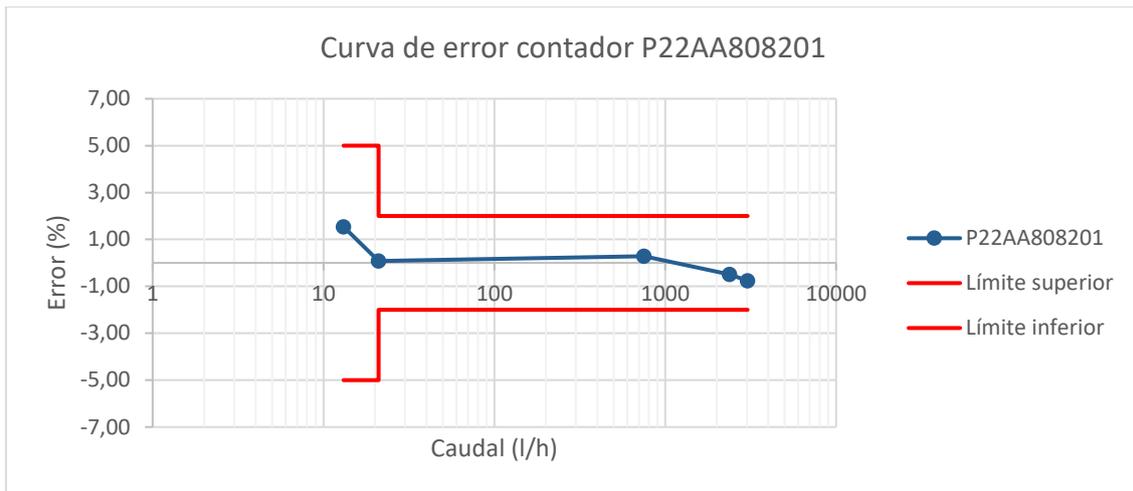
**Gráfica 13** Curva de error contador P22AA808198. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



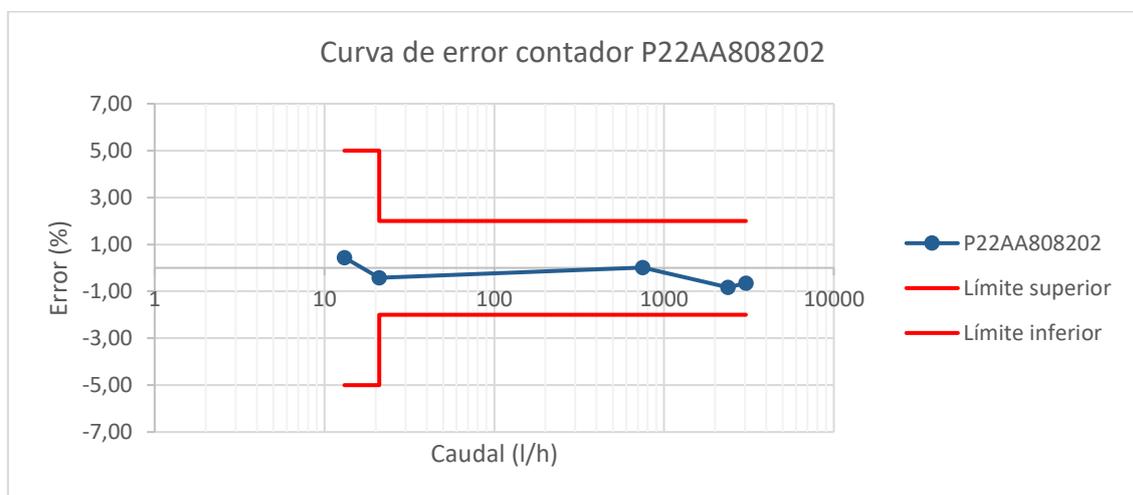
**Gráfica 14** Curva de error contador P22AA808199. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



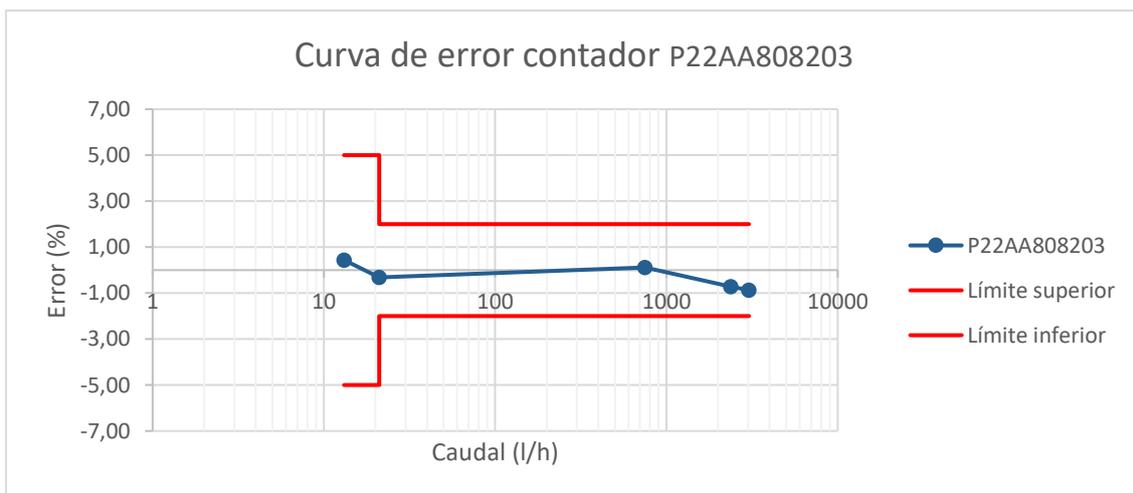
**Gráfica 15** Curva de error contador P22AA808200. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



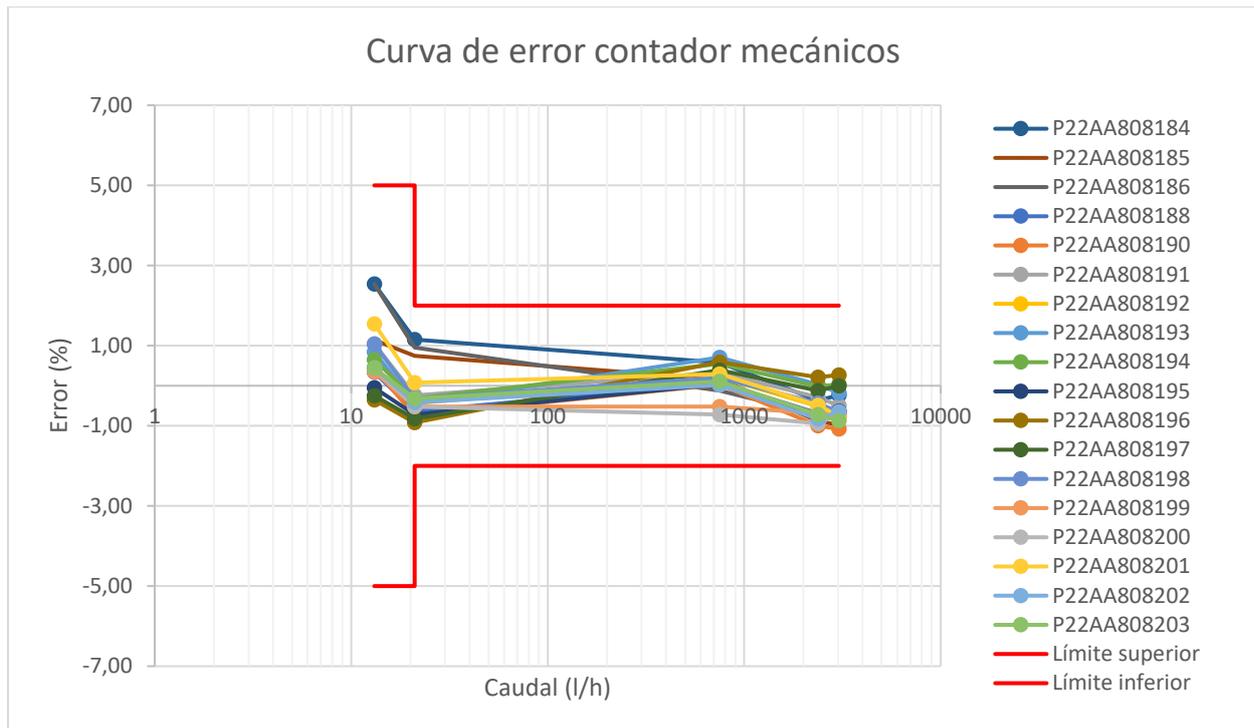
**Gráfica 16** Curva de error contador P22AA808201. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



**Gráfica 17** Curva de error contador P22AA808202. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



**Gráfica 18** Curva de error contador P22AA808203. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOlab).



**Gráfica 19** Curva de error contadores mecánicos. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOLab).

La interpretación de los datos recogidos de las curvas de error de los contadores mecánicos (Gráficas 1 al 18) revela patrones complejos que reflejan la naturaleza intrínseca de estos dispositivos. Las curvas, representadas por la línea azul en los gráficos, muestran variaciones que reflejan un aumento o disminución del error porcentual en relación con el caudal. A menudo, esta tendencia muestra una aproximación a 0%, lo que indica un desempeño óptimo y una precisión deseada en la medición del flujo de agua.

Un punto importante para resaltar es que para los ensayos realizados no se tuvo en cuenta el caudal de arranque de los contadores, por lo cual, como se explicó anteriormente, se hace una estimación de un error del -15% para un valor de 6l/h, para luego poder interpolar los valores necesarios para cálculos posteriores.

En los rangos de caudal más bajos, específicamente entre 13.1 l/h y 21 l/h — lo que en la Figura 6 se denomina como "zona inferior" —, se observa una disminución en la línea de error. Este decrecimiento se mueve desde una región de sobrecontaje, generalmente por encima del 1%, hacia un subcontaje o valores próximos a 0%. Este fenómeno puede estar influenciado por la



dinámica de los componentes mecánicos, que pueden ser menos sensibles a flujos más reducidos, una característica típica de los contadores mecánicos debido a factores como la inercia y el diseño interno de los sistemas de medición. Al igual, podemos observar como en las Gráficas 1 al 3, el sobrecontaje es mucho más notorio en esa primera parte, pudiendo influenciar notoriamente en las lecturas a caudales bajos y más en presencias de fugas en la red, por ejemplo. Esto puede deberse al proceso de fabricación posiblemente o algo que aumente la velocidad del flujo en la entrada del contador.

El análisis posterior indica una corrección del error a medida que el caudal aumenta, oscilando los valores de error alrededor de cero, tanto en el espectro positivo como negativo. Es notable que alrededor de un caudal de 750 l/h, los errores tienden a estabilizarse cercanos a cero. Esta observación es relevante, ya que el caudal de 750 l/h se alinea con los promedios de consumo doméstico, que comúnmente varían entre 10 y 20 litros por minuto (600 - 1200 l/h) y un poco menores a este valor. Esta coincidencia sugiere que los contadores están optimizados para rendir con mayor precisión en los rangos de consumo típicos de un hogar.

En cuanto a los caudales más elevados, las curvas de error tienden a mostrar una disminución, situándose nuevamente en zonas de subcontaje, a menudo cercanas a un valor de -1%. Este patrón indica un cambio significativo en el comportamiento de los contadores a altos flujos, lo cual puede tener implicaciones importantes para la medición precisa en situaciones de alto consumo de agua.

Al analizar la consistencia en los patrones de error entre los diferentes contadores en la Gráfica 19, se observa una uniformidad que sugiere un estándar de fabricación constante y una previsibilidad en el rendimiento de los dispositivos al menos en la mayoría de los contadores ensayaos, salvo los número de serie P22AA808184 (Gráfica 1), P22AA808185 (Gráfica 2) y P22AA808186 (Gráfica 3) que muestran un claro comportamiento diferentes en los rangos de



caudales bajos como se mencionó anteriormente, pero que a caudales medios y altos, su comportamiento se asemeja a los demás. Por otro lado, los contadores P22AA808200 (Gráfica 15) y P22AA808199 (Gráfica 14) tienen comportamientos bastantes diferentes a los demás en los caudales medios entre 200 y 1000 l/h aproximadamente -que es justo donde normalmente se tiene el mayor consumo de agua en casa- marcado por un claro subcontaje en la medición respecto a los demás contadores ensayados, siendo esto un dato importante para tener en cuenta. Por último, es importante considerar cómo esta uniformidad se traduce en el uso diario y cómo pequeñas discrepancias pueden acumularse a lo largo del tiempo, afectando tanto a usuarios como a proveedores.

## **4.2. Pautas de consumo**

### **4.2.1. Consumo de agua diario**

A partir de los datos de consumo diario obtenidos de los contadores mecánicos mediante las telelecturas, se procede a realizar un promedio de estos datos con el fin de determinar el consumo medio en cada unidad donde están instalados dichos contadores. Este paso es esencial para obtener una visión más completa y representativa de cómo se comporta el consumo de agua en cada unidad individualmente.

El cálculo del consumo medio ofrece una medida central que refleja el uso típico de agua en cada una de las unidades. Al tener estos valores promedio a nuestra disposición, podemos realizar un análisis inicial para identificar patrones de consumo habituales. Este análisis nos proporciona información valiosa sobre las tendencias generales de consumo en las unidades y nos ayuda a detectar posibles comportamientos atípicos o anómalos que requieren una atención más detallada.

En la Tabla 5 puede observarse el resumen de los consumos diarios para cada unidad de vivienda.

**Tabla 5** Consumo promedio diario en litros. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	Consumo promedio diario (l)
GV. Germanías 29-5	286,06
GV. Germanías 29-6	210,41
GV. Germanías 29-9	317,73
GV. Germanías 29-10	333,21
GV. Germanías 31-2a	116,30
GV. Germanías 31-3b	108,02
GV. Germanías 31-4a	240,65
GV. Germanías 31-5b	290,67
GV. Germanías 31-6a	91,93
GV. Germanías 31-7a	310,13
GV. Germanías 31-7b	45,28
GV. Germanías 31-9b	22,55
GV. Germanías 31-10a	40,86
GV. Germanías 49-1b	411,58
GV. Germanías 49-2a	1075,80
GV. Germanías 49-13a	602,50
GV. Germanías 49-14a	294,13
GV. Germanías 49-20b	504,07
GV. Germanías 35-3	198,48
GV. Germanías 35-4	85,26
GV. Germanías 35-6	192,13
GV. Germanías 35-7	157,40
GV. Germanías 35-8	0,01

Para la vivienda con la dirección GV. Germanías 49-2a, se observa un consumo particularmente alto de 1075,80 litros por día. Este consumo podría verse influenciado en parte, en el hecho que este contador está instalado en una vivienda en donde se unieron dos apartamentos diferentes, por lo cual, el consumo general debe ser mucho más alto que el promedio debido al número de aparatos instalados, además, puede deberse también a la cantidad de personas en el piso o factores de consumo excesivos en el caso de tratarse de una familia con un número estándar de personas. Contrariamente, la vivienda GV. Germanías 35-8 muestra un consumo extremadamente bajo, cercano a cero, lo que podría sugerir una ausencia temporal de ocupantes debido a que en campo se contrastó que ni el contador mecánico como el ultrasónico presentaban cambios en las lecturas.

Un caso de interés adicional se presenta en las ubicaciones GV. Germanías 31-9b, GV. Germanías 31-7b y GV. Germanías 31-10a, donde la presencia de un volumen inusual de agua generalmente está vinculada a posibles fugas en la red de suministro, que según con la investigación de Deoreo (2016), titulada "Residential End Uses of Water, Versión 2", se estima que estas fugas pueden oscilar entre 10 y 65 litros por día. Sin embargo, para una comprensión más precisa de la situación, sería recomendable llevar a cabo un análisis más detallado a través de curvas de modulación de consumo en las viviendas afectadas o analizando el patrón de consumo de estas, como se verán a continuación.

Este análisis permitiría distinguir si el flujo de agua es constante, lo cual sería indicativo de una fuga persistente, o si se debe a un bajo consumo. Por ejemplo, la presencia de un único residente en una vivienda o el uso de una de estas propiedades como una pequeña oficina podrían explicar el menor consumo de agua, como es en el caso de GV. Germanías 35-4 o GV. Germanías 31-6a, que, aunque no es similar al dato de consumo medio en hogares españoles de 133 litros por habitante/día según cifras del Instituto Nacional de Estadística (INE), estos datos se pueden relacionar con consumos más responsables, por ejemplo. Además, una evaluación exhaustiva de las curvas de modulación podría ayudar a identificar otros patrones de consumo que contribuyan a esclarecer la situación en estas direcciones específicas. Los consumos en el rango medio, como los de las direcciones GV. Germanías 31-4a y GV. Germanías 31-5b, con consumos diarios de 240,65 y 290,67 litros respectivamente, se alinean más estrechamente con los patrones típicos de uso en viviendas estándar para familias de tamaño pequeño a mediano.

Es importante comparar estos consumos con referencias académicas y estándares industriales para establecer su normalidad o anomalía. Según estudios, el consumo promedio de agua por persona en un hogar en los Estados Unidos es de aproximadamente 82 galones por día (aproximadamente 310 litros por día). Aunque esta cifra puede variar según el país y la región debido a diferencias en los patrones de uso, clima y prácticas de conservación, nos proporciona



un punto de referencia para evaluar si el consumo registrado en cada vivienda es razonable o si podría indicar algún problema, como una fuga o uso ineficiente del agua.

#### **4.2.2. Curvas de modulación horario**

Esta sección constituye un componente esencial del estudio y análisis realizado en el contexto de la gestión del consumo de agua en entornos residenciales. Enfocándonos en la evaluación detallada del comportamiento del consumo de agua en viviendas, esta sección examina las curvas de modulación horario, un instrumento clave para comprender los patrones de uso de agua en el ámbito doméstico.

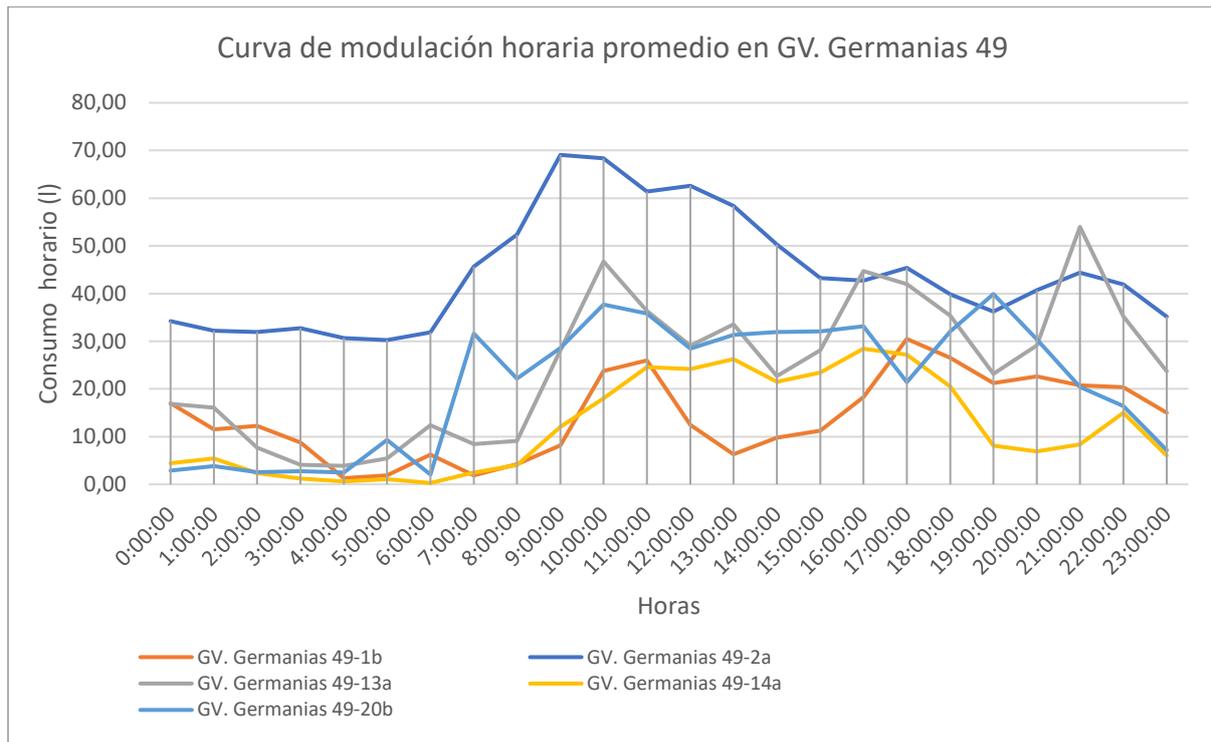
Las curvas de modulación horario se presentan como una herramienta invaluable para el análisis y la toma de decisiones informadas. Al desglosar los patrones de consumo en valores promedio, máximos y adimensionales respecto al consumo medio horario, se obtiene una comprensión completa de la dinámica del uso del agua. Esto no solo permite identificar las horas de mayor demanda y los picos de consumo, sino que también facilita la evaluación del rendimiento de los contadores en la captura precisa de estos datos.

En esta sección, se abordan en detalle cada uno de estos tipos de curvas de modulación, proporcionando un marco de referencia valioso para el análisis del rendimiento de los contadores de agua en el ámbito residencial. A través de este enfoque, se pretende contribuir de manera significativa a la gestión sostenible del agua y, en última instancia, a la toma de decisiones relacionadas con la elección de los contadores de agua más eficientes.

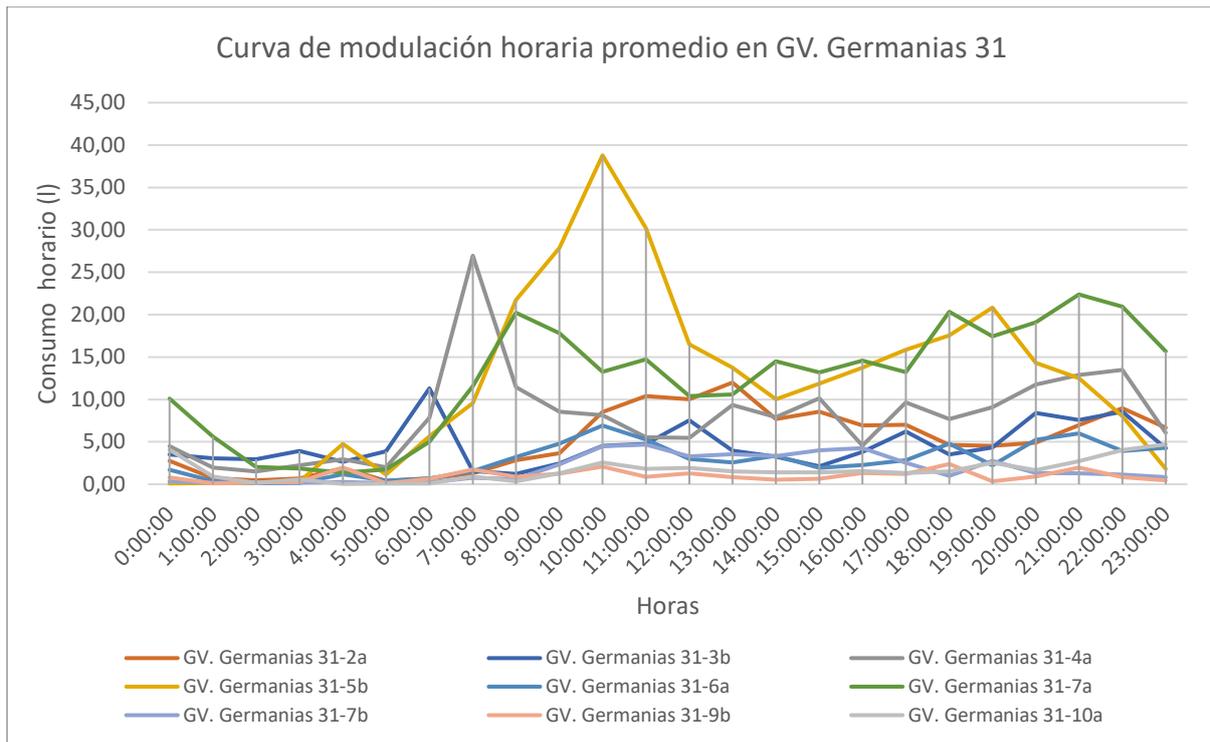
##### **4.2.2.1. Curvas de modulación de consumo promedias**

En esta primera subsección, nos adentraremos en el análisis de la curva de modulación de consumo promedio Horario. Esta curva se erige como una herramienta esencial para comprender cómo evoluciona el consumo de agua en el transcurso del día en hogares urbanos. Su importancia radica en su capacidad para proporcionar una representación gráfica detallada

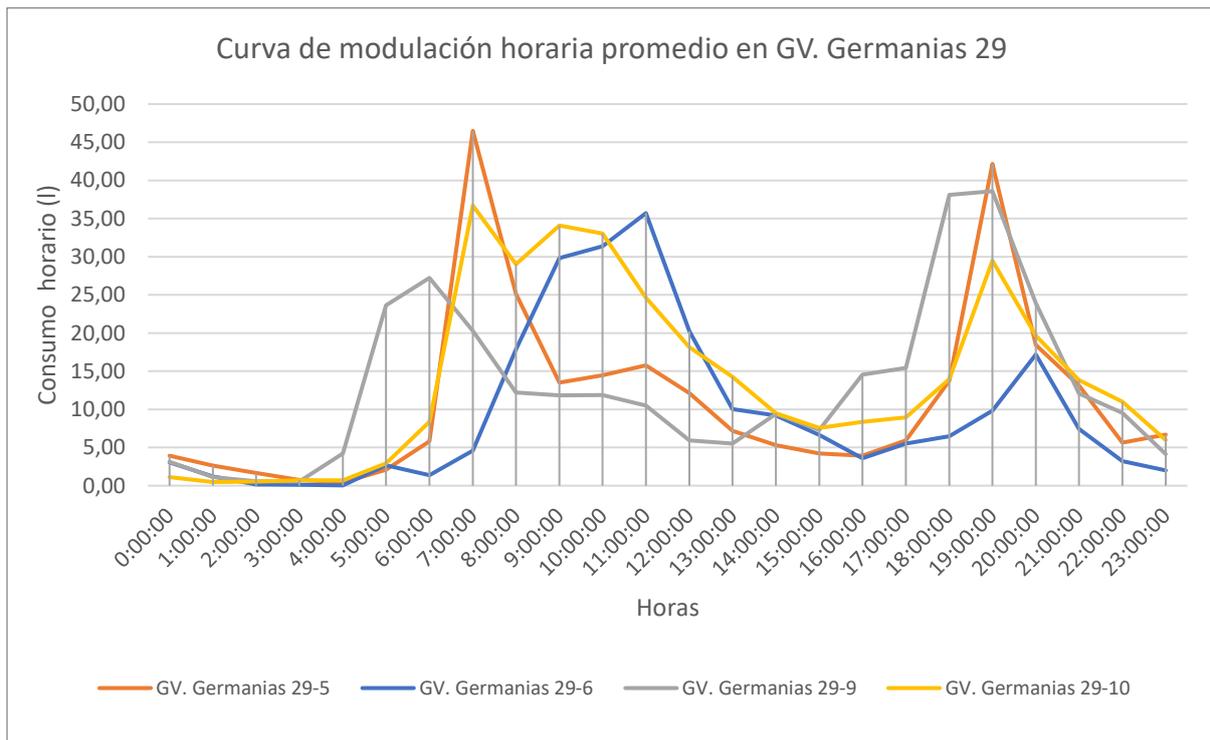
de los patrones de consumo a lo largo de las horas. Esta comprensión no solo permite identificar momentos de mayor o menor demanda de agua, sino que también se relaciona directamente con la evaluación del rendimiento de los contadores de estado sólido (ultrasonido) y mecánicos en la captura de estos datos. En las Gráficas 20 a 23 podemos observar estas curvas para cada una de las direcciones estudiadas en la ciudad.



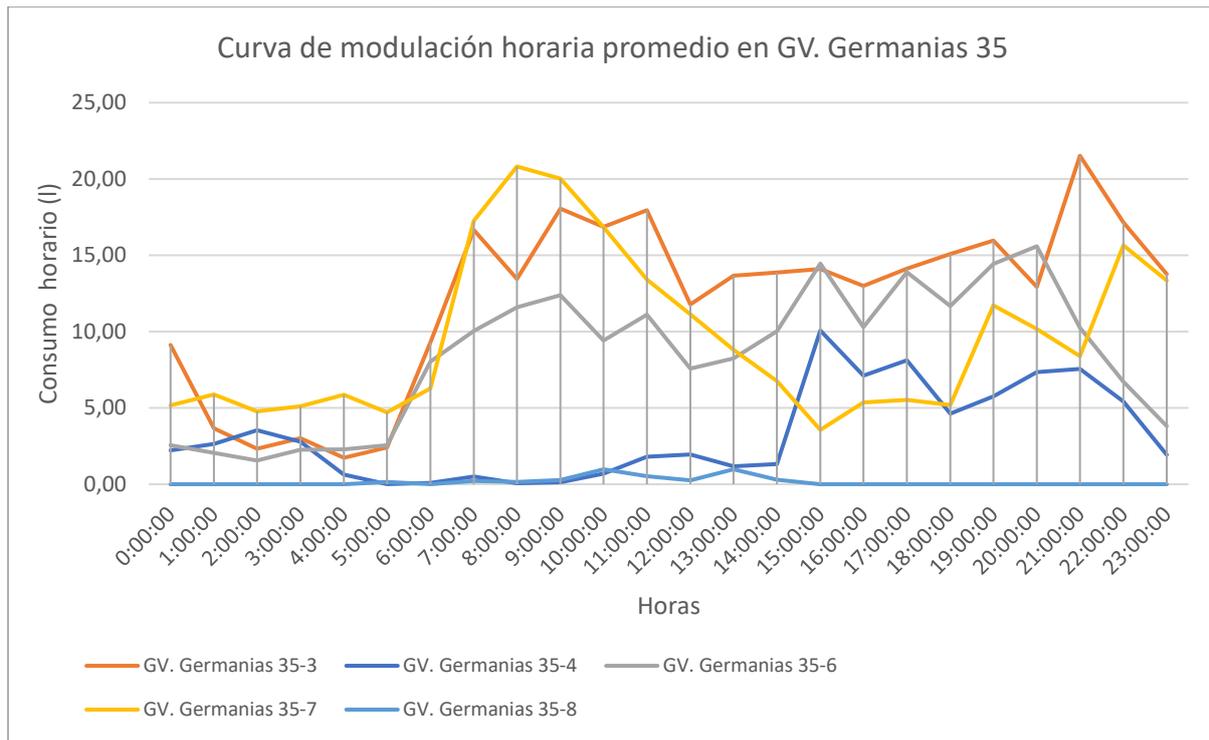
**Gráfica 20** Curva de modulación horaria promedio en GV. Germanías 49. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 21** Curva de modulación horaria promedio en GV. Germanias 31. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 22** Curva de modulación horaria promedio en GV. Germanias 29. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 23** Curva de modulación horaria promedio en GV. Germanías 35. Fuente: (Elaboración propia).

Es importante destacar que las viviendas en GV. Germanías 49 son significativamente más grandes que las demás estudiadas, con aproximadamente 175 metros cuadrados. Esto podría influir en un mayor consumo promedio en comparación con las viviendas más pequeñas.

En general, todas las viviendas muestran un patrón de consumo similar durante las horas nocturnas, entre las 0:00 y las 5:00, con un consumo generalmente bajo, por debajo de los 5 litros por hora. Sin embargo, se observa una excepción en la vivienda GV. Germanías 49-2a, que tiene un consumo más alto en todas las horas en comparación con las demás viviendas. Esto podría atribuirse a posibles fugas grandes o a la utilización de aparatos electrónicos que consumen agua en esa vivienda, contando además que, en este piso, se unieron dos apartamentos, por lo cual, independientemente de las fugas que puedan haber y demás, el consumo debe ser mucho mayor. A pesar de esto, el promedio muestra consumos muy bajos, posiblemente debido a pequeñas fugas de alrededor de 2 a 5 litros por hora o problemas en sistemas como inodoros y otros dispositivos.



Por otro lado, GV. Germanías 35-5 muestra un consumo muy bajo en general, cercano a cero y hasta unos 3 litros por hora, lo que sugiere una ausencia generalizada en la vivienda, con solo pequeños consumos en momentos específicos, posiblemente debido a fugas en el sistema.

GV. Germanías 35-8 también presenta un consumo muy bajo durante la madrugada y la mañana, con consumos que no superan los 10 litros por hora en la tarde y noche. Esto podría indicar que las actividades como la ducha y otras se realizan en horarios nocturnos, lo que resulta en un menor gasto de agua por la mañana.

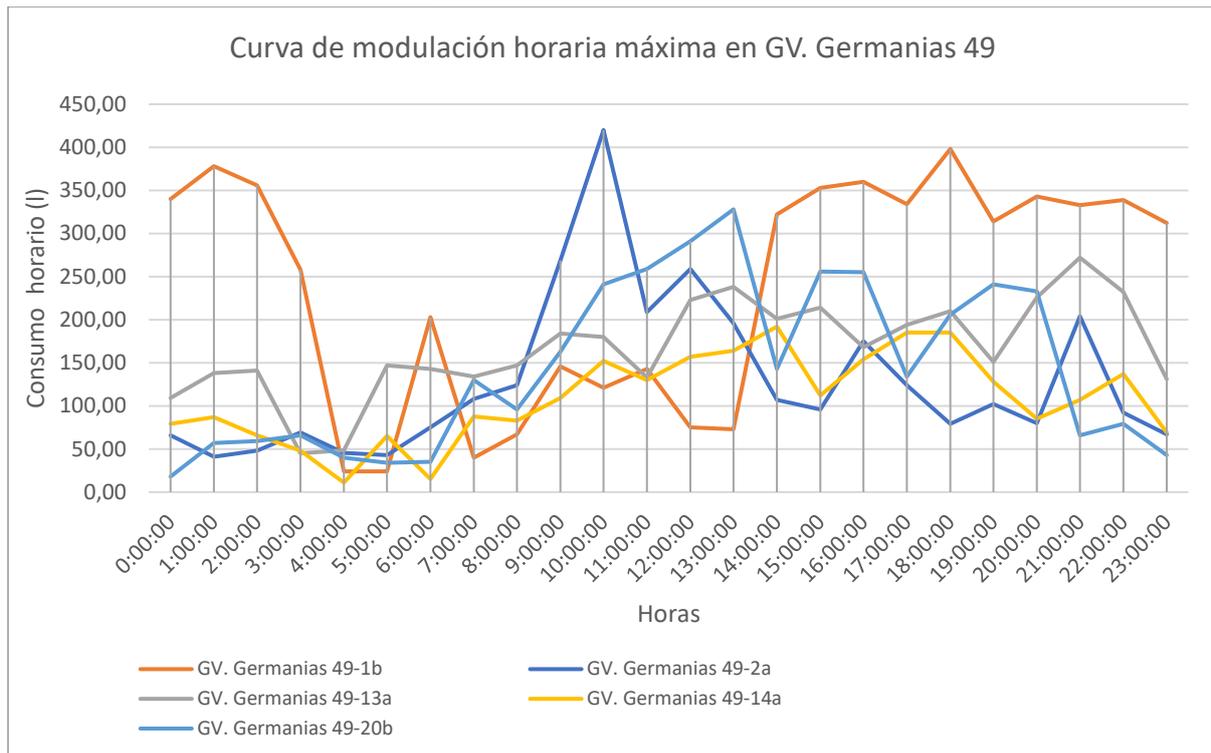
Posteriormente, se observan dos picos principales de consumo. En la mañana, entre las 6:00 y las 11:00, el consumo promedio varía entre 25 y 35 litros por hora en las viviendas de GV. Germanías 49 y 29, y entre 15 y 20 litros por hora en las viviendas de GV. Germanías 31 y 35. Esto podría deberse al tamaño de la vivienda y los hábitos de sus ocupantes.

En las horas de la tarde, se mantienen consumos generalizados entre 15 y 30 litros por hora en todas las viviendas de GV. Germanías 49, con una notable discrepancia en el apartamento 2<sup>a</sup>. Para las demás direcciones, el consumo oscila entre 8 y 15 litros por hora.

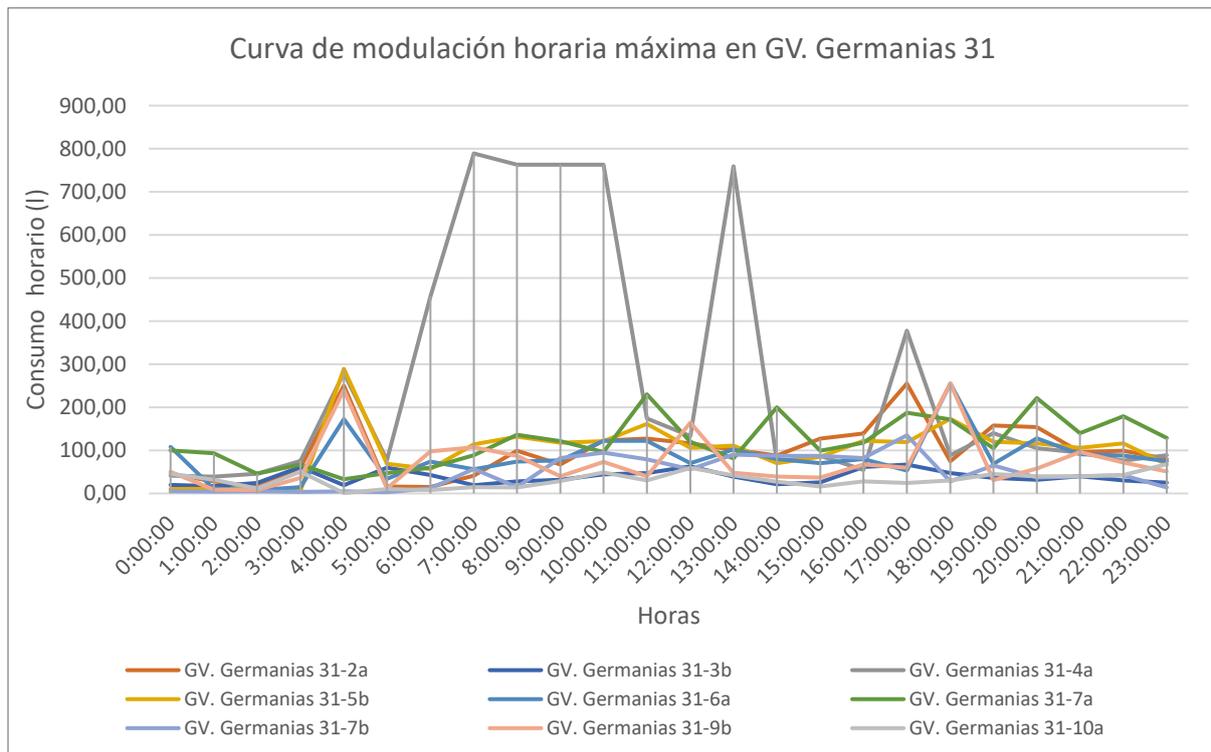
Por la noche, se presenta un segundo pico de consumo, ya que se realizan actividades como la cocina, el lavado y las rutinas antes de dormir. En general, estos patrones de consumo son normales y pueden variar a lo largo de la semana según las actividades realizadas, como ducharse, que suele implicar un mayor caudal de agua, y las tareas de cocina.

#### **4.2.2.2. Curvas de modulación de consumo máximas**

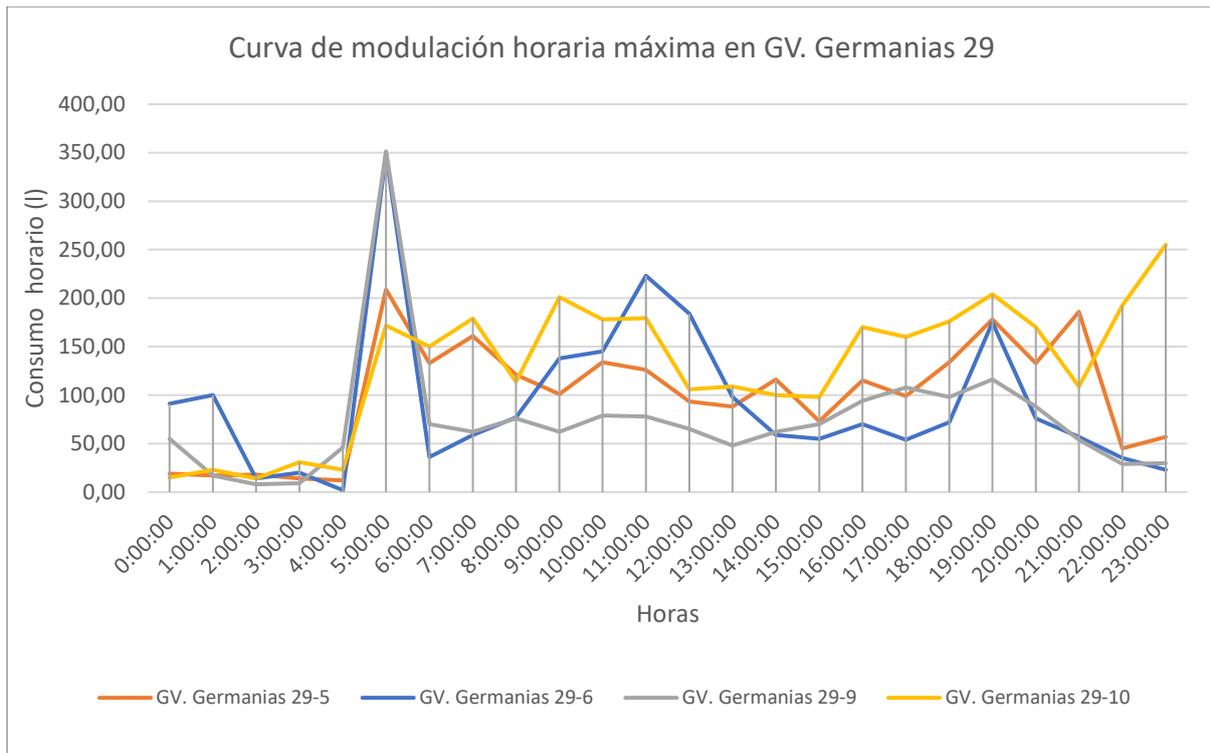
La siguiente subsección se centra en la curva de modulación de consumo máximo horario. Esta curva desvela las horas del día en las que se registra la demanda máxima de agua en viviendas urbanas. A través de esta subsección, exploraremos los resultados y conclusiones relacionados con la curva de modulación de consumo máximo horario. En las Gráficas 24 a 27 podemos observar estas curvas para cada una de las direcciones estudiadas en la ciudad.



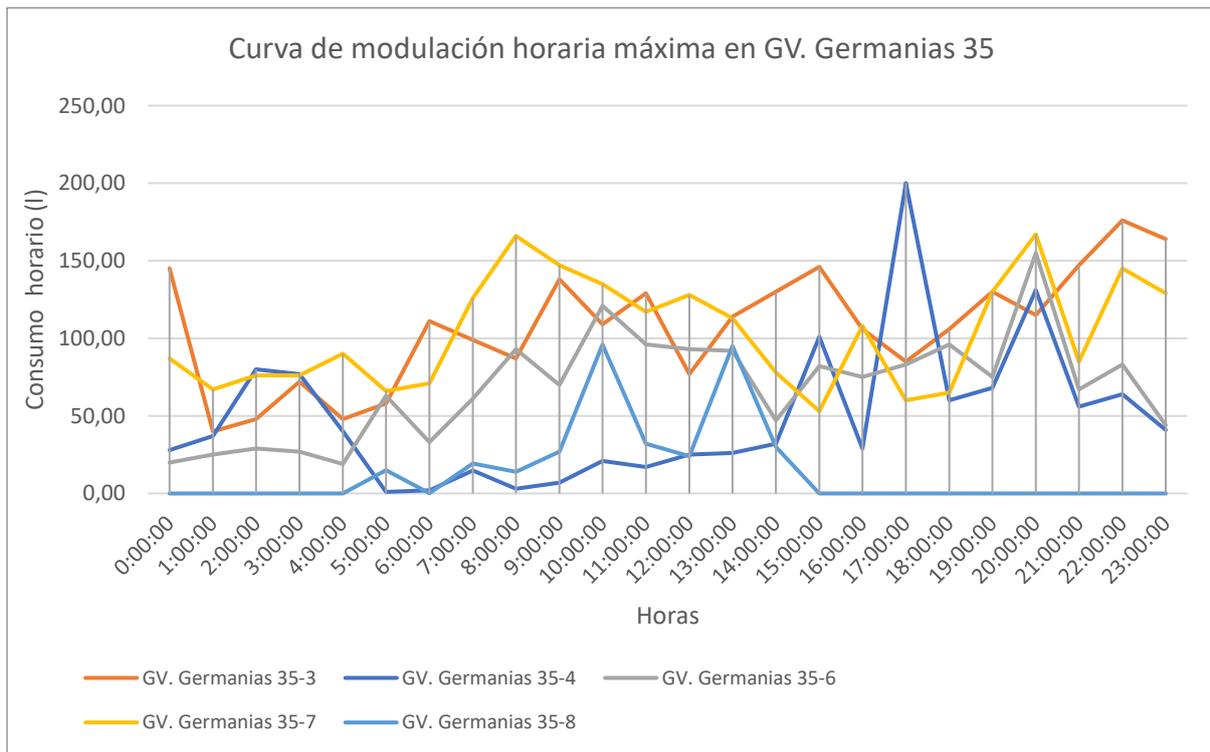
**Gráfica 24** Curva de modulación horaria máxima en GV. Germanias 49. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 25** Curva de modulación horaria máxima en GV. Germanias 31. Fuente: (Elaboración propia).



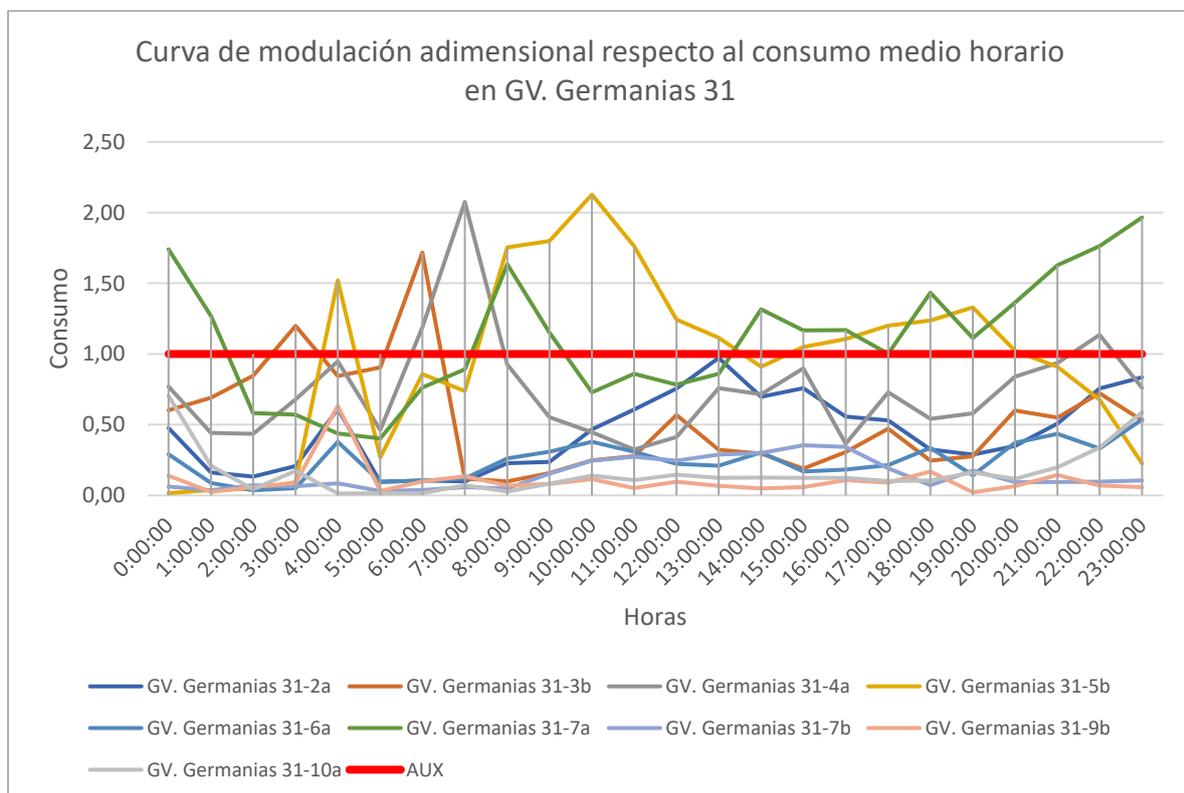
**Gráfica 26** Curva de modulación horaria máxima en GV. Germanias 29. Fuente: (Elaboración propia).



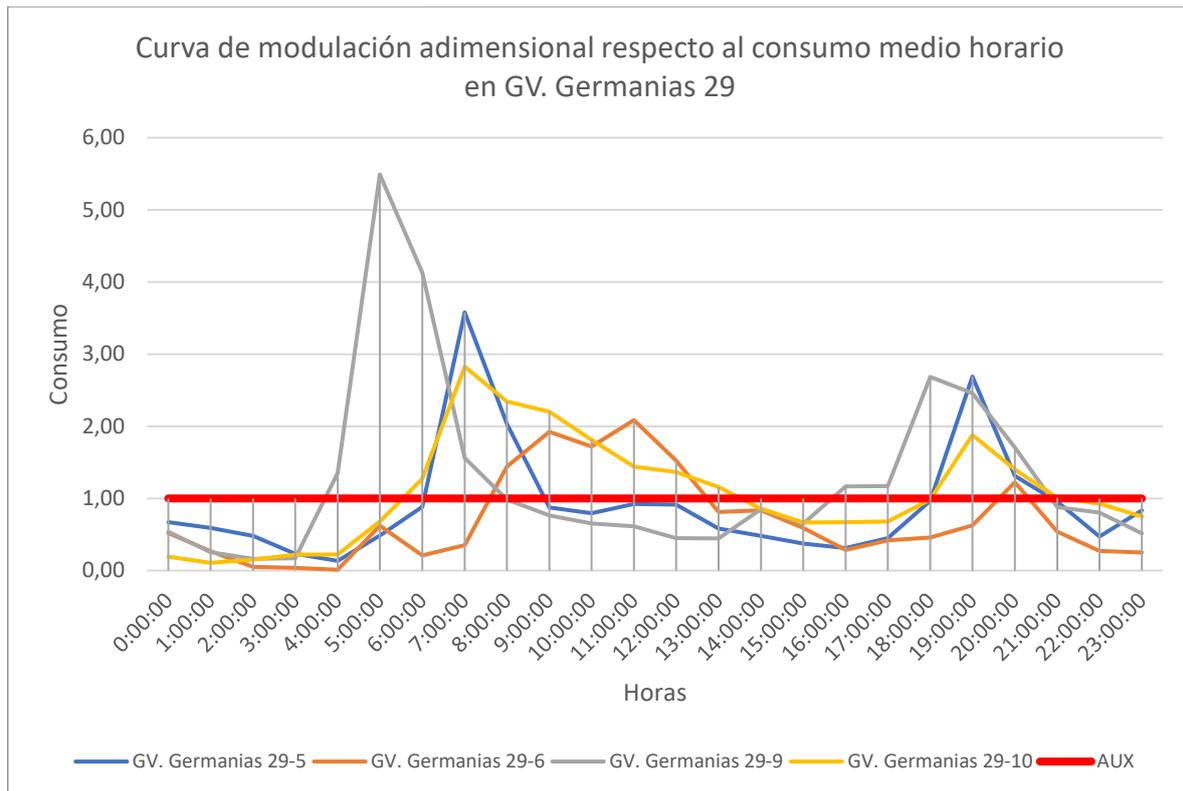
**Gráfica 27** Curva de modulación horaria máxima en GV. Germanias 35. Fuente: (Elaboración propia).

#### 4.2.2.3. Curva de modulación adimensional

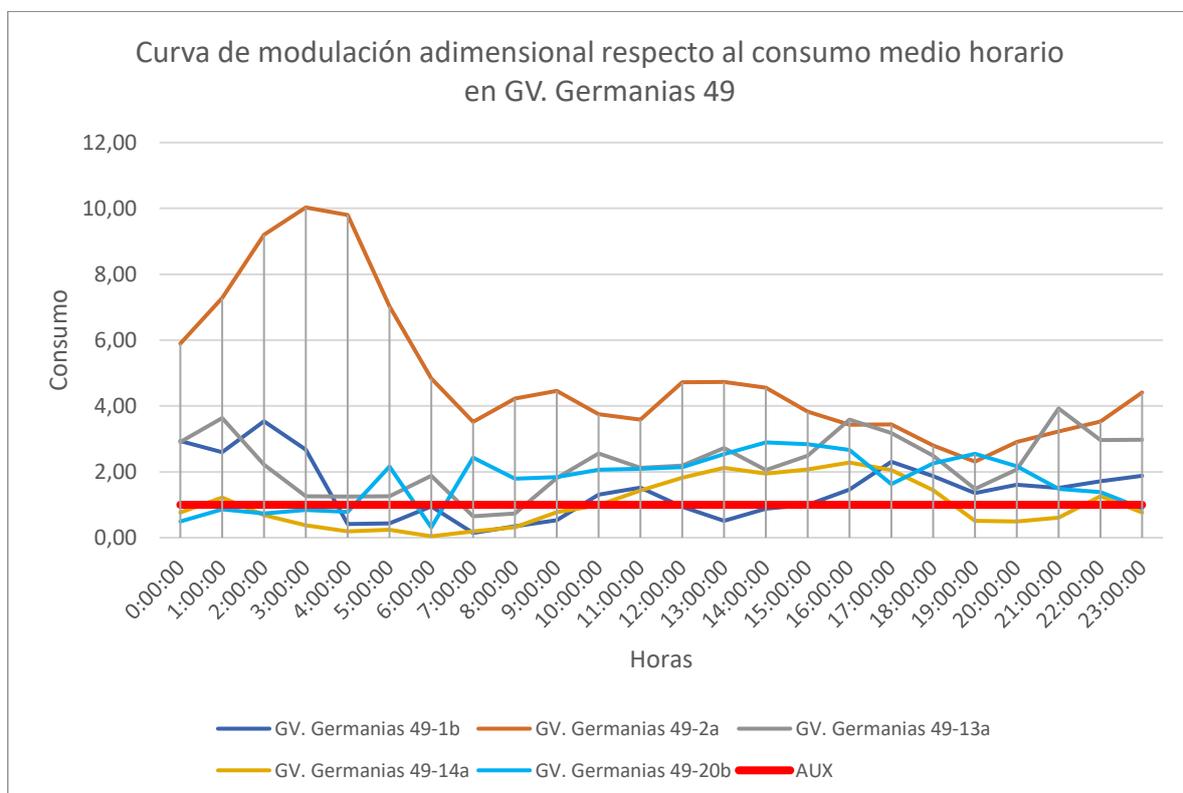
La sección de análisis de las curvas de modulación horaria adimensionales forma un pilar central en el estudio del uso de agua en las viviendas de la Gran Vía Germanías. Las siguientes gráficas (Gráficas 28 a 32) proporcionan una comparación directa del consumo promedio horario de cada vivienda con el promedio de todas las viviendas en conjunto. Este análisis pormenorizado permite no solo discernir patrones de consumo individualizados sino también comparar el comportamiento de uso del agua entre diferentes unidades en los mismos rangos horarios. Tal comparativa es esencial para entender las variaciones en los hábitos de consumo de agua, potenciales ineficiencias o anomalías en el uso, contribuyendo así a la toma de decisiones informadas en la elección de contadores de agua eficientes.



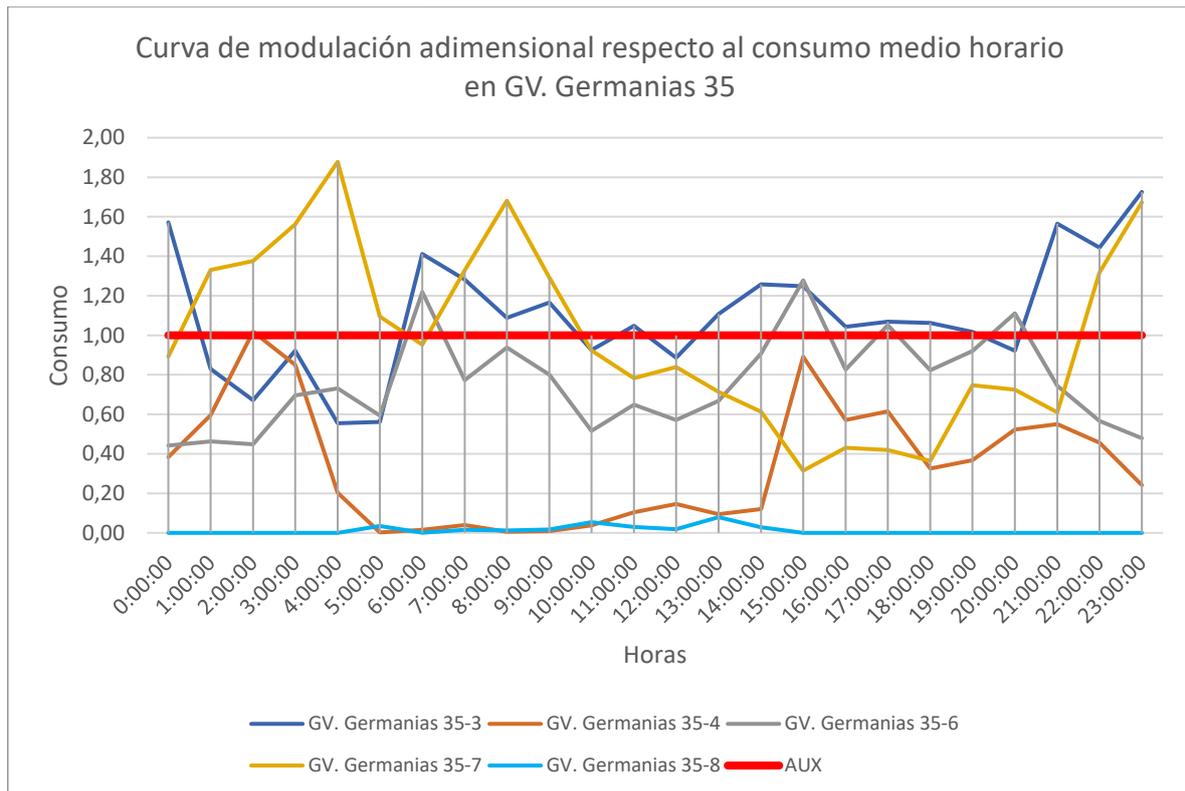
**Gráfica 28** Curva de modulación adimensional respecto al consumo medio horario en GV. Germanías 31. Fuente: (Elaboración propia).



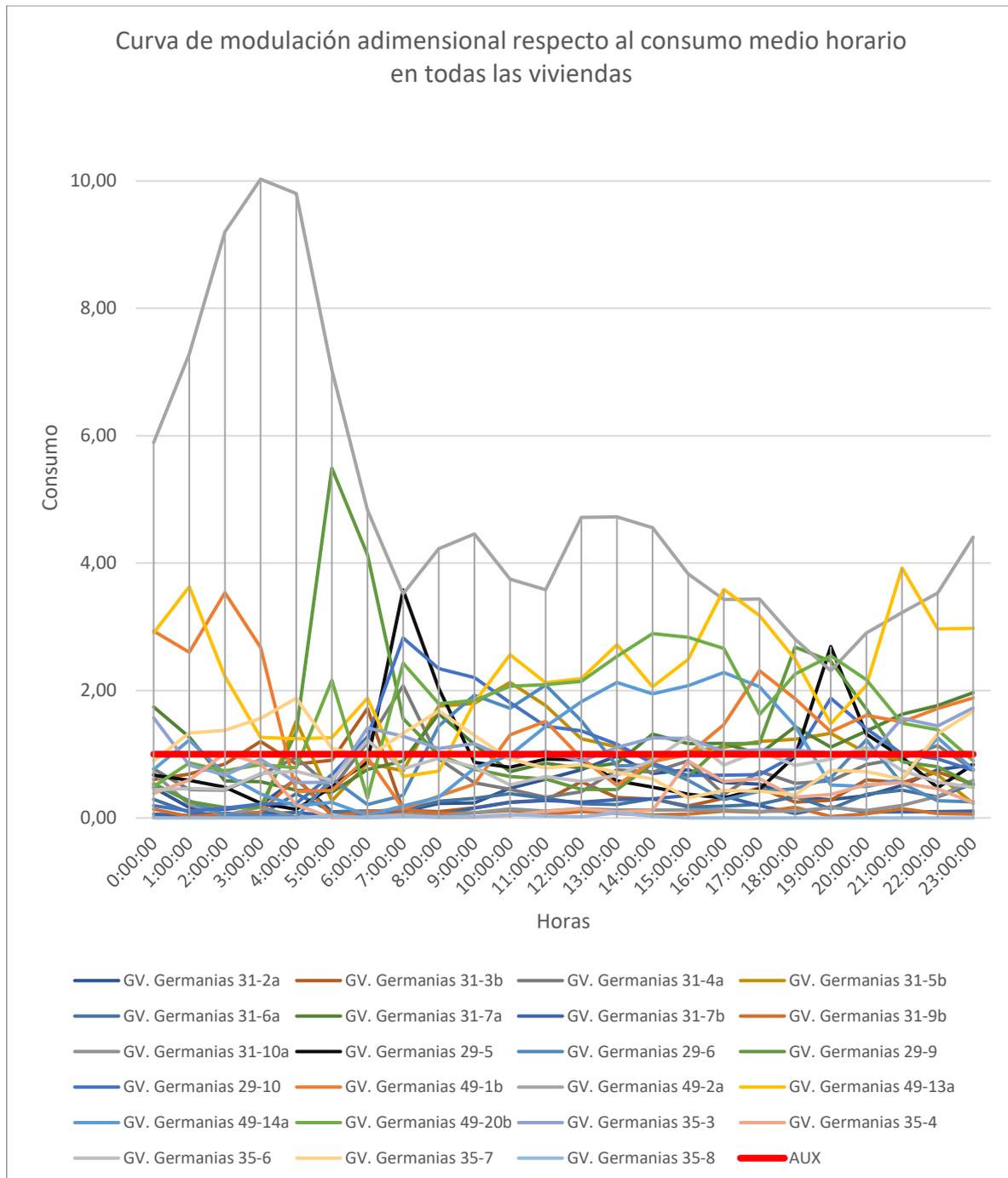
**Gráfica 29** Curva de modulación adimensional respecto al consumo medio horario en GV. Germanias 29. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 30** Curva de modulación adimensional respecto al consumo medio horario en GV. Germanias 49. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 31** Curva de modulación adimensional respecto al consumo medio horario en GV. Germanias 35. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 32** Curva de modulación adimensional respecto al consumo medio horario en todas las viviendas. Fuente: (Elaboración propia).

Observamos una considerable heterogeneidad en el consumo entre las viviendas en GV Germanías 31. Por ejemplo, la vivienda 31-2a muestra un consumo máximo que apenas supera el 150% del promedio horario, mientras que la 31-4a presenta un pico que se eleva hasta casi el 250% del promedio en ciertas horas, lo que indica un uso más intensivo. Este contraste apunta a diferencias significativas en los hábitos de consumo, que podrían estar influenciados



por el número de ocupantes o la presencia de dispositivos que consumen agua de manera intensiva.

La vivienda 49-2a destaca con picos que exceden considerablemente el promedio, superando en ciertos momentos hasta 10 veces el consumo medio horario. Esto sugiere un uso excepcional del agua que podría estar asociado con actividades específicas, y teniendo en cuenta que en este espacio se juntan dos apartamentos en uno, por lo cual, se puede incrementar notoriamente el caudal con la cantidad de aparatos, sin embargo, sigue siendo un valor muy elevado para el promedio. En comparación, la vivienda 49-1b muestra un perfil de consumo más contenido y cercano al promedio horario, lo cual indica un uso del agua más acorde con las expectativas normativas.

La vivienda 29-9 exhibe una variabilidad notoria con picos que alcanzan más de 5 veces el promedio horario. La vivienda 29-10, aunque también muestra variabilidad, tiende a tener un consumo más alineado con el promedio. Estas diferencias resaltan la importancia de considerar la individualidad de cada residencia al diseñar estrategias de gestión de agua.

En general, las viviendas de GV. Germanías 35 presentan un perfil de consumo moderado. Sin embargo, la vivienda 35-4 muestra una variabilidad significativa con consumos que superan el 180% del promedio horario en ciertas horas. Esto podría reflejar un uso del agua más dinámico y variable que merece atención para entender las causas subyacentes de tales picos.

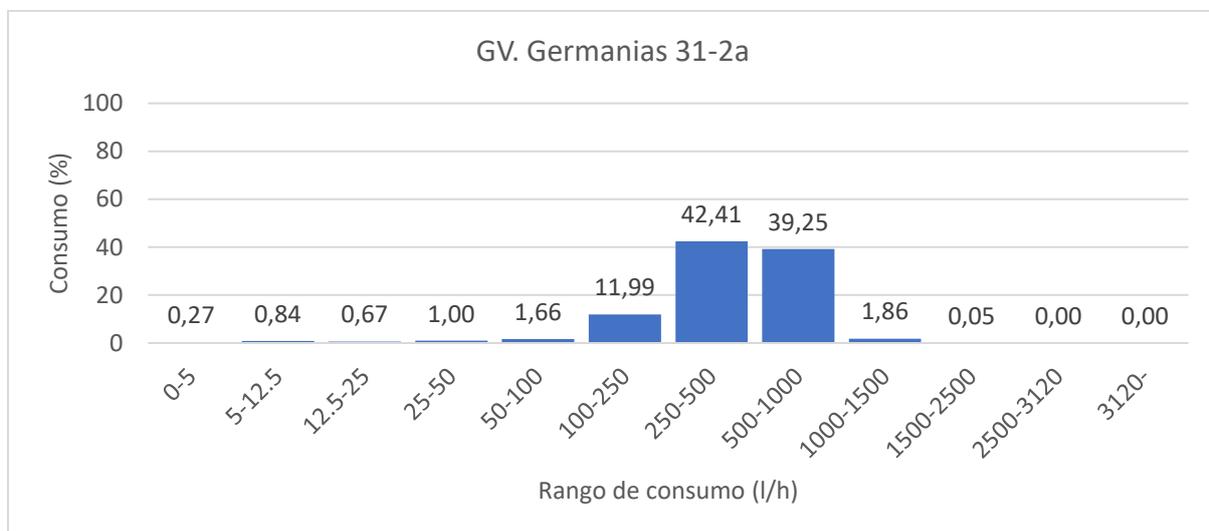
Al comparar las curvas de modulación de todas las viviendas, se identifican patrones comunes de consumo, como los picos matutinos y vespertinos, que reflejan rutinas diarias típicas. Además, se observan variaciones que pueden indicar la necesidad de intervenciones para mejorar la eficiencia en el uso del agua o para investigar y resolver posibles problemas de infraestructura.

Los datos sugieren que ciertas viviendas podrían beneficiarse de auditorías de agua para identificar y mitigar el uso ineficiente o excesivo. La implementación de dispositivos de ahorro de agua y la educación de los ocupantes sobre prácticas de conservación podrían reducir significativamente los consumos máximos y alinear mejor el uso del agua con los promedios observados.

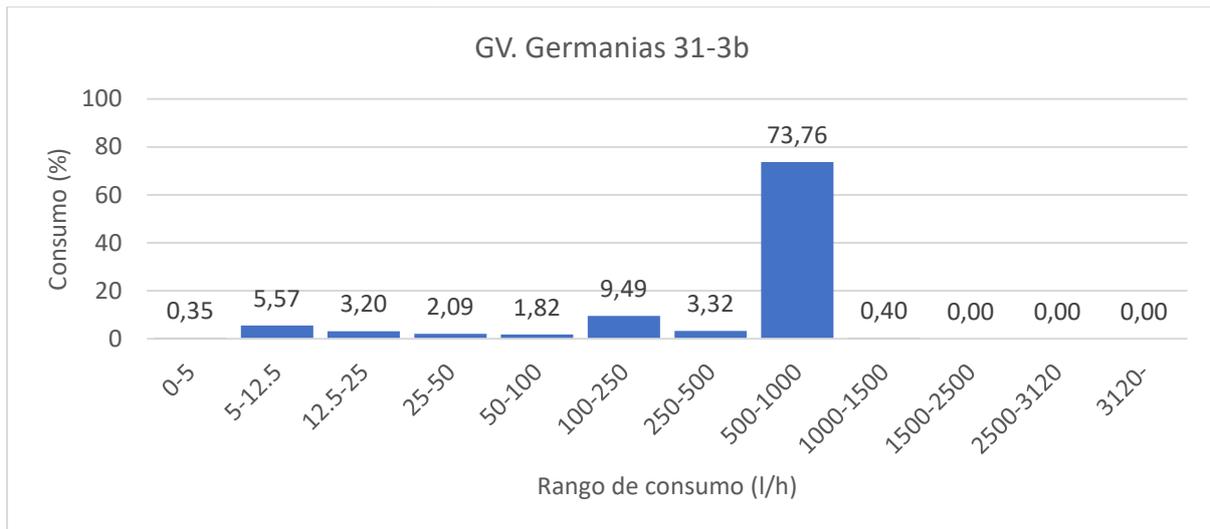
#### 4.2.3. Histograma de distribución de caudales (patrón de consumo)

Con el procedimiento descrito en la metodología, se proceden a realizar cada uno de los patrones de consumo para las diferentes viviendas (Gráficas 33 a 55), sabiendo las limitaciones que se tiene al momento de obtener esta información. Para el alcance de esta tesis, esta información presenta información valiosa respecto al consumo y su posterior comparación con los patrones de consumo.

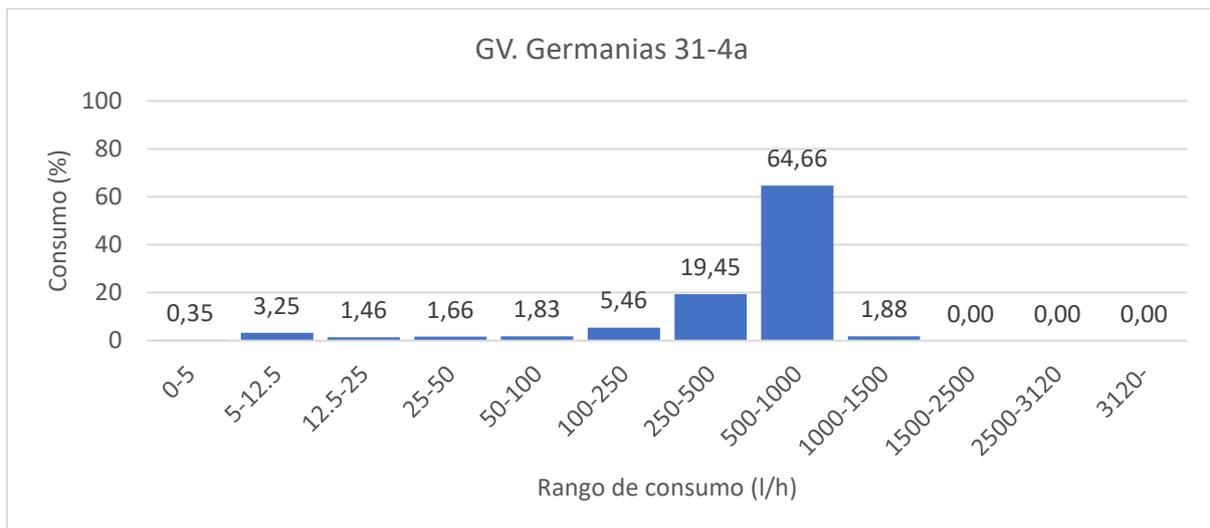
- *GV. Germanías 31*



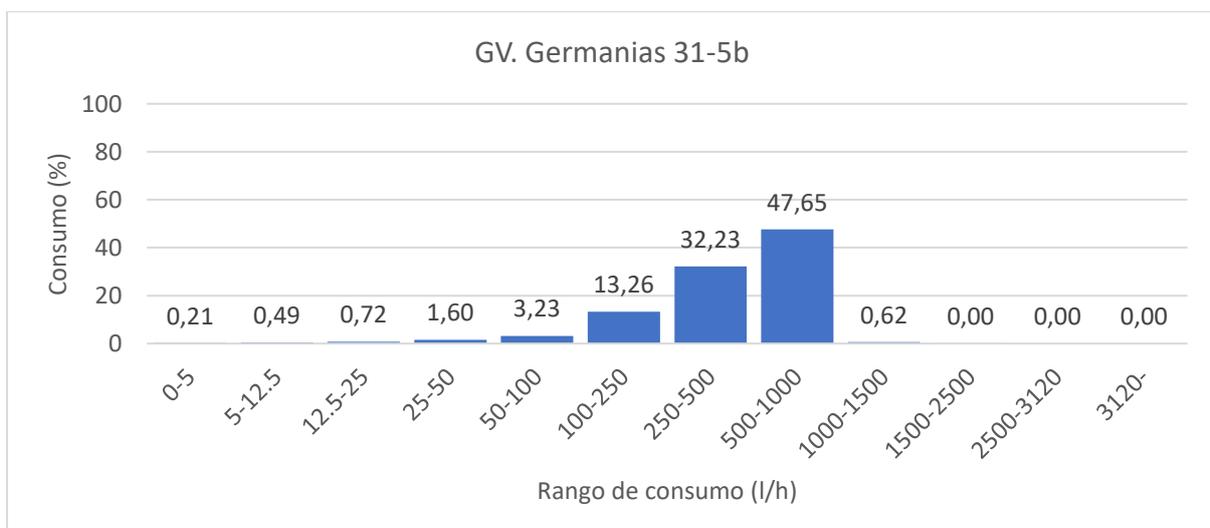
**Gráfica 33** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 31-2a. Fuente: (Elaboración propia).



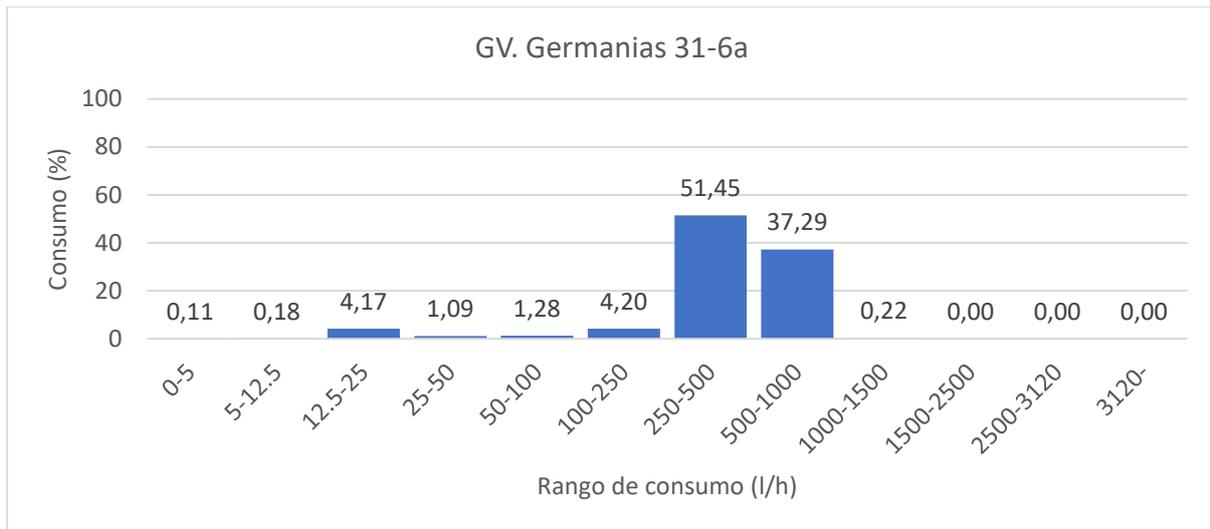
**Gráfica 34** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 31-3b. Fuente: (Elaboración propia).



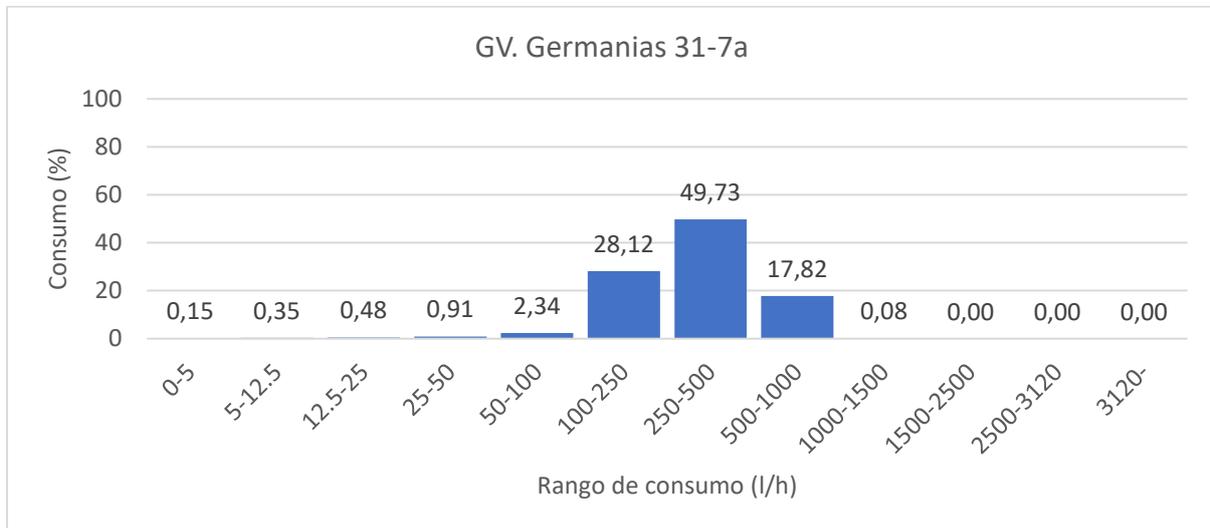
**Gráfica 35** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 31-4a. Fuente: (Elaboración propia).



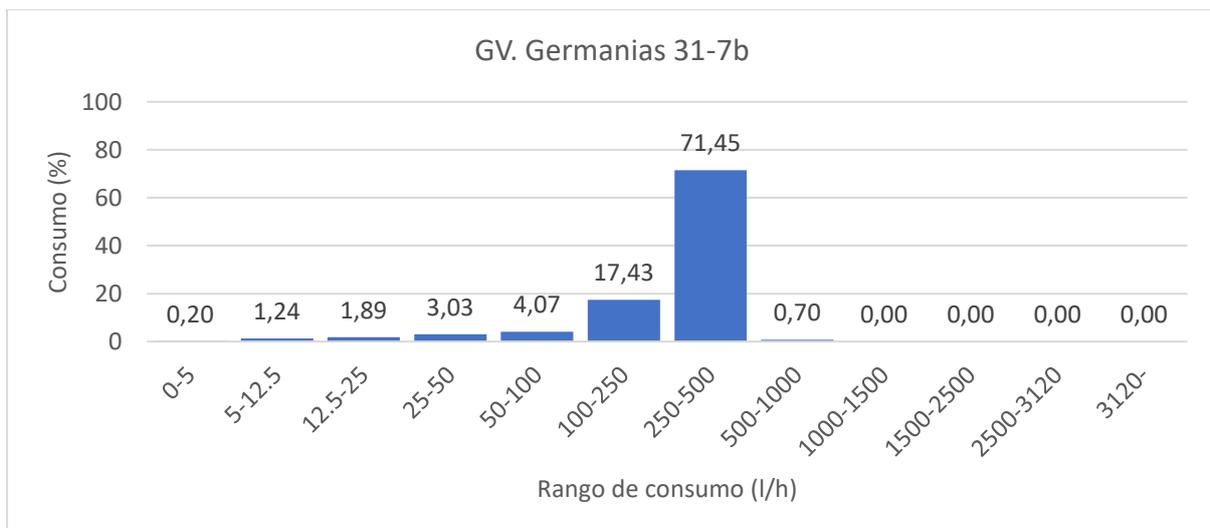
**Gráfica 36** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 31-5b. Fuente: (Elaboración propia).



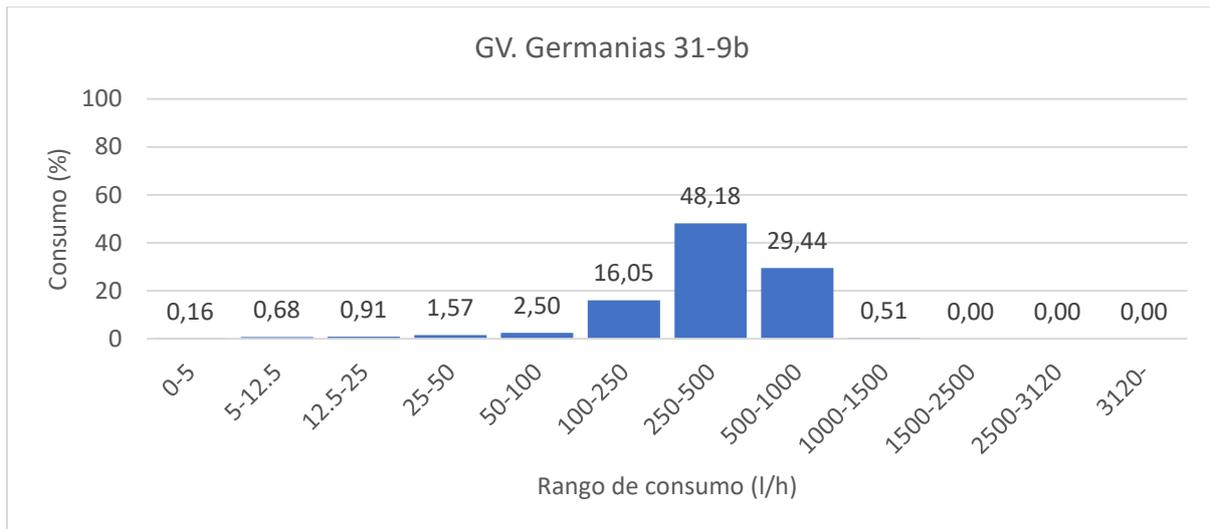
**Gráfica 37** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 31-6a. Fuente: (Elaboración propia).



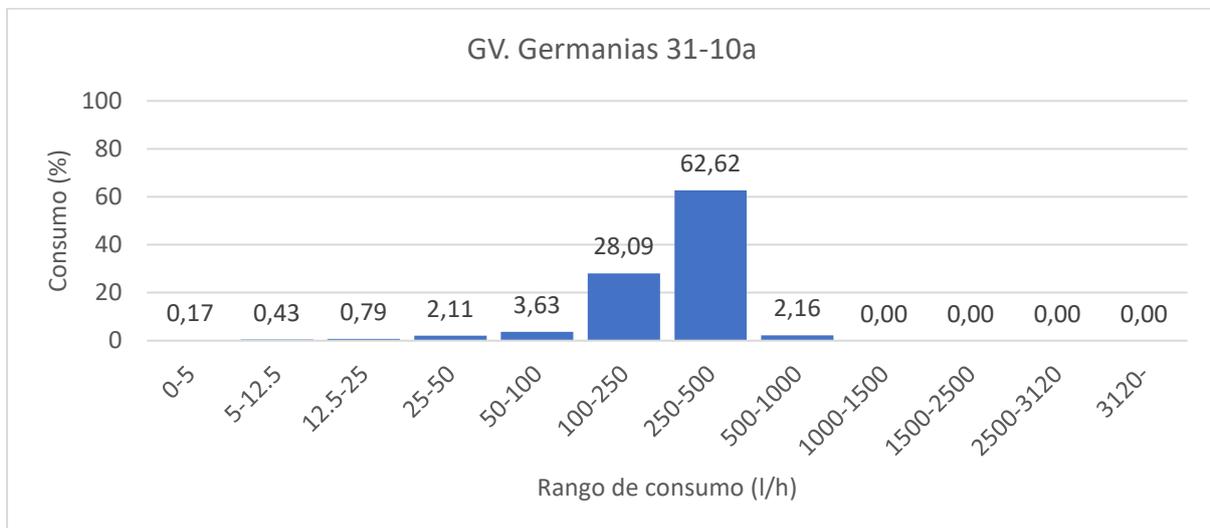
**Gráfica 38** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 31-7a. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 39** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 31-7b. Fuente: (Elaboración propia).

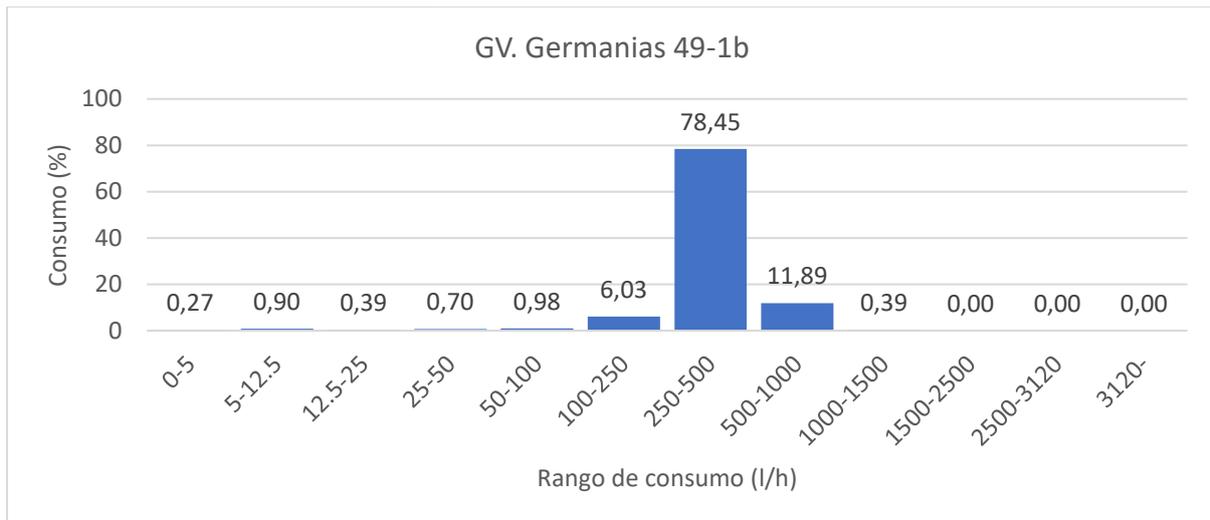


**Gráfica 40** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 31-9b. Fuente: (Elaboración propia).

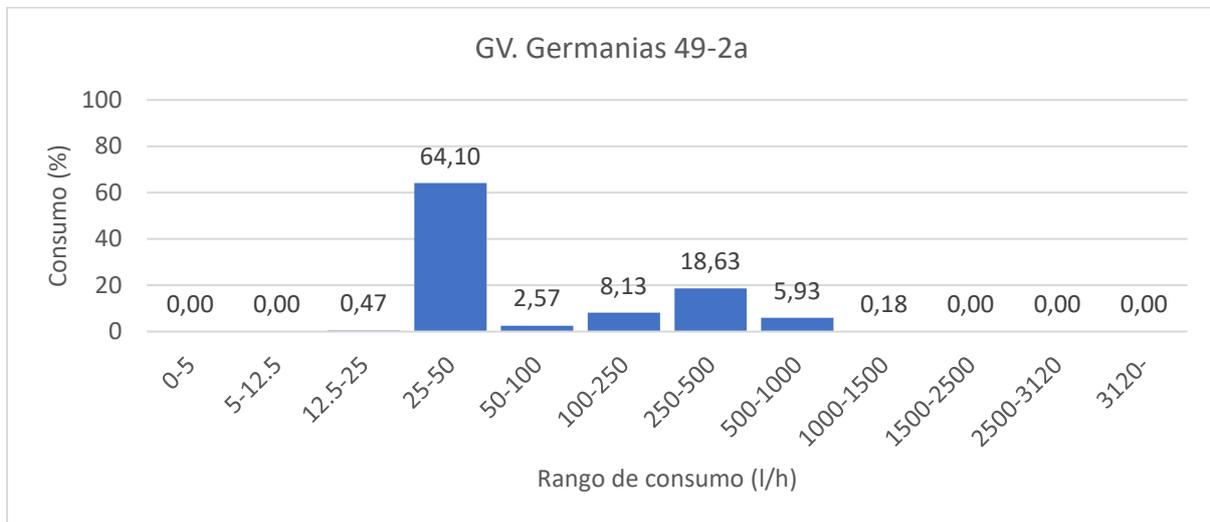


**Gráfica 41** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 31-10a. Fuente: (Elaboración propia).

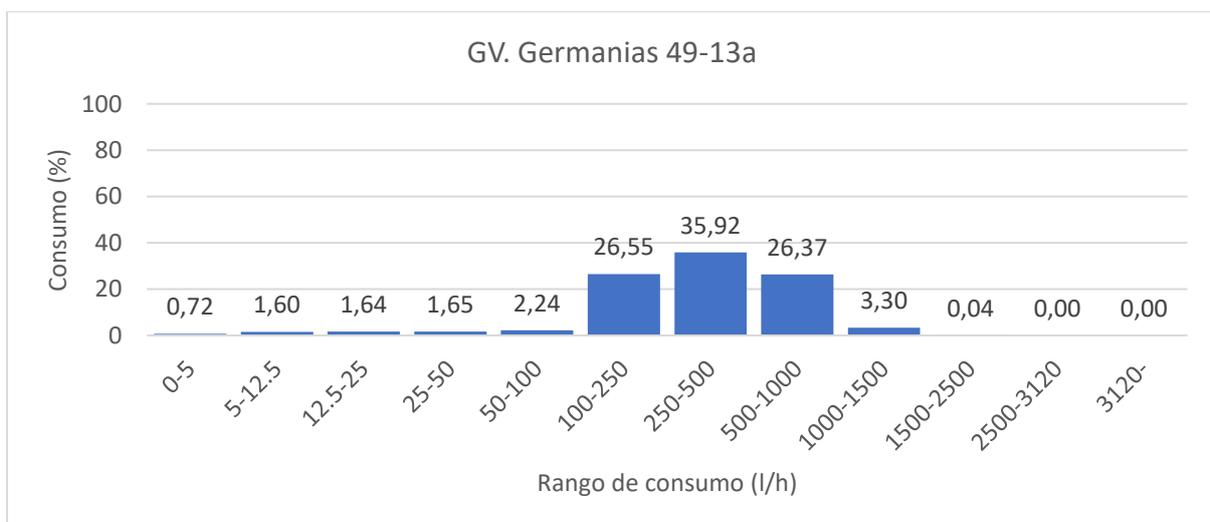
- *GV. Germanías 49*



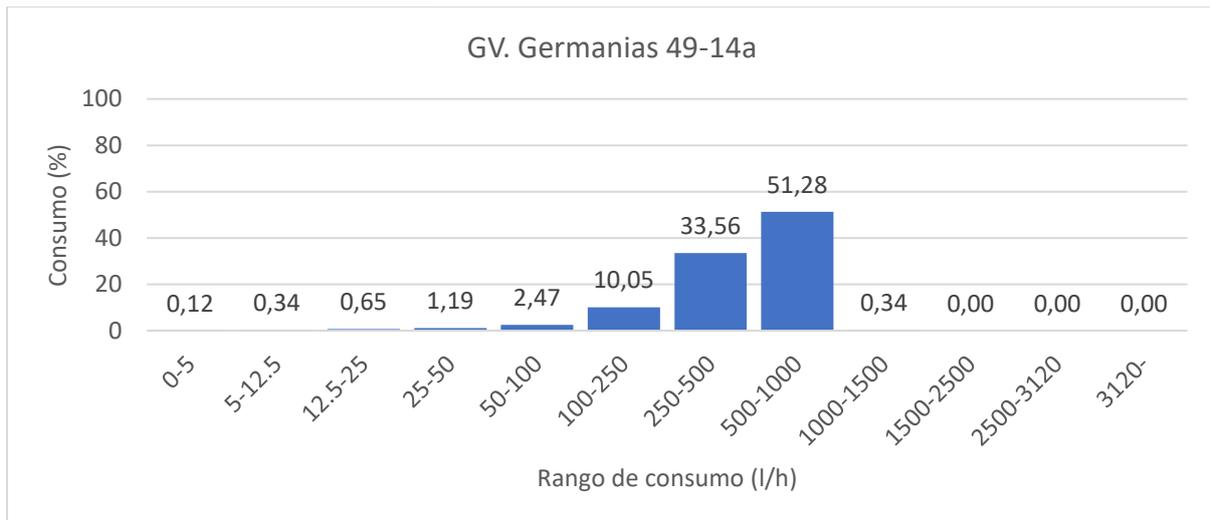
**Gráfica 42** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 49-1b. Fuente: (Elaboración propia).



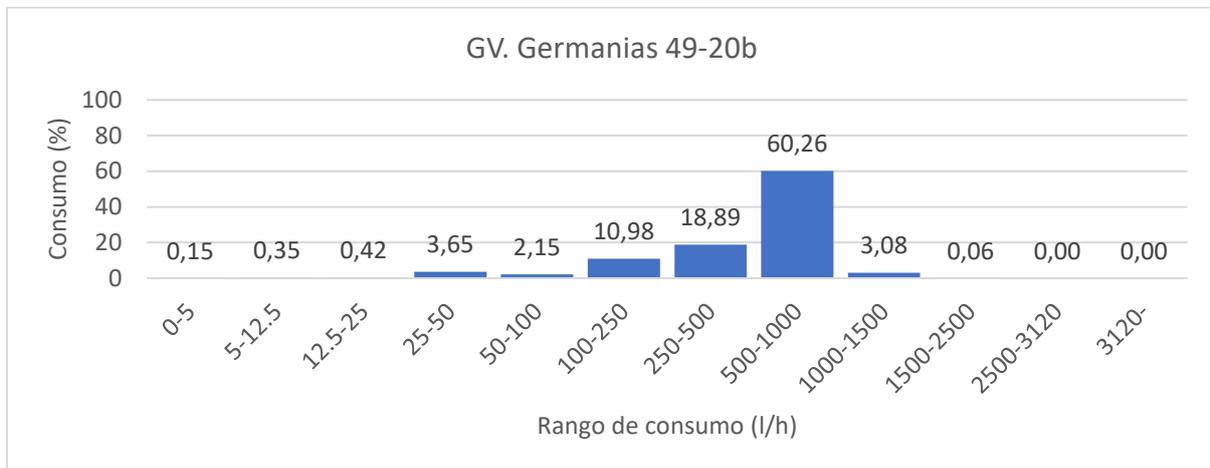
**Gráfica 43** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 49-3a. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 44** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 49-13a. Fuente: (Elaboración propia).

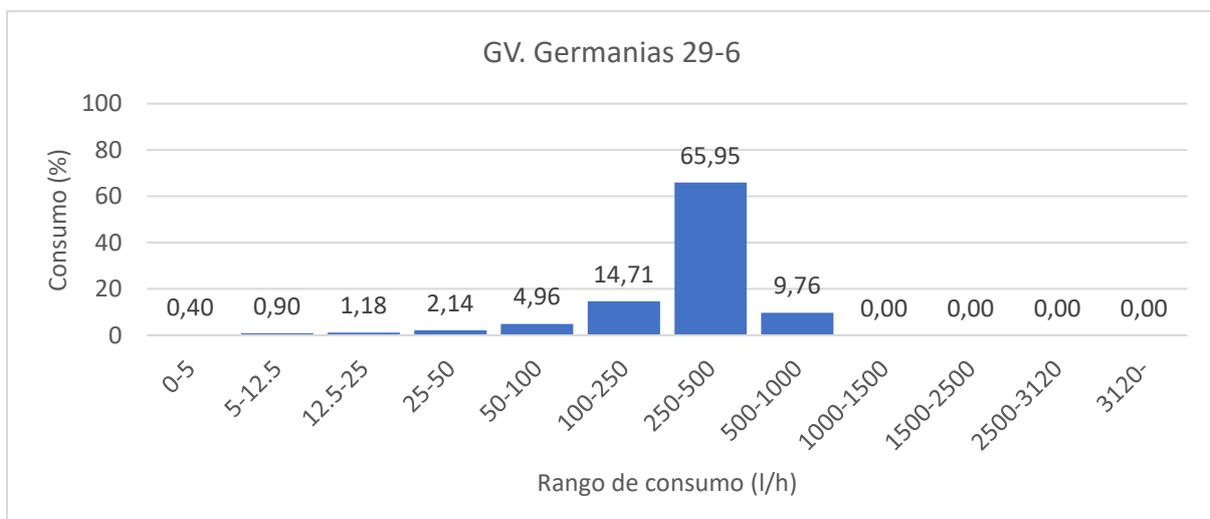


**Gráfica 45** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 49-14a. Fuente: (Elaboración propia).

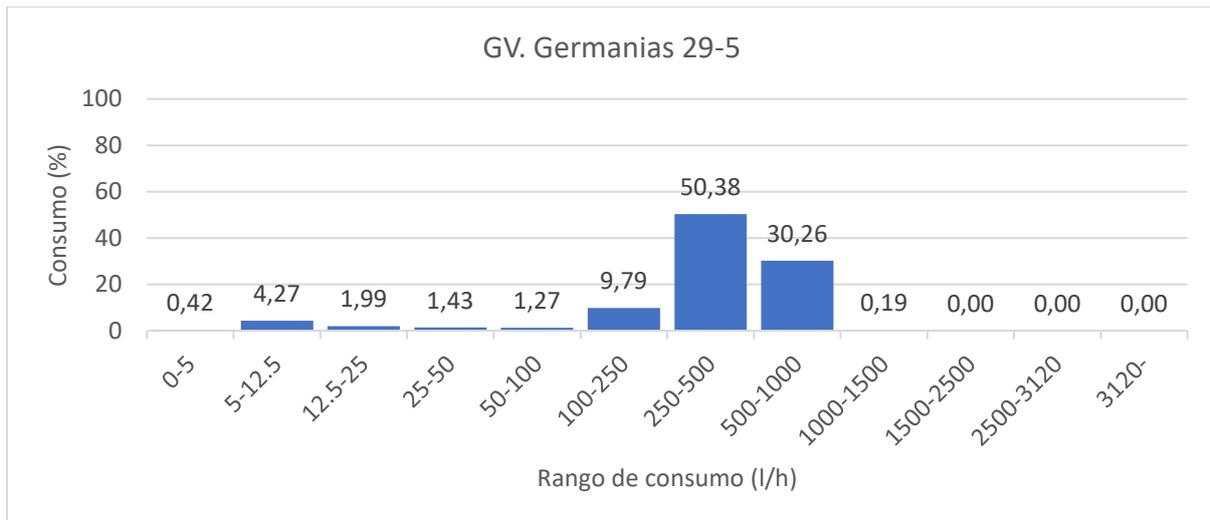


**Gráfica 46** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 49-20b. Fuente: (Elaboración propia).

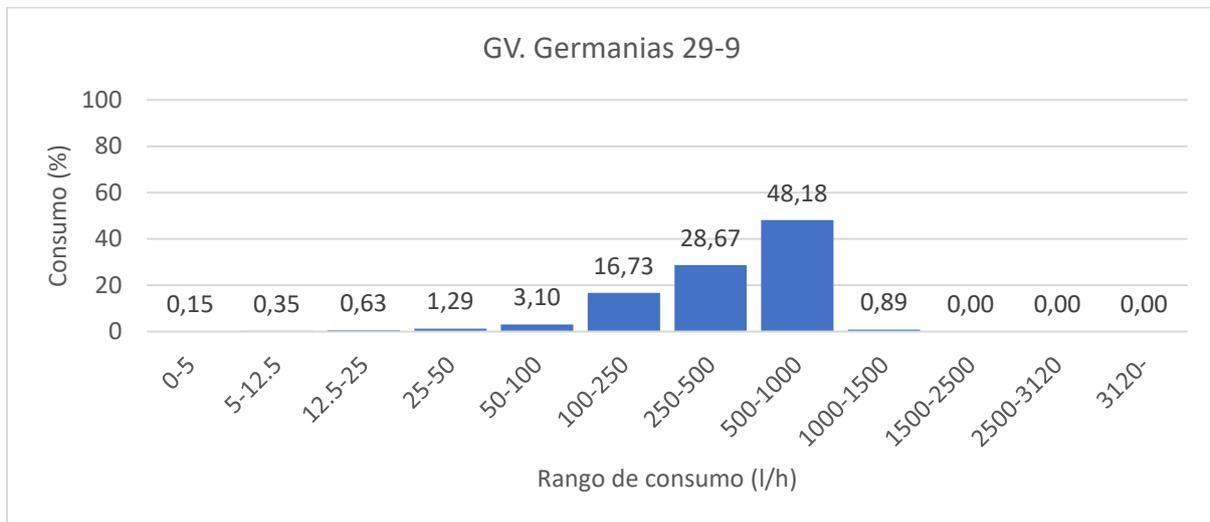
- *GV. Germanías 29*



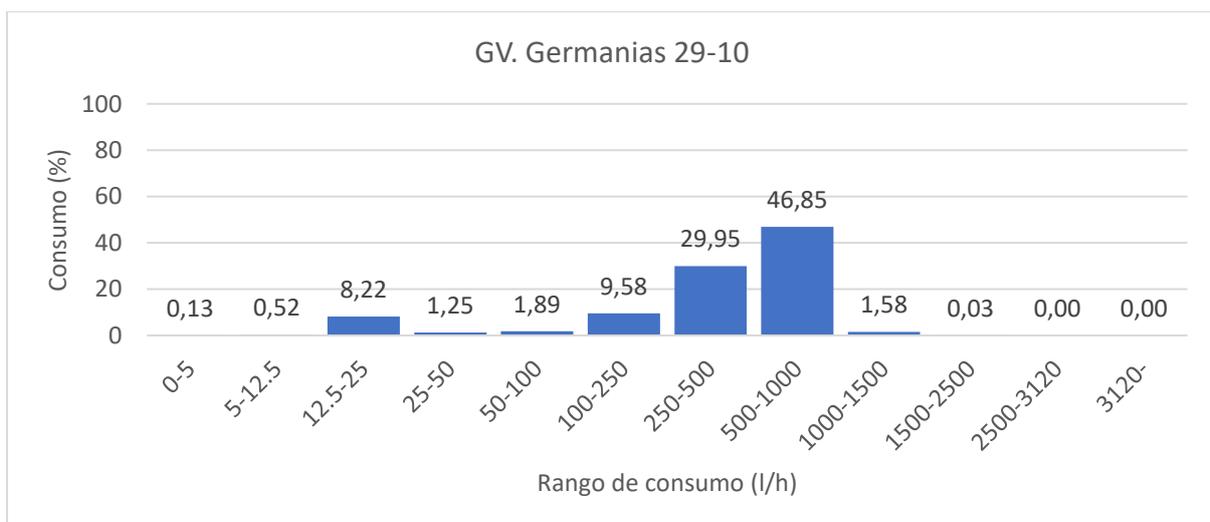
**Gráfica 47** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 29-6. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 48** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 29-5. Fuente: (Elaboración propia).

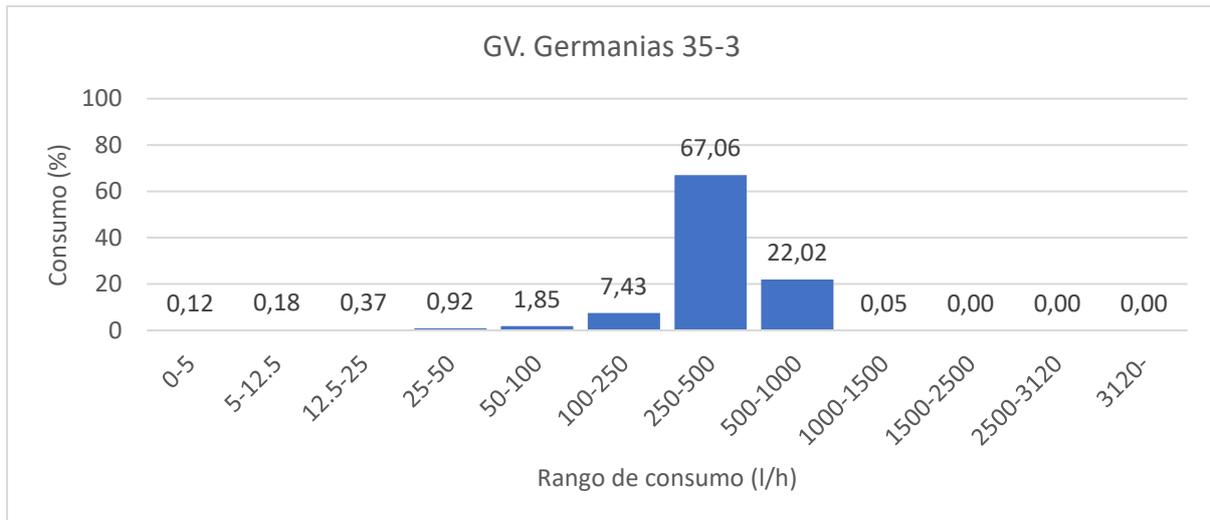


**Gráfica 49** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 29-9. Fuente: (Elaboración propia).

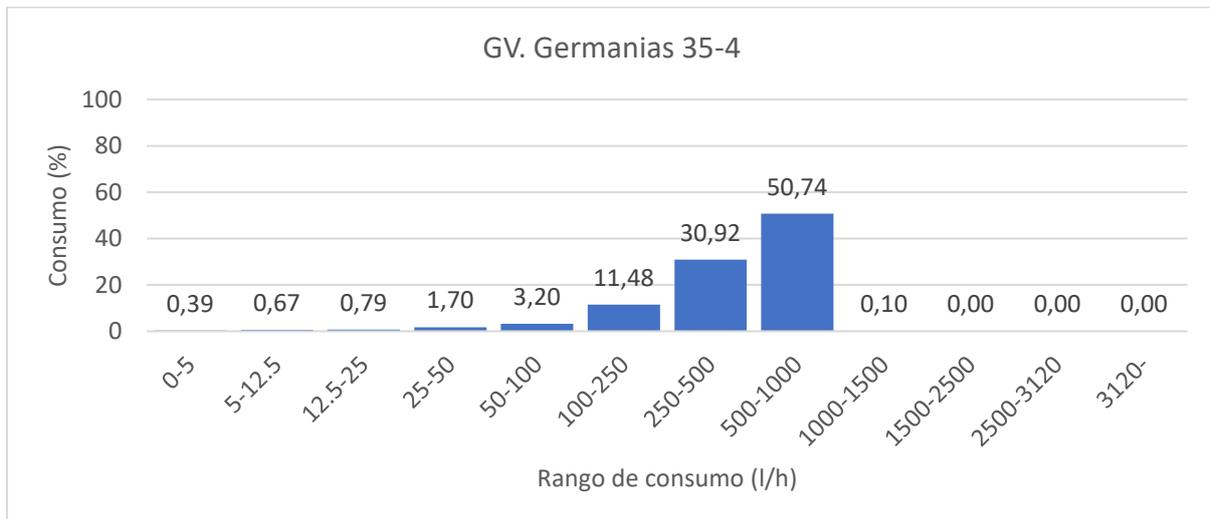


**Gráfica 50** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanias 29-10. Fuente: (Elaboración propia).

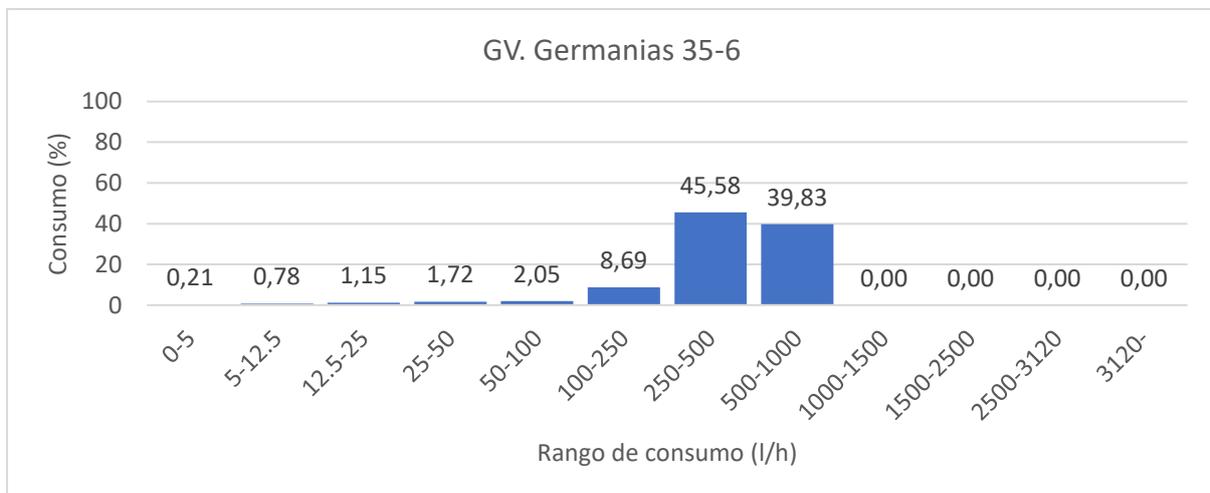
- *GV. Germanías 35*



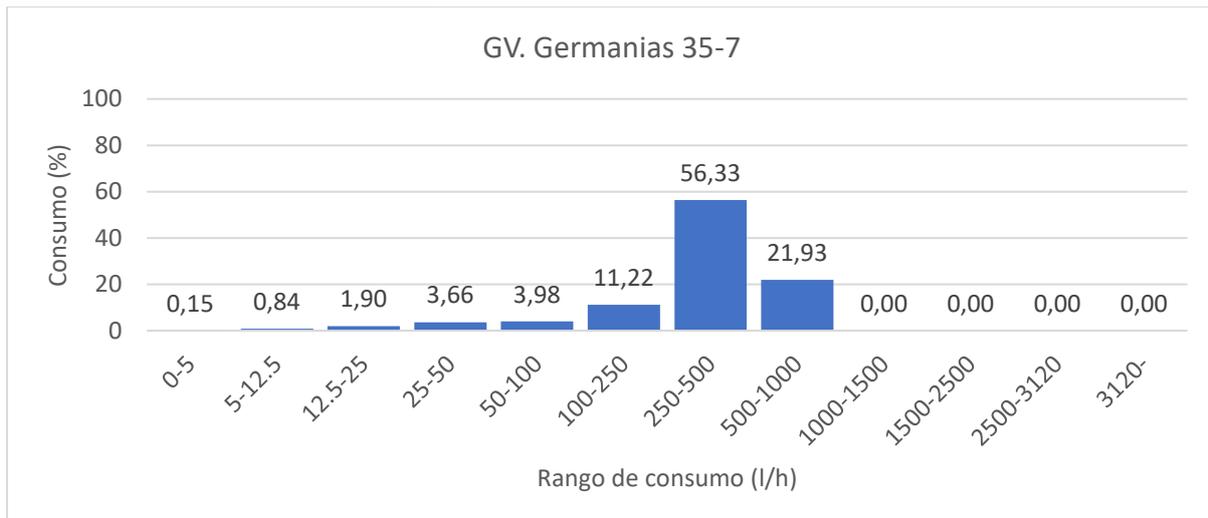
**Gráfica 51** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 35-3. Fuente: (Elaboración propia).



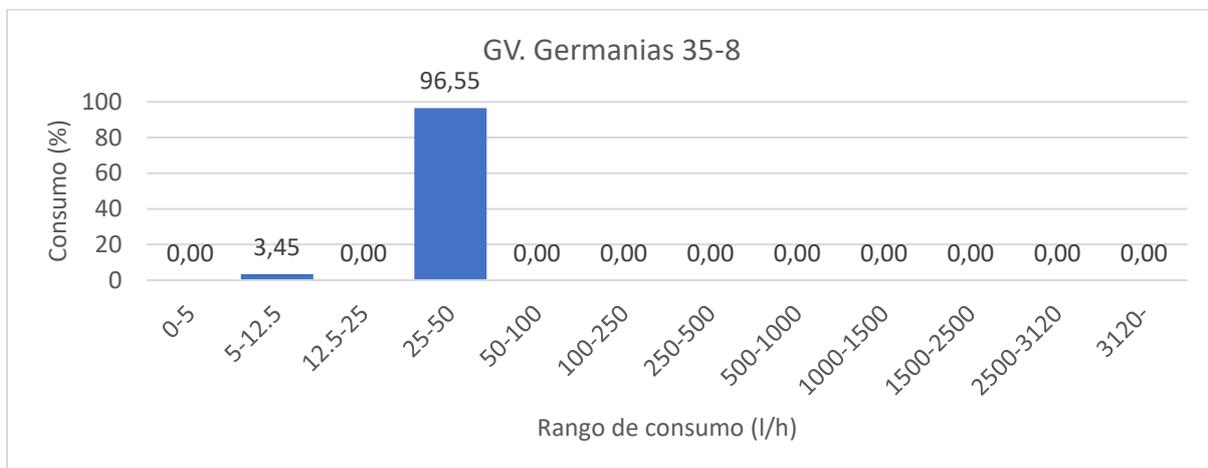
**Gráfica 52** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 35-4. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 53** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 35-6. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 54** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 35-7. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 55** Patrón de consumo de la vivienda GV. Germanías 35-8. Fuente: (Elaboración propia).

En primer lugar, es fundamental destacar que en la vivienda GV. Germanías 35-8, aproximadamente el 96.55% del caudal promedio registrado se encuentra en el rango de 25-50 litros por hora. Esta observación claramente indica la presencia de una fuga en la vivienda, y gran parte del consumo general que normalmente se refleja en el promedio se debe a estas fugas. Este caso resalta la importancia de llevar un control riguroso en cada vivienda y detectar oportunamente estas fugas. Por lo tanto, sería de gran interés analizar el comportamiento de los contadores en esta vivienda específica y evaluar su rendimiento en esta situación particular.

Como se anticipó anteriormente, en la vivienda GV. Germanías 29-2a, las discrepancias significativas en el consumo promedio y el consumo general se deben a fugas de gran magnitud



en la vivienda. Se puede observar que aproximadamente el 64.10% del agua consumida en la vivienda corresponde a caudales que oscilan entre 25-50 litros por hora.

Por otro lado, es importante destacar que existe una tendencia generalizada a la ausencia de caudales que superen los 1500 litros por hora, y solo se registran porcentajes mínimos en un par de viviendas, por lo que estos datos no resultan especialmente relevantes en este contexto.

En términos generales, aproximadamente el 90% del consumo en las viviendas se encuentra en el rango de caudales de 100 a 1000 litros por hora. En este rango, por lo general, los errores de medición de los caudales son cercanos al 0%, al menos en condiciones de caudales constantes, como se evalúan en el laboratorio. No obstante, el 10% restante del consumo se concentra en rangos de caudal inferiores, y estas mediciones suelen presentar mayores errores. Por lo tanto, es esencial no subestimar estos caudales, ya que tienen un impacto significativo en los errores globales. Además, en viviendas como GV. Germanías 29-5 y 10, también se debe prestar atención a los porcentajes de consumo en el rango de 5 a 25 litros por hora, ya que podrían indicar la presencia de fugas importantes.

Como se puede apreciar, existe una notable heterogeneidad en los tres rangos de caudal más comunes en las viviendas, y esto se debe a factores como los hábitos de consumo, los dispositivos instalados en las viviendas y el sistema hidráulico utilizado en el edificio..

### **4.3. Comportamiento metrológico entre contadores de agua mecánicos y de estado sólido (ultrasonido)**

Este análisis es fundamental para nuestro estudio, ya que se centra en comparar dos tipos de contadores de agua: los tradicionales contadores mecánicos y los más avanzados contadores de estado sólido que utilizan tecnología de ultrasonido.

Durante esta sección, examinaremos en detalle cómo se desempeñan estos dos tipos de contadores en términos de precisión y exactitud al medir el consumo de agua en hogares y negocios. Nuestra investigación se basa en datos reales recopilados de diversas viviendas y oficinas, lo que nos permitirá entender mejor las diferencias y similitudes entre estos dos enfoques de medición.

El objetivo principal aquí es ofrecer una visión objetiva y basada en pruebas sobre qué tan confiables y efectivos son los contadores de agua de estado sólido que utilizan la tecnología de ultrasonido en comparación con los contadores mecánicos. Al examinar detenidamente los resultados y analizar sus implicaciones, estamos contribuyendo de manera importante a tomar decisiones informadas sobre la selección y el uso de estos dispositivos, lo que a su vez apoya la eficiencia y la sostenibilidad en la gestión del agua en entornos residenciales y comerciales.

Para llevar a cabo este análisis, es fundamental tomar en consideración dos factores de gran relevancia: no tomar en cuenta los valores de errores cuando el consumo sea de 0 litros o muy cercano, ya que los errores entre las mediciones normalmente son muy grandes y no representan información valiosa o que esté de acuerdo con la realidad, y por otro lado, la exclusión de las mediciones obtenidas en la vivienda GV. Germanías 29-5 con el contador de número de serie P22AA808186. Esta decisión se fundamenta en los datos presentados en las Tablas 14, 15 y 16 de los anexos, donde se observa que las discrepancias entre las mediciones de los contadores mecánicos y los ultrasonidos son notablemente atípicas en comparación con el comportamiento típico registrado en las demás viviendas estudiadas como se observar en la Tabla 6.

**Tabla 6** Error promedio de diferencias de lecturas entre contadores mecánicos y de estado sólido por vivienda. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	Error promedio de diferencias de lecturas (%)
GV. Germanías 29-5	11,33%
GV. Germanías 29-6	-6,33%
GV. Germanías 29-9	-4,06%
GV. Germanías 29-10	-2,01%
GV. Germanías 31-2a	-2,18%
GV. Germanías 31-3b	-9,99%
GV. Germanías 31-4a	-4,89%
GV. Germanías 31-5b	-2,67%
GV. Germanías 31-6a	-2,55%
GV. Germanías 31-7a	-1,74%
GV. Germanías 31-7b	-0,26%
GV. Germanías 31-9b	-2,37%
GV. Germanías 31-10a	-4,97%
GV. Germanías 49-1b	-0,82%
GV. Germanías 49-2a	-4,07%
GV. Germanías 49-13a	0,96%
GV. Germanías 49-14a	-1,44%
GV. Germanías 49-20b	-2,87%
GV. Germanías 35-3	-1,24%
GV. Germanías 35-4	-2,13%
GV. Germanías 35-6	-0,07%
GV. Germanías 35-7	-0,19%
GV. Germanías 35-8	-0,24%

Este fenómeno puede deberse a dos causas principales. En primer lugar, considerando que el patrón de consumo en esta vivienda, como se detalló previamente, se asemeja al consumo real, se evidencia que los caudales registrados son acordes con los valores normales para una vivienda convencional, sin indicios de fugas significativas en general. Esto sugiere la posibilidad de que el contador mecánico utilizado en esta vivienda pueda tener problemas de fabricación o presentar algún defecto, posiblemente como resultado de algún impacto que pudo haber ocurrido después de la realización de la prueba de la curva de error.

Por otro lado, existe la posibilidad de que, dado que el patrón se establece utilizando el contador mecánico como referencia, no se considere el volumen de agua en caso de que haya una fuga



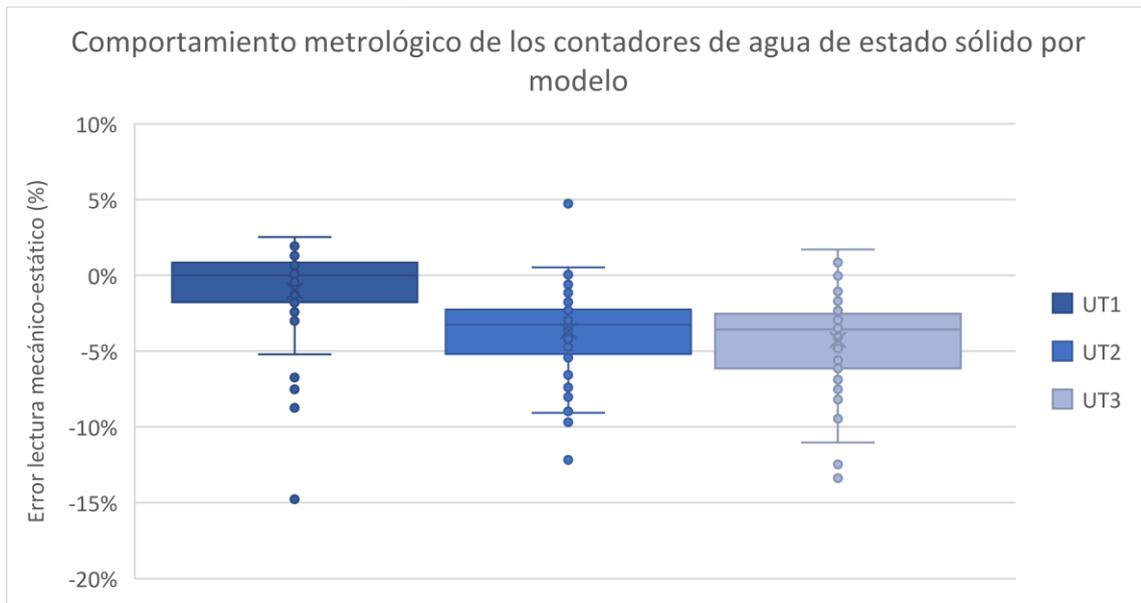
que ocurra por debajo del umbral de caudal de arranque del contador mecánico. Para ilustrar esta posibilidad, tomemos como ejemplo una discrepancia del -10% entre el contador de ultrasonidos y el contador mecánico. Supongamos que el contador de ultrasonidos ha registrado un consumo diario de 280 litros. Esto equivaldría a una diferencia de 28 litros. Si dividimos esta cantidad entre las 24 horas del día, obtendríamos una fuga de 1.2 litros por hora.

En consecuencia, es plausible concluir que esta discrepancia no necesariamente indica un error en la medición, sino más bien sugiere la posibilidad de que pueda existir una fuga que esté por debajo del umbral de caudal de arranque del contador mecánico, lo que resultaría en que no se refleje en su registro de consumo.

#### **4.3.1. Comportamiento metrológico de los contadores de agua de estado sólido**

##### **4.3.1.1. Comportamiento por modelo**

El Gráfico 56 de cajas, se ilustra la distribución del error de medición registrado en tres modelos diferentes de contadores ultrasónicos, identificados como UT1, UT2 y UT3. El eje vertical representa el error de lectura en comparación con el contador mecánico, mientras que el eje horizontal clasifica los contadores por modelo. En la Tabla 7 se presentan las principales estadísticas descriptivas para tener una mayor visión del panorama.



**Gráfica 56** Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico de los contadores de agua de estado sólido por modelo. Fuente: (Elaboración propia).

**Tabla 7** Datos estadísticos de contadores estáticos. Fuente: (Elaboración propia).

Contador	Error mínimo (%)	Error máximo (%)	Error medio (%)	Desviación estándar (%)
UT1	-14,77%	2,53%	-1,01%	3,31%
UT2	-12,17%	5,14%	-3,65%	2,85%
UT3	-13,37%	1,72%	-4,25%	3,01%

- Contador UT1

UT1, que se distingue por exhibir la menor media de error de medición (-1.01%), demuestra una precisión destacada en sus mediciones en comparación con UT2 y UT3. Esta precisión puede atribuirse, en parte, a que el contador UT1 proviene del mismo fabricante de los contadores mecánicos utilizados en estas pruebas, lo cual se podría traducir en que el totalizador electrónico tiene una programación similar, ayudando a disminuir estos errores. Sin embargo, esta precisión promedio no cuenta toda la historia. La desviación estándar de 3.31% nos informa sobre la dispersión de los errores de medición alrededor de la media, indicando que, aunque muchos errores están cerca del promedio, existe un conjunto significativo de mediciones que se desvían considerablemente de este. Este comportamiento se evidencia aún más por el rango de errores, que se extiende desde un mínimo alarmante de -14.77% hasta un



máximo sorprendente de 2.53%. Estos extremos sugieren situaciones específicas en las que UT1 puede ser propenso a errores significativos, ya sea por subestimación o sobreestimación.

En la Grafica 56 se puede observar igualmente que la mediana está muy cercana a cero para el caso de UT1, lo que podría indicar teóricamente que ambos contadores están produciendo resultados de medición muy similares o que no hay una diferencia significativa en la precisión de ambas tecnologías de contador en el contexto específico de la medición que se está realizando, sin embargo, hay que tener en cuenta que también se presenta una dispersión considerable a tener en cuenta.

- Contador UT2

UT2 muestra una media de error de -3.65%, indicando una tendencia a subestimar las mediciones. La desviación estándar, ligeramente más baja que la de UT1, se sitúa en 2.85%. Aunque esta variabilidad es menor, sigue siendo considerable, y el rango de errores desde -12.17% hasta 5.14% subraya la presencia de mediciones altamente inexactas en ciertas circunstancias. Este modelo muestra una consistencia levemente mayor en sus errores comparado con UT1, pero aún así, es susceptible a variaciones significativas que podrían ser críticas dependiendo del uso aplicado de estas mediciones.

En la gráfica de bigotes del contador UT2, la caja se encuentra más centrada, lo que sugiere una distribución más equilibrada de los errores de medición. Sin embargo, el bigote superior es largo, indicando una mayor variabilidad en los valores máximos y la posibilidad de que el UT2 se aleje de la mediana. El bigote inferior es un poco más largo, lo que indica valores atípicos en la subestimación del flujo. Esto sugiere que el UT2 es casi igual de propenso a sufrir subestimaciones y sobreestimación por encima de la mediana, pero casi siempre en errores negativos.

- Contador UT3



UT3, con una media de error de -4.25%, se alinea más estrechamente con UT2 en términos de la tendencia general a subestimar, sin embargo, presenta un incremento importante en tanto a la media de error en comparación con UT1. Su desviación estándar de 3.01% es comparable a la de UT1, lo que indica una variabilidad similar en los errores de medición. El rango de errores observados para UT3, de -13.37% a 1.72%, destaca la existencia de outliers extremos y una variabilidad que necesita ser comprendida en mayor profundidad.

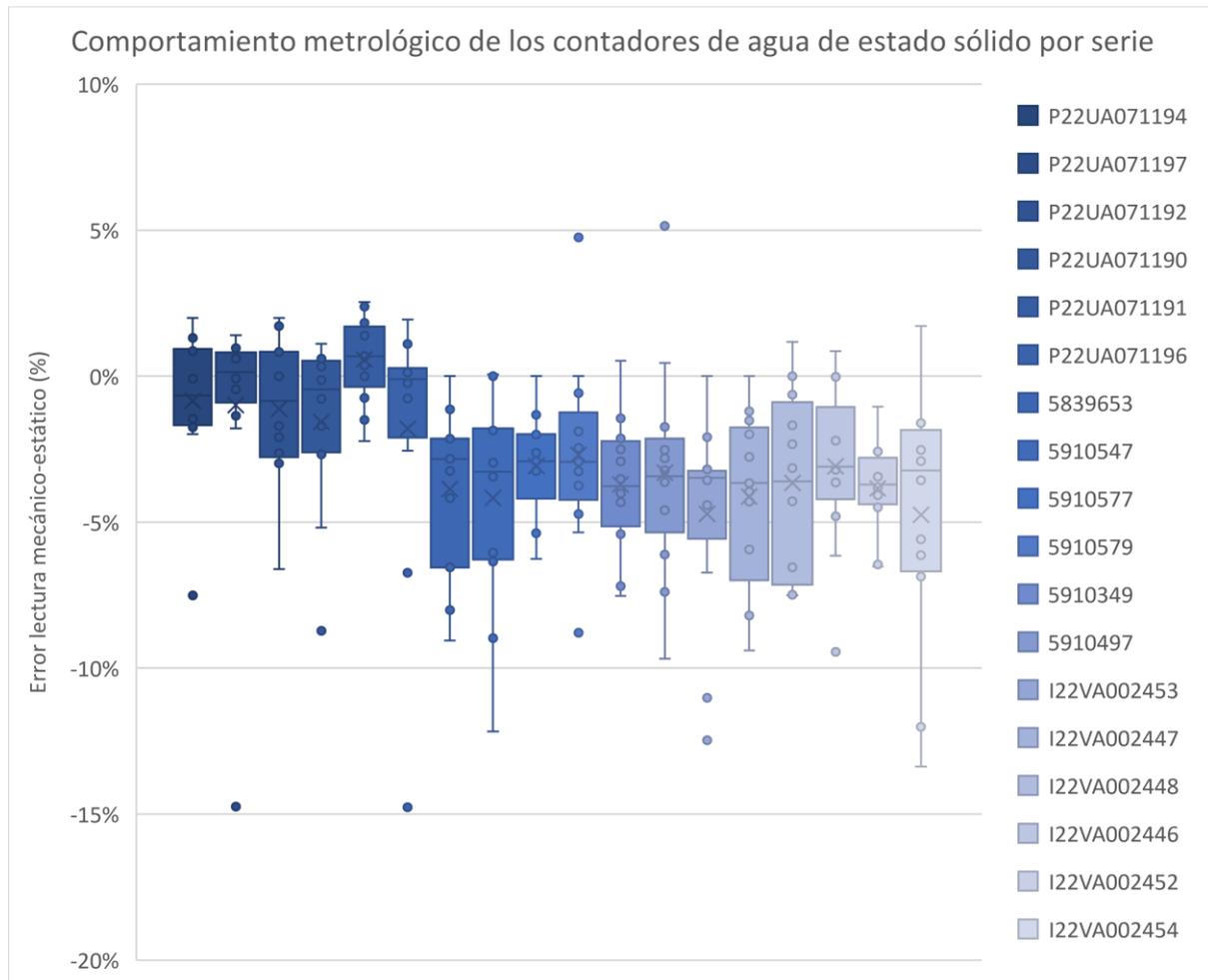
La variabilidad en los errores de medición, como se evidencia a través de las desviaciones estándar y los rangos, los cuales oscilan entre un 15.09% para UT3 y un 17.3% en el caso de UT1 y UT2, nos sugiere que existen factores variables que influyen en las mediciones. Estos factores pueden abarcar una serie de elementos no constantes que afectan la precisión de los resultados. Entre ellos, podemos mencionar variaciones en las condiciones de medición, diferencias en las tasas de flujo del agua y, potencialmente, particularidades en el diseño de los contadores. Un ejemplo de estas particularidades podría ser el software interno utilizado por cada marca de contador para realizar los cálculos, aunque sin disponer de información detallada sobre este aspecto, se vuelve desafiante llevar a cabo una comparación más rigurosa en este sentido.

La presencia de valores extremos en los errores para los tres contadores resalta la importancia de la robustez en el diseño y calibración de los contadores estáticos. Estos extremos podrían ser causados por anomalías en las condiciones de medición, errores específicos del dispositivo, o situaciones que exceden las capacidades operativas normales de los contadores.

La comparación directa de las medias de error entre los tres contadores revela diferencias en la precisión promedio. Sin embargo, dado que todos tienen variabilidades comparables, una estrategia de mejora podría enfocarse tanto en reducir la media de los errores como en minimizar su variabilidad.

### 4.3.1.2. Comportamiento por serie

La Gráfica 57 compara el error de medición entre series de contadores de agua de estado sólido y contadores mecánicos estándar. Los datos se presentan en forma de diagramas de caja que muestran la distribución del error porcentual para cada serie, resaltando las diferencias en precisión entre los tipos de contadores.



**Gráfica 57** Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico de los contadores de agua de estado sólido por serie. Fuente: (Elaboración propia).

Al analizar el comportamiento metrológico de los modelos de contadores UT1, UT2 y UT3, se pueden identificar diferencias notables. En el caso de los contadores UT1, es evidente que presentan una mediana cercana al 0%. Por ejemplo, los contadores P22UA071194 y P22UA071196 muestran un comportamiento que tiende hacia el subcontaje, un rango intercuartil bajo en comparación con otros, lo que sugiere que la variabilidad en los datos es



baja en comparación con otros contadores. Esto podría indicar que viviendas consumen agua en condiciones de caudales normales y con pocas fugas. Sin embargo, es importante destacar que existen valores extremos como se parecían de -14% y -7% aproximadamente, que requieren un análisis adicional.

En contraste, el contador P22UA071191 tiende a mostrar un patrón más cercano al sobrecontaje. Esto podría deberse a la presencia de fugas por debajo del caudal de arranque o a caudales extremadamente bajos. Como se ha mencionado previamente, los errores negativos suelen ser significativamente mayores en caudales tan bajos, lo que podría hacer que estos valores reales no aparezcan en el patrón de consumo de la vivienda, dando la impresión de un consumo normal. Además, el bajo volumen promedio de consumo en esta vivienda (22.55 l/día) sugiere que el contador ultrasónico funciona de manera eficiente a caudales bajos en comparación con los contadores mecánicos.

En cuanto a los contadores UT1 P22UA071190 y P22UA071192, se observa una mayor variabilidad en los datos, pero aún inclinados hacia el subcontaje, con rangos inferiores significativamente más amplios (de un -6.5% aproximadamente) que los superiores. Sin embargo, en general, la referencia UT1 muestra valores bastante consistentes y una variabilidad relativamente baja en comparación con las otras dos referencias. Esto podría plantear preguntas sobre posibles cambios en las mediciones que podrían no estar relacionados únicamente con el medidor en sí, sino también con el software utilizado por las diferentes tecnologías.

Para los contadores UT2 y UT3, su comportamiento es un poco similar, con rangos intercuartiles mucho más grandes en varios casos como en el I22VA002448 con valores del -1.5% hasta -7.5% aproximadamente, mostrando un poco consistencia en las lecturas en general, además de presentar bigotes muy grandes en la parte inferior de las cajas, traducido en más valores atípicos en las lecturas y mucha variabilidad.

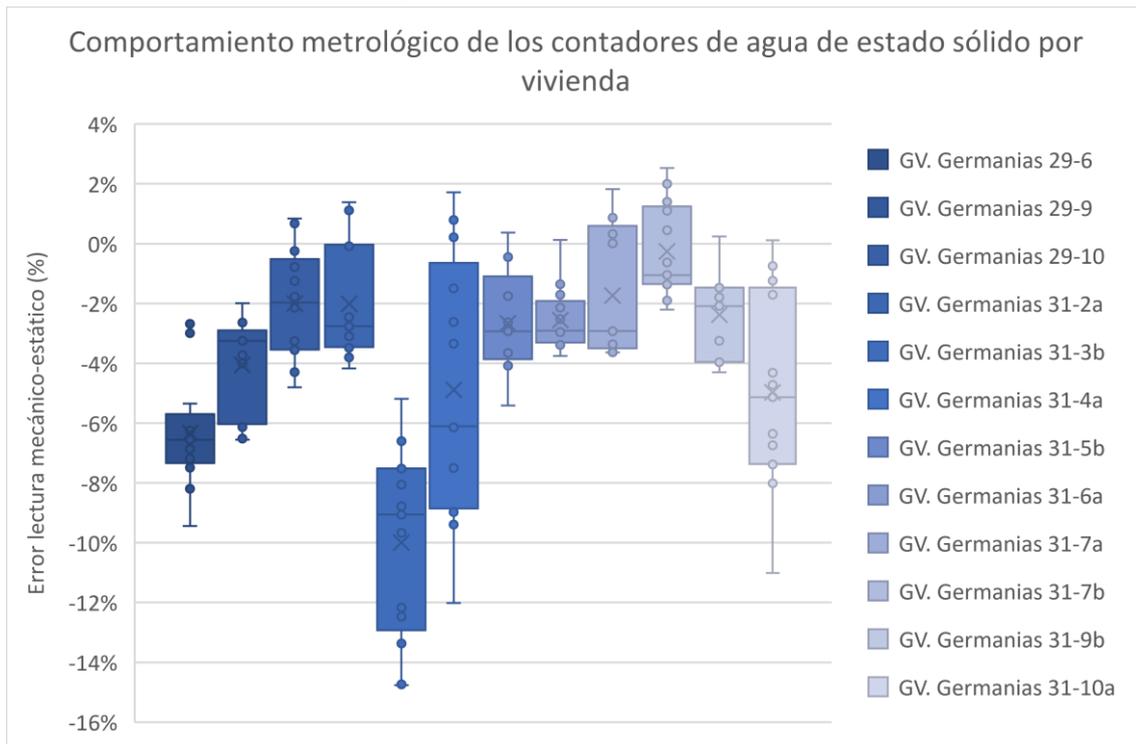


Algo muy interesante, es que la mayoría de las lecturas (incluyendo los valores atípicos) se encuentra en la línea cercana al 0% o debajo de ella, y solo algunos valores extremos se presentan con errores positivos frente a las lecturas, por lo cual, sería interesante poder estudiar más detalladamente el comportamiento en estos escenarios, ya que son errores cercanos al 5% que podrían ser ocasionados por caudales muy bajo que el contador mecánico no puede leer. Se puede observar igualmente que los rangos intercuartiles están en promedio entre -2% y -6%, lo cual implica una poca consistencia en general con las lecturas.

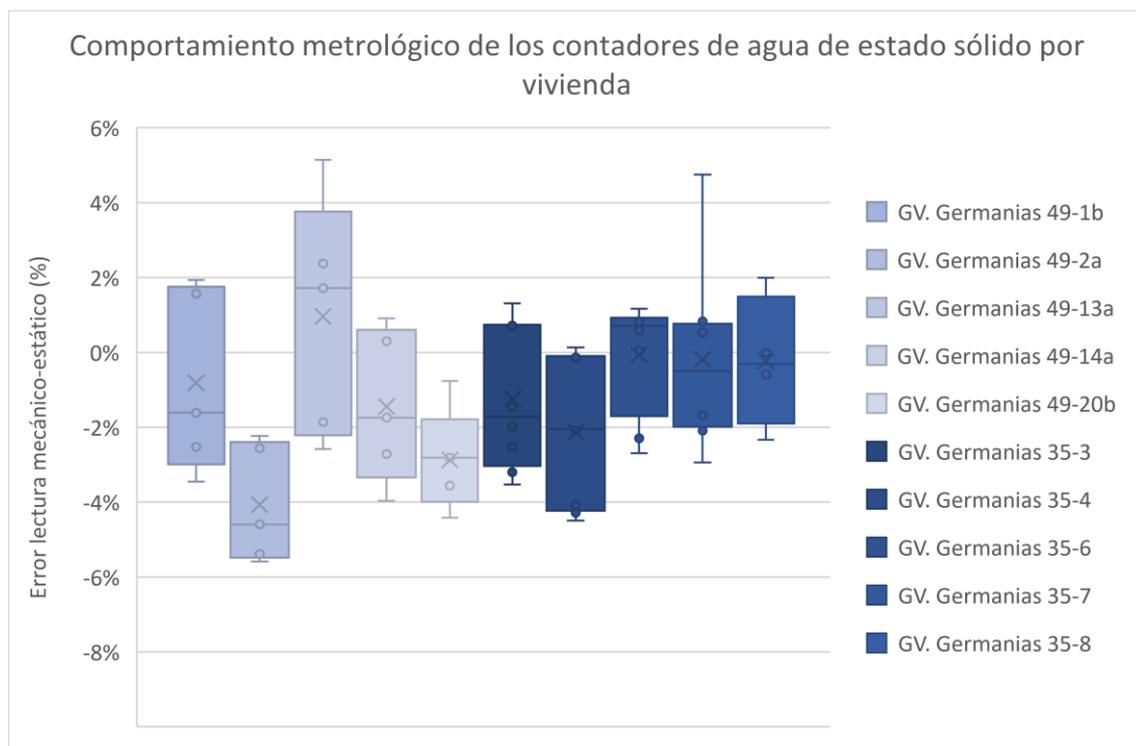
En resumen, el análisis del comportamiento metrológico de los contadores UT1, UT2 y UT3 revela diferencias notables en términos de subcontaje, sobrecontaje y variabilidad de datos. Estos hallazgos subrayan la importancia de investigar más a fondo tanto los medidores como el software asociado para comprender mejor las diferencias en las mediciones y garantizar la precisión en la medición del consumo de agua.

#### **4.3.1.3. Comportamiento por vivienda**

Las Gráficas 58 y 59 muestran el análisis del error de medición de contadores de agua de estado sólido en comparación con los contadores mecánicos en distintas viviendas. Se presenta una serie de diagramas de caja por vivienda, cada uno representando la variabilidad y la mediana de los errores de medición para esa localización específica. Estos datos son importantes para evaluar la fiabilidad de los contadores de estado sólido y para entender cómo se comparan con los contadores mecánicos tradicionales en diferentes contextos domésticos.



**Gráfica 58** Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico de los contadores de agua de estado sólido por vivienda. Fuente: (Elaboración propia).



**Gráfica 59** Gráfico de caja y bigotes del comportamiento metrológico de los contadores de agua de estado sólido por vivienda. Fuente: (Elaboración propia).



En estas gráficas vemos información bastante importante, ya que podemos comparar estos valores con el comportamiento de consumo de las viviendas y ver el comportamiento metrológico en ciertas circunstancias.

En el caso de GV. Germanías 35-8, donde el caudal predominante se encuentra en el rango de 25-50 litros por hora, se presume que esto se debe a fugas en la vivienda. Se observa un comportamiento medio entre el subcontaje y el sobrecontaje. Es importante destacar que el contador ultrasónico UT1, fabricado por el mismo fabricante, registró más caudal que el contador mecánico en esta vivienda en particular. Esto sugiere que, en este caso, es probable que los subcontajes observados en otros tipos de contadores se deban más al software interno de cada contador que a la tecnología de medición en sí. Se puede apreciar que, en este contexto, el contador ultrasónico, especialmente el tipo UT1, muestra un mejor rendimiento a caudales bajos en comparación con otros contadores.

En varios casos, como GV. Germanías 31-7b, 31-7a, 49-1b, 49-13, 49-14a y otras viviendas en GV. Germanías 35, se observa un fenómeno de sobrecontaje en algunas de sus mediciones, especialmente en el tipo UT1. Estos valores positivos sugieren la posibilidad de fugas de pequeño caudal, posiblemente ocurriendo antes del caudal de arranque. En consecuencia, los contadores ultrasónicos parecen funcionar de manera más precisa y precisa en estos rangos más bajos. Los valores de subcontaje que se encuentran también pueden ser el resultado de diferencias en el software o en los procesos de fabricación.

Por otro lado, en el caso de GV. Germanías 31-3b, se observan datos bastante anómalos, con lecturas que oscilan entre -6% y -15% aproximadamente. Esto indica un subcontaje significativo en general, y podría sugerir la presencia de algún error en el contador mecánico.

Es posible que la presencia de sólidos dentro del contador o algún otro factor esté acelerando el flujo de agua, lo que hace que la turbina gire más rápido y registre un volumen mayor.

En el caso de GV. Germanías 4a y 10a, se observa una variabilidad significativa en las mediciones de los contadores. Esta variabilidad puede atribuirse en gran medida al patrón de consumo de las viviendas, que experimenta cambios bruscos en el caudal de agua utilizado. Estos cambios repentinos en el caudal pueden tener un impacto directo en la lectura de los contadores, ya que pueden dificultar la medición precisa del consumo.

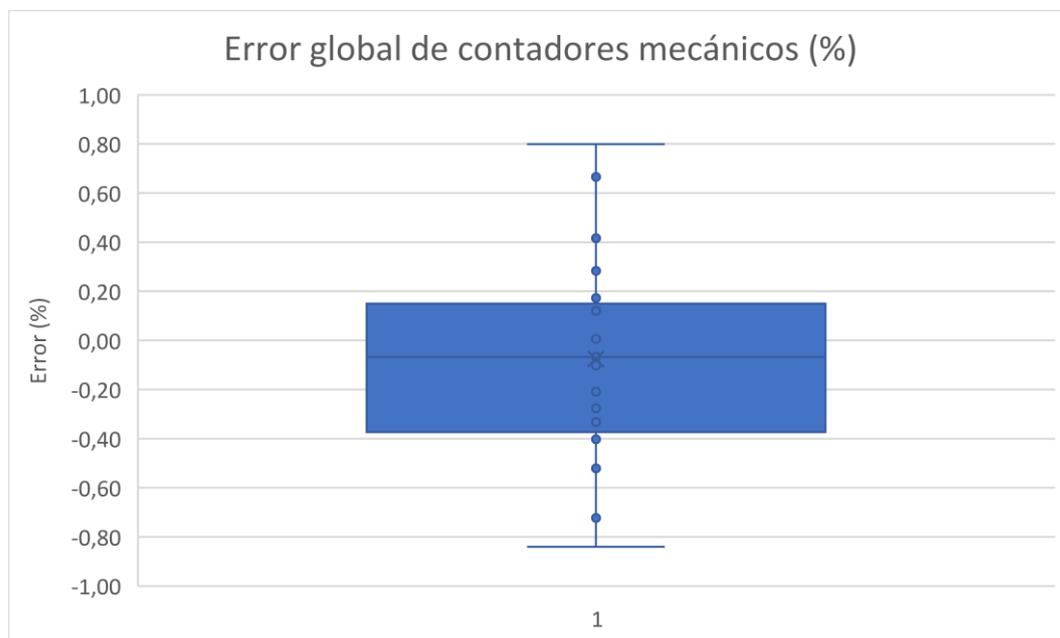
#### 4.3.2. Error global promedio de los contadores mecánicos y comparación con los contadores de estado sólido

Como se explicó en el proceso de cálculo, el error global de los contadores mecánicos en cada vivienda se determinó mediante la ponderación de los diferentes rangos de caudal establecidos en los patrones de consumo, teniendo en cuenta sus respectivos pesos porcentuales y el valor medio de ese rango en la curva de error específica del contador instalado. Con esta información, se pudo generar una Tabla 8 que resume todos los errores globales de los contadores mecánicos en función de las viviendas en las que están instalados.

**Tabla 8** Errores globales para cada contador mecánico según vivienda. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	N. serie contador mecánico	Error global (%)
GV. Germanías 29-5	P22AA808186	-0,10
GV. Germanías 29-6	P22AA808191	-0,10
GV. Germanías 29-9	P22AA808193	0,28
GV. Germanías 29-10	P22AA808188	-0,21
GV. Germanías 31-2a	P22AA808195	-0,33
GV. Germanías 31-3b	P22AA808203	-0,52
GV. Germanías 31-4a	P22AA808199	-0,84
GV. Germanías 31-5b	P22AA808192	-0,07
GV. Germanías 31-6a	P22AA808196	0,02
GV. Germanías 31-7a	P22AA808185	0,42
GV. Germanías 31-7b	P22AA808200	-0,72
GV. Germanías 31-9b	P22AA808190	-0,37

GV. Germanías 31-10a	P22AA808197	-0,40
GV. Germanías 49-1b	P22AA808194	0,02
GV. Germanías 49-2a	P22AA808201	0,12
GV. Germanías 49-13a	P22AA808202	-0,40
GV. Germanías 49-14a	P22AA808198	0,01
GV. Germanías 49-20b	P22AA808184	0,67
GV. Germanías 35-3	P22AA808201	0,17
GV. Germanías 35-4	P22AA808198	-0,06
GV. Germanías 35-6	P22AA808194	0,15
GV. Germanías 35-7	P22AA808202	-0,28
GV. Germanías 35-8	P22AA808184	0,80
<b>Error global medio (%)</b>		<b>-0,08</b>



**Gráfica 60** Gráfico de caja y bigotes de los errores globales para cada contador mecánico según vivienda. Fuente: (Elaboración propia).

El diagrama de caja (Gráfica 60) muestra una variedad de comportamientos en los errores de los contadores mecánicos en relación con el registro del agua. Numéricamente, la mediana se sitúa ligeramente por debajo del 0%, lo que sugiere que, en general, los contadores tienden a subestimar el consumo real de agua. Sin embargo, la distribución de los errores es asimétrica, dado que el bigote inferior, que se extiende hasta cerca del -0,8%, es más largo que el superior, que llega alrededor del 0,80%. Esto indica que los casos extremos de subestimación son ligeramente más pronunciados que los de sobrestimación.



Los valores atípicos se distribuyen a ambos lados del rango de errores, tanto en la sobrestimación como en la subestimación, pero hay una concentración mayor de ellos por debajo de cero. Esto reafirma que hay más casos en los que los contadores subestiman el consumo de agua. La presencia de estos valores atípicos sugiere que hay contadores con errores significativos que podrían deberse a defectos, necesidad de calibración o características del entorno de instalación.

El rango intercuartil, que abarca desde Q1 hasta Q3 y representa el 50% central de los datos, parece ser relativamente pequeño en comparación con la totalidad del rango de errores, lo que indica que la mitad de los contadores tienen errores relativamente moderados. No obstante, la existencia de valores atípicos significa que hay contadores que se desvían considerablemente de este comportamiento típico. Por último, teniendo en cuenta todos los contadores ensayados en el laboratorio, podemos obtener un promedio de error global de  $-0.08\%$ , lo cual es muy bajo y se puede estimar casi que en  $0\%$ , pero teniendo en cuenta que el comportamiento metrológico de estos aparatos en condiciones no permanentes varía mucho respecto a los valores obtenidos en laboratorio.

Ahora, al sumar el volumen total registrado por los contadores mecánicos y los ultrasónicos a lo largo de las pruebas de campo, los datos se encuentran resumidos en la Tabla 9. Al comparar estos volúmenes, se observa que, en términos generales, los contadores de estado sólido de tecnología ultrasónica registran aproximadamente un  $2.77\%$  menos de agua que los contadores mecánicos utilizados en el campo. Esto implica que, en el contexto de este estudio y bajo sus condiciones particulares, los contadores de estado sólido presentan un error medio ponderado de aproximadamente un  $-2.85\%$ .

**Tabla 9** Error promedio entre la lectura de contadores mecánicos y estáticos. Fuente: (Elaboración propia).

Vol. Mecánico (l)	784479,76
Vol. Estático (l)	762722,00
Error (%)	-2,77%

Estos datos obtenidos presentan varias limitaciones importantes, por lo que deben ser considerados como una aproximación. En primer lugar, los patrones de consumo se derivaron directamente de las lecturas del contador mecánico, lo que podría no reflejar completamente el consumo real, ya que podría haber caudales por debajo del umbral de arranque que no se estén registrando en muchos casos.

Además, sería de gran relevancia obtener el error global de los contadores de estado sólido utilizando la misma metodología aplicada a los contadores mecánicos. Esto permitiría realizar una comparación más directa y precisa entre ambos tipos de contadores, teniendo en cuenta las mismas condiciones y parámetros de evaluación.

## 5. CONCLUSIONES

Después de recolectar toda la información y los datos de lectura tanto de los contadores mecánicos y de ultrasonido, podemos obtener resultados importantes en cuanto al comportamiento metrológico de los contadores de ultrasonido en comparación con los contadores y analizar un su comportamiento en diferentes situación y patrones de consumo. A continuación se presentan las principales conclusiones:

- Los patrones de consumo derivados de las lecturas del contador mecánico podrían no reflejar completamente el consumo real, debido a caudales por debajo del umbral de arranque que no se registran. Este aspecto subraya la importancia de considerar los límites de sensibilidad de cada tecnología de medición y su impacto en la precisión de los datos de consumo.



- Se aprecia como el consumo promedio de las viviendas, aproximadamente un 90% de este, se sitúa en rangos de caudal de 100 a 1000 l/h, evidenciando una nula presencia en caudales superiores a 1500 l/h y contando igualmente con un 10% aproximado de caudal a bajos rangos, que influencia el error global de las mediciones a un subcontaje normalmente.
- Se destaca una diferencia notable en la precisión de medición entre los contadores de estado sólido (ultrasónicos) y los mecánicos. Los contadores de estado sólido presentan, en general, un error medio ponderado de aproximadamente -2.85%, lo que indica que tienden a registrar menos consumo de agua en comparación con los contadores mecánicos. Esta diferencia en la precisión puede ser crucial para la gestión del agua y la facturación.
- A pesar de las expectativas y ventajas potenciales asociadas con la tecnología ultrasónica y otros avances en los contadores estáticos, los datos recopilados en este estudio no muestran una ventaja clara en términos de una medición más precisa del consumo de agua en entornos residenciales. Los contadores mecánicos aún demuestran ser competentes en la mayoría de las situaciones, y su rendimiento no es superado de manera significativa por los contadores estáticos monitorizados.
- Es importante resaltar la viabilidad que puede haber entre las lecturas para cada serie, con diferencias que pueden alcanzar valores de 18% entre sus valores máximo y mínimo, lo que indica una variabilidad muy grande que debería corregirse o analizar a fondo para casos diferentes.
- Es evidente la diferencias entre los softwares que analizan el caudal en flujo no permanente para cada uno de los modelos, debido principalmente a las discrepancias que hay en sus medidas, siendo esto un punto importante de mejora. Además, la variabilidad en el error de medición entre diferentes modelos de contadores de estado



sólido puede oscilar significativamente, con algunos modelos mostrando una desviación estándar de  $\pm 1\%$  y otros una desviación más amplia de  $\pm 3\%$ . Esta variabilidad subraya la necesidad de estandarización y mejora en los algoritmos de medición.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Vasca del Agua (URA), s.f. Hoja informativa sobre tipos de contadores.

Arregui, F., 1999. Propuesta de una metodología para el análisis y gestión del parque de contadores de agua de un abastecimiento. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

Arregui, F., 2002. Cálculo de las incertidumbres en la estimación del error del parque de contadores. Instituto Tecnológico del Agua (ITA). Universitat Politècnica de València.

Arregui, F., Cabrera Jr., E., Cobacho, R., 2007. Gestión Integral de Contadores de Agua. Instituto Tecnológico del Agua (ITA). Universitat Politècnica de València.

Arregui, F., Cabrera Jr., E., Cobacho, R. & Garcia-Serra, J., 2005. Key factors Affecting Water Meter Accuracy.

Arregui, F., Balaguer, M., Soriano, J. & Garcia-Serra, J., 2015. Quantifying measuring errors of new residential water meters considering different customer consumption patterns. Urban Water Journal.

Asociación Española De Abastecimientos De Agua Y Saneamiento (Aeas), 2020. Guía de buenas prácticas para la selección y adquisición de contadores de agua fría.

Cabrera Marcet, E., Cabrera Rochera, E. (2009) Balances hídricos en redes de agua. El criterio de la International Water Association (IWA). Instituto Tecnológico del Agua (ITA). Universitat Politècnica de València.

Cárdenas C., 2019. Corresponsabilidad, sustentabilidad hídrica y objetivo de desarrollo sustentable (ODS) 6. Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR).

Colado M., 2012. Evaluación del error global de medición de contadores domésticos nuevos. Tesis de máster. Universitat Politècnica de València.

Deoreo W., 202. Residential End Uses of Water, Version 2. The Water Research Foundation. El Instituto Boliviano de Metrología (IBMETRO), 2022. Determinación del error de indicación. Recuperado de: <https://www.ibmetro.gob.bo/node/717>.

EMAYA, 2021. EMAYA ya ha sustituido 30.000 contadores mecánicos por contadores inteligentes, casi un 30% del total de Palma. Recuperado de: <https://www.emaya.es/actualitat/actualidad/2023/15-02-2023/>.

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), 2009. Medidores de agua potable. Definiciones y clasificación. Norma técnica de servicio.

Garzón A.J., 2014. Evaluación patrones de consumo y caudales máximos instantáneos de usuarios residenciales de la ciudad de Bogotá. Tesis de máster. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.



KROHNE, 2020. Fundamentals of ultrasonic flow measurement for industrial applications.

Kroner C., Aksellib B., Benková M., Borchlinga A., Bükler O., Christoffersen N., Pavlasc J., Schumann D., Seypkaf V., Ünsalb B., Warnecke H., 2022. Evaluation of the measurement performance of water meters depending on water quality. IWA.

Manco D.G., Guerrero J., Ocampo A.M., 2012. Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. Revista Ingenierías Universidad de Medellín.

Palau C.V., 2005. Aportaciones a la gestión de los sistemas de medición de caudal en redes de distribución de agua a presión. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València.

Ramos M., Socarrás R., León A.J., 2019. Patrones de consumo doméstico de agua: primer resultado en la Empresa Aguas de La Habana.

Stoker D.M., Barfuss S.L., Johnson M.C., 2012. Flow measurement accuracies of in-service residential water meter. American Water Works Association.

Valera Talavera, O., Hernández García, A., Bazán, L.A., Arregui de la Cruz, F., 2019. Contadores de agua para la medición del consumo doméstico: contadores mecánicos frente a contadores de estado sólido. Instituto Tecnológico del Agua (ITA). Universitat Politècnica de València.

## 7. ANEXOS

**Tabla 10** Datos de errores de contadores mecánicos en laboratorio. Fuente: (Elaboración propia a partir de datos de GOLab).

Número de serie	Caudal (l/h) / Error (%)				
	13.1	21	750	2375	3031
P22AA808184	2,54	1,15	0,58	-0,37	-0,23
P22AA808185	1,14	0,75	0,16	-0,88	-0,98
P22AA808186	2,54	0,95	-0,12	-0,73	-0,74
P22AA808188	0,34	-0,64	0,08	-0,69	-0,69
P22AA808190	0,44	-0,74	0,03	-1,00	-1,08
P22AA808191	1,04	-0,24	0,32	-0,29	-0,50
P22AA808192	0,44	-0,44	0,21	-0,51	-0,78
P22AA808193	0,84	-0,44	0,71	0,03	-0,18
P22AA808194	0,65	-0,32	0,55	-0,02	0,04
P22AA808195	-0,05	-0,72	0,04	-0,81	-0,63
P22AA808196	-0,35	-0,92	0,59	0,21	0,27
P22AA808197	-0,25	-0,82	0,39	-0,12	0,00
P22AA808198	1,04	-0,32	0,20	-0,43	-0,66
P22AA808199	0,35	-0,52	-0,52	-0,69	-0,73
P22AA808200	0,44	-0,52	-0,72	-0,94	-0,71
P22AA808201	1,54	0,08	0,29	-0,49	-0,76
P22AA808202	0,44	-0,42	0,02	-0,83	-0,65
P22AA808203	0,44	-0,32	0,11	-0,72	-0,87

**Tabla 11** Consumo de agua en litros para cada rango de caudal y vivienda. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	Rango de caudal (l/h) / Porcentaje de caudal por rango (%)												Consumo prom diario (%)
	T1 (0-5)	T2 (5-12.5)	T3 (12.5-25)	T4 (25-50)	T5 (50-100)	T6 (100-250)	T7 (250-500)	T8 (500-1000)	T9 (1000-1500)	T10 (1500-2500)	T11 (2500-3120)	T12 (3120-)	
GV. Germanías 29-5	1,19	12,22	5,71	4,08	3,64	28,02	144,13	86,55	0,53	0,00	0,00	0,00	286,06
GV. Germanías 29-6	0,84	1,90	2,49	4,50	10,44	30,94	138,76	20,53	0,00	0,00	0,00	0,00	210,41
GV. Germanías 29-9	0,48	1,12	2,01	4,09	9,86	53,16	91,10	153,08	2,82	0,01	0,00	0,00	317,73
GV. Germanías 29-10	0,42	1,72	27,40	4,17	6,29	31,92	99,80	156,12	5,27	0,10	0,00	0,00	333,21
GV. Germanías 31-2a	0,31	0,98	0,78	1,17	1,94	13,94	49,33	45,65	2,16	0,06	0,00	0,00	116,30
GV. Germanías 31-3b	0,38	6,02	3,46	2,25	1,96	10,25	3,59	79,67	0,44	0,00	0,00	0,00	108,02
GV. Germanías 31-4a	0,84	7,82	3,52	4,00	4,40	13,15	46,80	155,60	4,52	0,00	0,00	0,00	240,65
GV. Germanías 31-5b	0,61	1,42	2,10	4,64	9,38	38,54	93,67	138,49	1,82	0,00	0,00	0,00	290,67
GV. Germanías 31-6a	0,10	0,17	3,83	1,00	1,18	3,86	47,30	34,28	0,20	0,00	0,00	0,00	91,93
GV. Germanías 31-7a	0,47	1,09	1,48	2,83	7,27	87,22	154,24	55,28	0,25	0,00	0,00	0,00	310,13
GV. Germanías 31-7b	0,09	0,56	0,85	1,37	1,84	7,89	32,35	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	45,28

GV. Germanías 31-9b	0,04	0,15	0,20	0,35	0,56	3,62	10,87	6,64	0,11	0,00	0,00	0,00	22,55
GV. Germanías 31-10a	0,07	0,18	0,32	0,86	1,48	11,48	25,58	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	40,86
GV. Germanías 49-1b	1,12	3,71	1,59	2,89	4,03	24,84	322,88	48,93	1,60	0,00	0,00	0,00	411,58
GV. Germanías 49-2a	0,00	0,01	5,03	689,56	27,66	87,47	200,37	63,80	1,91	0,00	0,00	0,00	1075,80
GV. Germanías 49-13a	4,31	9,62	9,85	9,95	13,47	159,94	216,39	158,85	19,87	0,25	0,00	0,00	602,50
GV. Germanías 49-14a	0,35	1,00	1,91	3,49	7,26	29,57	98,71	150,84	0,99	0,00	0,00	0,00	294,13
GV. Germanías 49-20b	0,77	1,75	2,14	18,41	10,84	55,35	95,23	303,76	15,55	0,29	0,00	0,00	504,07
GV. Germanías 35-3	0,24	0,36	0,72	1,82	3,68	14,74	133,11	43,70	0,10	0,00	0,00	0,00	198,48
GV. Germanías 35-4	0,33	0,57	0,68	1,45	2,72	9,79	26,36	43,26	0,09	0,00	0,00	0,00	85,26
GV. Germanías 35-6	0,40	1,50	2,20	3,31	3,94	16,69	87,57	76,52	0,00	0,00	0,00	0,00	192,13
GV. Germanías 35-7	0,23	1,32	2,98	5,76	6,26	17,66	88,67	34,51	0,00	0,00	0,00	0,00	157,40
GV. Germanías 35-8	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01

**Tabla 12** Consumo de agua en porcentaje sobre total consumido para cada rango de caudal y vivienda. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	Rango de caudal (l/h) / Porcentaje de caudal por rango (%)												Consumo prom diario (%)
	T1 (0-5)	T2 (5-12.5)	T3 (12.5-25)	T4 (25-50)	T5 (50-100)	T6 (100-250)	T7 (250-500)	T8 (500-1000)	T9 (1000-1500)	T10 (1500-2500)	T11 (2500-3120)	T12 (3120-)	
GV. Germanías 29-5	0,42	4,27	1,99	1,43	1,27	9,79	50,38	30,26	0,19	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 29-6	0,40	0,90	1,18	2,14	4,96	14,71	65,95	9,76	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 29-9	0,15	0,35	0,63	1,29	3,10	16,73	28,67	48,18	0,89	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 29-10	0,13	0,52	8,22	1,25	1,89	9,58	29,95	46,85	1,58	0,03	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 31-2a	0,27	0,84	0,67	1,00	1,66	11,99	42,41	39,25	1,86	0,05	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 31-3b	0,35	5,57	3,20	2,09	1,82	9,49	3,32	73,76	0,40	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 31-4a	0,35	3,25	1,46	1,66	1,83	5,46	19,45	64,66	1,88	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 31-5b	0,21	0,49	0,72	1,60	3,23	13,26	32,23	47,65	0,62	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 31-6a	0,11	0,18	4,17	1,09	1,28	4,20	51,45	37,29	0,22	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 31-7a	0,15	0,35	0,48	0,91	2,34	28,12	49,73	17,82	0,08	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 31-7b	0,20	1,24	1,89	3,03	4,07	17,43	71,45	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

GV. Germanías 31-9b	0,16	0,68	0,91	1,57	2,50	16,05	48,18	29,44	0,51	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 31-10a	0,17	0,43	0,79	2,11	3,63	28,09	62,62	2,16	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 49-1b	0,27	0,90	0,39	0,70	0,98	6,03	78,45	11,89	0,39	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 49-2a	0,00	0,00	0,47	64,10	2,57	8,13	18,63	5,93	0,18	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 49-13a	0,72	1,60	1,64	1,65	2,24	26,55	35,92	26,37	3,30	0,04	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 49-14a	0,12	0,34	0,65	1,19	2,47	10,05	33,56	51,28	0,34	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 49-20b	0,15	0,35	0,42	3,65	2,15	10,98	18,89	60,26	3,08	0,06	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 35-3	0,12	0,18	0,37	0,92	1,85	7,43	67,06	22,02	0,05	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 35-4	0,39	0,67	0,79	1,70	3,20	11,48	30,92	50,74	0,10	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 35-6	0,21	0,78	1,15	1,72	2,05	8,69	45,58	39,83	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 35-7	0,15	0,84	1,90	3,66	3,98	11,22	56,33	21,93	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
GV. Germanías 35-8	0,00	3,45	0,00	96,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00

**Tabla 13** Lecturas de consumo en campo de los contadores mecánicos y estáticos. Fuente: (Elaboración propia).

Vivienda	Puerta	Nser. mec	Nser. US	Fecha 1	Lect mec 1 (L)	Lec US 1 (L)	Fecha 2	Lect mec 2 (L)	Lec US 2 (L)	Vol. mec (L)	Vol. US (L)	Dife. Mec-US (L)	Error. Mec-US (%)
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	5839653	26/10/2022	783,96	816	07/11/2022	3894,74	4383	3110,78	3567	-456,22	14,67%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	I22VA002453	26/10/2022	787,10	1340	07/11/2022	3035,44	3437	2248,34	2097	151,34	-6,73%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	5910547	26/10/2022	789,92	817	07/11/2022	4781,01	4681	3991,09	3864	127,09	-3,18%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	5910577	26/10/2022	784,34	819	07/11/2022	4645,27	4604	3860,93	3785	75,93	-1,97%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	5910579	26/10/2022	792,37	812	07/11/2022	2500,40	2478	1708,03	1666	42,03	-2,46%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	5910349	26/10/2022	790,55	818	07/11/2022	2261,25	2178	1470,70	1360	110,70	-7,53%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	I22VA002447	26/10/2022	800,48	2197	07/11/2022	3407,31	4559	2606,83	2362	244,83	-9,39%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	P22UA071194	26/10/2022	785,52	4	07/11/2022	4218,47	3377	3432,95	3373	59,95	-1,75%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	P22UA071197	26/10/2022	800,25	284158	07/11/2022	2280,37	285618	1480,12	1460	20,12	-1,36%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	P22UA071192	26/10/2022	783,61	259218	07/11/2022	4869,10	263304	4085,49	4086	-0,51	0,01%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	I22VA002448	26/10/2022	789,84	2173	07/11/2022	1424,87	2804	635,03	631	4,03	-0,63%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	I22VA002446	26/10/2022	784,67	2013	07/11/2022	1512,85	2726	728,18	713	15,18	-2,08%
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	P22UA071190	26/10/2022	794,69	210927	07/11/2022	1502,76	211623	708,07	696	12,07	-1,70%

GV. Germanías 49	1b	P22AA808194	I22VA002452	27/10/2022	802,10	1341	07/11/2022	2115,40	2609	1313,30	1268	45,30	-3,45%
GV. Germanías 49	2a	P22AA808201	P22UA071191	27/10/2022	811,33	271460	07/11/2022	13567,45	283932	12756,12	12472	284,12	-2,23%
GV. Germanías 49	13a	P22AA808202	I22VA002454	27/10/2022	797,62	1507	07/11/2022	6370,88	7176	5573,26	5669	-95,74	1,72%
GV. Germanías 49	14a	P22AA808198	5910497	27/10/2022	795,81	818	07/11/2022	3223,15	3203	2427,34	2385	42,34	-1,74%
GV. Germanías 49	20b	P22AA808184	P22UA071196	27/10/2022	807,36	282972	07/11/2022	5804,55	287931	4997,19	4959	38,19	-0,76%
<b>2 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	I22VA002453	07/11/2022	3894,74	3437	21/11/2022	7835,70	7809	3940,96	4372	-431,04	10,94%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	5839653	07/11/2022	3035,44	4383	21/11/2022	6103,52	7250	3068,08	2867	201,08	-6,55%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	5910577	07/11/2022	4781,01	4604	21/11/2022	9316,26	8996	4535,25	4392	143,25	-3,16%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	5910547	07/11/2022	4645,27	4681	21/11/2022	8969,77	8929	4324,50	4248	76,50	-1,77%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	5910349	07/11/2022	2500,40	2178	21/11/2022	4034,91	3674	1534,51	1496	38,51	-2,51%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	5910579	07/11/2022	2261,25	2478	21/11/2022	3853,14	3930	1591,89	1452	139,89	-8,79%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	I22VA002446	07/11/2022	3407,31	2726	21/11/2022	12354,19	11123	8946,88	8397	549,88	-6,15%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	I22VA002448	07/11/2022	4218,47	2804	21/11/2022	8272,32	6693	4053,85	3889	164,85	-4,07%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	P22UA071192	07/11/2022	2280,37	263304	21/11/2022	4159,45	265151	1879,08	1847	32,08	-1,71%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	P22UA071190	07/11/2022	4869,10	211623	21/11/2022	9315,84	216084	4446,74	4461	-14,26	0,32%

GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	P22UA071194	07/11/2022	1424,87	3377	21/11/2022	2150,39	4117	725,52	740	-14,48	2,00%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	I22VA002447	07/11/2022	1512,85	4559	21/11/2022	1680,49	4720	167,64	161	6,64	-3,96%
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	P22UA071197	07/11/2022	1502,76	285618	21/11/2022	2062,14	286178	559,38	560	-0,62	0,11%
GV. Germanías 49	1b	P22AA808194	P22UA071196	07/11/2022	2115,40	287931	21/11/2022	7587,58	293509	5472,18	5578	-105,82	1,93%
GV. Germanías 49	2a	P22AA808201	I22VA002454	07/11/2022	13567,45	7176	21/11/2022	28161,35	20955	14593,90	13779	814,90	-5,58%
GV. Germanías 49	13a	P22AA808202	5910497	07/11/2022	6370,88	3203	21/11/2022	14754,96	12018	8384,08	8815	-430,92	5,14%
GV. Germanías 49	14a	P22AA808198	P22UA071191	07/11/2022	3223,15	283932	21/11/2022	7426,06	288173	4202,91	4241	-38,09	0,91%
GV. Germanías 49	20b	P22AA808184	I22VA002452	07/11/2022	5804,55	2609	21/11/2022	13489,21	10020	7684,66	7411	273,66	-3,56%
<b>3 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	5910547	21/11/2022	7835,70	8929	30/11/2022	10531,18	11770	2695,48	2841	-145,52	5,40%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	5910577	21/11/2022	6103,52	8996	30/11/2022	8066,29	10836	1962,77	1840	122,77	-6,25%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	5839653	21/11/2022	9316,26	7250	30/11/2022	12017,01	9863	2700,75	2613	87,75	-3,25%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	I22VA002453	21/11/2022	8969,77	7809	30/11/2022	11871,11	10607	2901,34	2798	103,34	-3,56%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	P22UA071197	21/11/2022	4034,91	286178	30/11/2022	5170,83	287313	1135,92	1135	0,92	-0,08%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	P22UA071192	21/11/2022	3853,14	265151	30/11/2022	4961,37	266186	1108,23	1035	73,23	-6,61%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	P22UA071190	21/11/2022	12354,19	216084	30/11/2022	14446,84	217994	2092,65	1910	182,65	-8,73%

GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	I22VA002447	21/11/2022	8272,32	4720	30/11/2022	11013,63	7361	2741,31	2641	100,31	-3,66%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	5910579	21/11/2022	4159,45	3930	30/11/2022	5390,65	5115	1231,20	1185	46,20	-3,75%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	P22UA071194	21/11/2022	9315,84	4117	30/11/2022	12025,49	6850	2709,65	2733	-23,35	0,86%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	I22VA002446	21/11/2022	2150,39	11123	30/11/2022	2220,95	11192	70,56	69	1,56	-2,21%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	I22VA002448	21/11/2022	1680,49	6693	30/11/2022	1681,39	6693	0,90	0	0,90	
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	5910349	21/11/2022	2062,14	3674	30/11/2022	2435,26	4031	373,12	357	16,12	-4,32%
GV. Germanías 49	1b	P22AA808194	I22VA002454	21/11/2022	7587,58	20955	30/11/2022	13053,70	26333	5466,12	5378	88,12	-1,61%
GV. Germanías 49	2a	P22AA808201	P22UA071196	21/11/2022	28161,35	293509	30/11/2022	37658,41	302763	9497,06	9254	243,06	-2,56%
GV. Germanías 49	13a	P22AA808202	P22UA071191	21/11/2022	14754,96	288173	30/11/2022	20313,02	293863	5558,06	5690	-131,94	2,37%
GV. Germanías 49	14a	P22AA808198	I22VA002452	21/11/2022	7426,06	10020	30/11/2022	10239,54	12722	2813,48	2702	111,48	-3,96%
GV. Germanías 49	20b	P22AA808184	5910497	21/11/2022	13489,21	12018	30/11/2022	19065,16	17437	5575,95	5419	156,95	-2,81%
<b>4 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	5910577	30/11/2022	10531,18	10836	21/12/2022	15735,48	16418	5204,30	5582	-377,70	7,26%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	5910547	30/11/2022	8066,29	11770	21/12/2022	12469,36	15907	4403,07	4137	266,07	-6,04%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	I22VA002453	30/11/2022	12017,01	10607	21/12/2022	18538,66	16920	6521,65	6313	208,65	-3,20%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	5839653	30/11/2022	11871,11	9863	21/12/2022	19376,84	17208	7505,73	7345	160,73	-2,14%

GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	P22UA071190	30/11/2022	5170,83	217994	21/12/2022	7441,63	220290	2270,80	2296	-25,20	1,11%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	I22VA002447	30/11/2022	4961,37	7361	21/12/2022	7767,33	9941	2805,96	2580	225,96	-8,05%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	I22VA002448	30/11/2022	14446,84	6693	21/12/2022	19204,75	11094	4757,91	4401	356,91	-7,50%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	P22UA071192	30/11/2022	11013,63	266186	21/12/2022	17680,87	272665	6667,24	6479	188,24	-2,82%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	I22VA002446	30/11/2022	5390,65	11192	21/12/2022	6359,47	12128	968,82	936	32,82	-3,39%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	5910349	30/11/2022	12025,49	4031	21/12/2022	19416,76	11206	7391,27	7175	216,27	-2,93%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	P22UA071197	30/11/2022	2220,95	287313	21/12/2022	2509,91	287606	288,96	293	-4,04	1,40%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	P22UA071194	30/11/2022	1681,39	6850	21/12/2022	2950,05	8100	1268,66	1250	18,66	-1,47%
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	5910579	30/11/2022	2435,26	5115	21/12/2022	3163,66	5809	728,40	694	34,40	-4,72%
GV. Germanías 49	1b	P22AA808194	P22UA071191	30/11/2022	13053,70	293863	21/12/2022	22192,60	303145	9138,90	9282	-143,10	1,57%
GV. Germanías 49	2a	P22AA808201	5910497	30/11/2022	37658,41	17437	21/12/2022	59933,87	38689	22275,46	21252	1023,46	-4,59%
GV. Germanías 49	13a	P22AA808202	I22VA002452	30/11/2022	20313,02	12722	21/12/2022	33748,38	25811	13435,36	13089	346,36	-2,58%
GV. Germanías 49	14a	P22AA808198	P22UA071196	30/11/2022	10239,54	302763	21/12/2022	17036,11	309580	6796,57	6817	-20,43	0,30%
GV. Germanías 49	20b	P22AA808184	I22VA002454	30/11/2022	19065,16	26333	21/12/2022	29169,36	36154	10104,20	9821	283,20	-2,80%
<b>5 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	P22UA071191	21/12/2022	15735,48	303145	10/01/2023	20230,00	307975	4494,52	4830	-335,48	7,46%

GV. Germanías 29	6	P22AA808191	I22VA002452	21/12/2022	12469,36	25811	10/01/2023	17824,53	30821	5355,17	5010	345,17	-6,45%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	I22VA002454	21/12/2022	18538,66	36154	10/01/2023	24184,75	41454	5646,09	5300	346,09	-6,13%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	P22UA071196	21/12/2022	19376,84	309580	10/01/2023	24757,91	314948	5381,07	5368	13,07	-0,24%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	I22VA002447	21/12/2022	7441,63	9941	10/01/2023	10815,91	13222	3374,28	3281	93,28	-2,76%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	P22UA071190	21/12/2022	7767,33	220290	10/01/2023	10230,21	222625	2462,88	2335	127,88	-5,19%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	P22UA071197	21/12/2022	19204,75	287606	10/01/2023	20593,75	289006	1389,00	1400	-11,00	0,79%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	5910349	21/12/2022	17680,87	11206	10/01/2023	25597,58	18694	7916,71	7488	428,71	-5,42%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	I22VA002448	21/12/2022	6359,47	11094	10/01/2023	6396,64	11130	37,17	36	1,17	-3,15%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	I22VA002446	21/12/2022	19416,76	12128	10/01/2023	24446,85	16975	5030,09	4847	183,09	-3,64%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	5910579	21/12/2022	2509,91	5809	10/01/2023	2730,09	6025	220,18	216	4,18	-1,90%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	P22UA071192	21/12/2022	2950,05	272665	10/01/2023	2952,83	272663	2,78	-2	4,78	
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	P22UA071194	21/12/2022	3163,66	8100	10/01/2023	3568,68	8500	405,02	400	5,02	-1,24%
GV. Germanías 49	1b	P22AA808194	5910497	21/12/2022	22192,60	38689	12/01/2023	26934,32	43311	4741,72	4622	119,72	-2,52%
GV. Germanías 49	2a	P22AA808201	5910577	21/12/2022	59933,87	16418	12/01/2023	83516,19	38731	23582,32	22313	1269,32	-5,38%
GV. Germanías 49	13a	P22AA808202	5910547	21/12/2022	33748,38	15907	12/01/2023	47106,29	29017	13357,91	13110	247,91	-1,86%
GV. Germanías 49	14a	P22AA808198	5839653	21/12/2022	17036,11	17208	12/01/2023	23780,03	23769	6743,92	6561	182,92	-2,71%

GV. Germanías 49	20b	P22AA808184	I22VA002453	21/12/2022	29169,36	16920	12/01/2023	39329,01	26631	10159,65	9711	448,65	-4,42%
<b>6 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	P22UA071196	10/01/2023	20230,00	314948	24/01/2023	24256,27	319503	4026,27	4555	-528,73	13,13%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	I22VA002454	10/01/2023	17824,53	41454	24/01/2023	20718,29	44149	2893,76	2695	198,76	-6,87%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	I22VA002452	10/01/2023	24184,75	30821	24/01/2023	28363,24	34727	4178,49	3906	272,49	-6,52%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	P22UA071191	10/01/2023	24757,91	307975	24/01/2023	29054,70	312301	4296,79	4326	-29,21	0,68%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	I22VA002446	10/01/2023	10815,91	16975	24/01/2023	11765,32	17895	949,41	920	29,41	-3,10%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	P22UA071194	10/01/2023	10230,21	8500	24/01/2023	11751,43	9907	1521,22	1407	114,22	-7,51%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	P22UA071192	10/01/2023	20593,75	272663	24/01/2023	23006,46	275117	2412,71	2454	-41,29	1,71%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	5910579	10/01/2023	25597,58	6025	24/01/2023	29990,38	10289	4392,80	4264	128,80	-2,93%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	5910349	10/01/2023	6396,64	18694	24/01/2023	6580,57	18874	183,93	180	3,93	-2,14%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	P22UA071197	10/01/2023	24446,85	289006	24/01/2023	28825,06	293426	4378,21	4420	-41,79	0,95%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	I22VA002447	10/01/2023	2730,09	13222	24/01/2023	3080,32	13568	350,23	346	4,23	-1,21%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	P22UA071190	10/01/2023	2952,83	222625	24/01/2023	2953,54	222625	0,71	0	0,71	
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	I22VA002448	10/01/2023	3568,68	11130	24/01/2023	4183,85	11700	615,17	570	45,17	-7,34%
GV. Germanías 35	3	P22AA808201	5910497	12/01/2023	83516,19	43311	24/01/2023	85511,51	45236	1995,32	1925	70,32	-3,52%

GV. Germanías 35	4	P22AA808198	5910577	12/01/2023	23780,03	38731	24/01/2023	25182,07	40105	1402,04	1374	28,04	-2,00%
GV. Germanías 35	6	P22AA808194	5910547	12/01/2023	26934,32	29017	24/01/2023	29356,88	31441	2422,56	2424	-1,44	0,06%
GV. Germanías 35	7	P22AA808202	I22VA002453	12/01/2023	47106,29	26631	24/01/2023	51721,74	31150	4615,45	4519	96,45	-2,09%
GV. Germanías 35	8	P22AA808184	5839653	12/01/2023	39329,01	23769	24/01/2023	39330,31	23769	1,30	0	1,30	
<b>7 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	P22UA071192	24/01/2023	24256,27	275117	14/02/2023	30427,71	282006	6171,44	6889	-717,56	11,63%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	P22UA071190	24/01/2023	20718,29	222625	14/02/2023	24972,16	226765	4253,87	4140	113,87	-2,68%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	I22VA002447	24/01/2023	28363,24	13568	14/02/2023	35016,32	19826	6653,08	6258	395,08	-5,94%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	5910579	24/01/2023	29054,70	10289	14/02/2023	36036,24	17043	6981,54	6754	227,54	-3,26%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	5910497	24/01/2023	11765,32	45236	14/02/2023	14254,56	47640	2489,24	2404	85,24	-3,42%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	5839653	24/01/2023	11751,43	23769	14/02/2023	13608,64	25458	1857,21	1689	168,21	-9,06%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	P22UA071196	24/01/2023	23006,46	319503	14/02/2023	25860,28	322363	2853,82	2860	-6,18	0,22%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	P22UA071191	24/01/2023	29990,38	312301	14/02/2023	36174,82	318508	6184,44	6207	-22,56	0,36%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	I22VA002453	24/01/2023	6580,57	31150	14/02/2023	8289,43	32801	1708,86	1651	57,86	-3,39%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	5910577	24/01/2023	28825,06	40105	14/02/2023	34896,70	45985	6071,64	5880	191,64	-3,16%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	I22VA002452	24/01/2023	3080,32	34727	14/02/2023	4050,49	35687	970,17	960	10,17	-1,05%

GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	I22VA002454	24/01/2023	2953,54	44149	14/02/2023	2954,62	44149	1,08	0	1,08	
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	5910547	24/01/2023	4183,85	31441	14/02/2023	4858,74	32073	674,89	632	42,89	-6,36%
GV. Germanías 35	3	P22AA808201	I22VA002446	24/01/2023	85511,51	17895	14/02/2023	89827,61	22073	4316,10	4178	138,10	-3,20%
GV. Germanías 35	4	P22AA808198	P22UA071197	24/01/2023	25182,07	293426	14/02/2023	26919,81	295166	1737,74	1740	-2,26	0,13%
GV. Germanías 35	6	P22AA808194	I22VA002448	24/01/2023	29356,88	11700	14/02/2023	34337,75	16739	4980,87	5039	-58,13	1,17%
GV. Germanías 35	7	P22AA808202	5910349	24/01/2023	51721,74	18874	14/02/2023	54647,25	21815	2925,51	2941	-15,49	0,53%
GV. Germanías 35	8	P22AA808184	P22UA071194	24/01/2023	39330,31	9907	14/02/2023	39330,44	9907	0,13	0	0,13	
<b>8 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	5910579	14/02/2023	30427,71	17043	28/02/2023	35113,79	22230	4686,08	5187	-500,92	10,69%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	P22UA071192	14/02/2023	24972,16	282006	28/02/2023	27746,13	284697	2773,97	2691	82,97	-2,99%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	P22UA071190	14/02/2023	35016,32	226765	28/02/2023	39542,41	231182	4526,09	4417	109,09	-2,41%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	I22VA002447	14/02/2023	36036,24	19826	28/02/2023	41267,92	24833	5231,68	5007	224,68	-4,29%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	5910577	14/02/2023	14254,56	45985	28/02/2023	16029,15	47709	1774,59	1724	50,59	-2,85%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	I22VA002453	14/02/2023	13608,64	32801	28/02/2023	14785,46	33831	1176,82	1030	146,82	-12,48%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	5839653	14/02/2023	25860,28	25458	28/02/2023	27727,06	27276	1866,78	1818	48,78	-2,61%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	I22VA002452	14/02/2023	36174,82	35687	28/02/2023	39969,76	39327	3794,94	3640	154,94	-4,08%

GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	5910547	14/02/2023	8289,43	32073	28/02/2023	9506,47	33254	1217,04	1181	36,04	-2,96%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	P22UA071191	14/02/2023	34896,70	318508	28/02/2023	38846,61	322530	3949,91	4022	-72,09	1,83%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	I22VA002454	14/02/2023	4050,49	44149	28/02/2023	5052,17	45137	1001,68	988	13,68	-1,37%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	P22UA071196	14/02/2023	2954,62	322363	28/02/2023	2954,75	322363	0,13	0	0,13	
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	5910497	14/02/2023	4858,74	47640	28/02/2023	5529,26	48261	670,52	621	49,52	-7,39%
GV. Germanías 35	3	P22AA808201	P22UA071197	14/02/2023	89827,61	295166	28/02/2023	90938,60	296285	1110,99	1119	-8,01	0,72%
GV. Germanías 35	4	P22AA808198	P22UA071194	14/02/2023	26919,81	9907	28/02/2023	28048,81	11035	1129,00	1128	1,00	-0,09%
GV. Germanías 35	6	P22AA808194	I22VA002446	14/02/2023	34337,75	22073	28/02/2023	36258,36	24010	1920,61	1937	-16,39	0,85%
GV. Germanías 35	7	P22AA808202	I22VA002448	14/02/2023	54647,25	16739	28/02/2023	56576,72	18636	1929,47	1897	32,47	-1,68%
GV. Germanías 35	8	P22AA808184	5910349	14/02/2023	39330,44	21815	28/02/2023	39330,53	21815	0,09	0	0,09	
<b>9 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	I22VA002447	28/02/2023	35113,79	24833	13/03/2023	39240,76	29477	4126,97	4644	-517,03	12,53%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	5910579	28/02/2023	27746,13	22230	13/03/2023	31640,56	25916	3894,43	3686	208,43	-5,35%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	P22UA071192	28/02/2023	39542,41	284697	13/03/2023	43528,64	288578	3986,23	3881	105,23	-2,64%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	P22UA071190	28/02/2023	41267,92	231182	13/03/2023	45631,00	235511	4363,08	4329	34,08	-0,78%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	P22UA071191	28/02/2023	16029,15	322530	13/03/2023	17794,66	324320	1765,51	1790	-24,49	1,39%

GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	5910547	28/02/2023	14785,46	33254	13/03/2023	15910,32	34242	1124,86	988	136,86	-12,17%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	I22VA002453	28/02/2023	27727,06	33831	13/03/2023	29665,88	35705	1938,82	1874	64,82	-3,34%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	I22VA002454	28/02/2023	39969,76	45137	13/03/2023	43042,22	48100	3072,46	2963	109,46	-3,56%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	5910497	28/02/2023	9506,47	48261	13/03/2023	10447,80	49172	941,33	911	30,33	-3,22%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	I22VA002452	28/02/2023	38846,61	39327	13/03/2023	43029,20	43358	4182,59	4031	151,59	-3,62%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	P22UA071196	28/02/2023	5052,17	322363	13/03/2023	6743,55	324073	1691,38	1710	-18,62	1,10%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	5839653	28/02/2023	2954,75	27276	13/03/2023	2955,44	27276	0,69	0	0,69	
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	5910577	28/02/2023	5529,26	47709	13/03/2023	6149,08	48297	619,82	588	31,82	-5,13%
GV. Germanías 35	3	P22AA808201	P22UA071194	28/02/2023	90938,60	11035	13/03/2023	96251,88	16418	5313,28	5383	-69,72	1,31%
GV. Germanías 35	4	P22AA808198	5910349	28/02/2023	28048,81	21815	13/03/2023	28933,81	22664	885,00	849	36,00	-4,07%
GV. Germanías 35	6	P22AA808194	P22UA071197	28/02/2023	36258,36	296285	13/03/2023	39129,51	299180	2871,15	2895	-23,85	0,83%
GV. Germanías 35	7	P22AA808202	I22VA002446	28/02/2023	56576,72	24010	13/03/2023	58211,82	25597	1635,10	1587	48,10	-2,94%
GV. Germanías 35	8	P22AA808184	I22VA002448	28/02/2023	39330,53	18636	13/03/2023	39362,27	18667	31,74	31	0,74	-2,33%
<b>10 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	P22UA071190	13/03/2023	39240,76	235511	18/04/2023	48370,04	246361	9129,28	10850	-1720,72	18,85%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	I22VA002447	13/03/2023	31640,56	29477	18/04/2023	40365,70	37487	8725,14	8010	715,14	-8,20%

GV. Germanías 29	9	P22AA808193	5910579	13/03/2023	43528,64	25916	18/04/2023	54449,15	36429	10920,51	10513	407,51	-3,73%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	P22UA071192	13/03/2023	45631,00	288578	18/04/2023	57842,24	300892	12211,24	12314	-102,76	0,84%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	I22VA002452	13/03/2023	17794,66	43358	18/04/2023	21568,36	46988	3773,70	3630	143,70	-3,81%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	5910497	13/03/2023	15910,32	49172	18/04/2023	19511,73	52425	3601,41	3253	348,41	-9,67%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	5910547	13/03/2023	29665,88	34242	18/04/2023	33520,79	37751	3854,91	3509	345,91	-8,97%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	P22UA071196	13/03/2023	43042,22	324073	18/04/2023	52602,91	333613	9560,69	9540	20,69	-0,22%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	5910577	13/03/2023	10447,80	48297	18/04/2023	12538,69	50327	2090,89	2030	60,89	-2,91%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	I22VA002454	13/03/2023	43029,20	48100	18/04/2023	52657,55	57448	9628,35	9348	280,35	-2,91%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	5839653	13/03/2023	6743,55	27276	18/04/2023	8531,91	29044	1788,36	1768	20,36	-1,14%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	I22VA002453	13/03/2023	2955,44	35705	18/04/2023	4722,41	37396	1766,97	1691	75,97	-4,30%
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	P22UA071191	13/03/2023	6149,08	324320	18/04/2023	7527,40	325688	1378,32	1368	10,32	-0,75%
GV. Germanías 35	3	P22AA808201	5910349	13/03/2023	96251,88	22664	18/04/2023	109762,30	35979	13510,42	13315	195,42	-1,45%
GV. Germanías 35	4	P22AA808198	I22VA002448	13/03/2023	28933,81	18667	18/04/2023	31245,87	20880	2312,06	2213	99,06	-4,28%
GV. Germanías 35	6	P22AA808194	P22UA071194	13/03/2023	39129,51	16418	18/04/2023	46358,48	23716	7228,97	7298	-69,03	0,95%
GV. Germanías 35	7	P22AA808202	P22UA071197	13/03/2023	58211,82	299180	18/04/2023	68464,01	309493	10252,19	10313	-60,81	0,59%
GV. Germanías 35	8	P22AA808184	I22VA002446	13/03/2023	39362,27	25597	18/04/2023	39511,30	25746	149,03	149	0,03	-0,02%

11 ROTACIÓN													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	I22VA002448	18/04/2023	48370,04	20880	02/05/2023	52145,47	25210	3775,43	4330	-554,57	14,69%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	5910349	18/04/2023	40365,70	35979	02/05/2023	43753,34	39123	3387,64	3144	243,64	-7,19%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	P22UA071194	18/04/2023	54449,15	23716	02/05/2023	58524,27	27710	4075,12	3994	81,12	-1,99%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	I22VA002446	18/04/2023	57842,24	25746	02/05/2023	63081,85	30734	5239,61	4988	251,61	-4,80%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	I22VA002453	18/04/2023	21568,36	37396	02/05/2023	23105,87	38880	1537,51	1484	53,51	-3,48%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	I22VA002454	18/04/2023	19511,73	57448	02/05/2023	21035,50	58768	1523,77	1320	203,77	-13,37%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	P22UA071191	18/04/2023	33520,79	325688	02/05/2023	35582,68	327719	2061,89	2031	30,89	-1,50%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	5910577	18/04/2023	52602,91	50327	02/05/2023	57151,42	54756	4548,51	4429	119,51	-2,63%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	P22UA071196	18/04/2023	12538,69	333613	02/05/2023	13828,10	334904	1289,41	1291	-1,59	0,12%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	5910547	18/04/2023	52657,55	37751	02/05/2023	55479,52	40478	2821,97	2727	94,97	-3,37%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	5910497	18/04/2023	8531,91	52425	02/05/2023	9031,67	52927	499,76	502	-2,24	0,45%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	P22UA071197	18/04/2023	4722,41	309493	02/05/2023	6068,53	310815	1346,12	1322	24,12	-1,79%
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	5839653	18/04/2023	7527,40	29044	02/05/2023	8314,48	29768	787,08	724	63,08	-8,01%
GV. Germanías 35	3	P22AA808201	I22VA002447	18/04/2023	109762,30	37487	02/05/2023	116739,98	44326	6977,68	6839	138,68	-1,99%
GV. Germanías 35	4	P22AA808198	P22UA071190	18/04/2023	31245,87	246361	02/05/2023	32265,24	247379	1019,37	1018	1,37	-0,13%

GV. Germanías 35	6	P22AA808194	5910579	18/04/2023	46358,48	36429	02/05/2023	49346,00	39348	2987,52	2919	68,52	-2,29%
GV. Germanías 35	7	P22AA808202	P22UA071192	18/04/2023	68464,01	300892	02/05/2023	74233,48	306709	5769,47	5817	-47,53	0,82%
GV. Germanías 35	8	P22AA808184	I22VA002452	18/04/2023	39511,30	46988	02/05/2023	39511,42	46988	0,12	0	0,12	
<b>12 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	I22VA002446	02/05/2023	52145,47	30734	16/05/2023	55872,87	34813	3727,40	4079	-351,60	9,43%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	I22VA002448	02/05/2023	43753,34	25210	16/05/2023	47329,13	28518	3575,79	3308	267,79	-7,49%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	5910349	02/05/2023	58524,27	39123	16/05/2023	62814,36	43241	4290,09	4118	172,09	-4,01%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	P22UA071194	02/05/2023	63081,85	27710	16/05/2023	69001,01	33555	5919,16	5845	74,16	-1,25%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	5910547	02/05/2023	23105,87	40478	16/05/2023	23106,16	40478	0,29	0	0,29	
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	P22UA071196	02/05/2023	21035,50	334904	16/05/2023	22329,58	336007	1294,08	1103	191,08	-14,77%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	I22VA002454	02/05/2023	35582,68	58768	16/05/2023	37347,78	60321	1765,10	1553	212,10	-12,02%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	P22UA071197	02/05/2023	57151,42	310815	16/05/2023	61972,96	315615	4821,54	4800	21,54	-0,45%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	5839653	02/05/2023	13828,10	29768	16/05/2023	15514,93	31407	1686,83	1639	47,83	-2,84%
GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	5910497	02/05/2023	55479,52	52927	16/05/2023	59044,13	56362	3564,61	3435	129,61	-3,64%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	P22UA071191	02/05/2023	9031,67	327719	16/05/2023	10336,63	329057	1304,96	1338	-33,04	2,53%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	5910577	02/05/2023	6068,53	54756	16/05/2023	6876,82	55538	808,29	782	26,29	-3,25%

GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	I22VA002453	02/05/2023	8314,48	38880	16/05/2023	8974,16	39467	659,68	587	72,68	-11,02%
GV. Germanías 35	3	P22AA808201	P22UA071190	02/05/2023	116739,98	247379	16/05/2023	124143,90	254838	7403,92	7459	-55,08	0,74%
GV. Germanías 35	4	P22AA808198	I22VA002452	02/05/2023	32265,24	46988	16/05/2023	33908,09	48557	1642,85	1569	73,85	-4,50%
GV. Germanías 35	6	P22AA808194	I22VA002447	02/05/2023	49346,00	44326	16/05/2023	50977,96	45914	1631,96	1588	43,96	-2,69%
GV. Germanías 35	7	P22AA808202	5910579	02/05/2023	74233,48	39348	16/05/2023	77079,38	42329	2845,90	2981	-135,10	4,75%
GV. Germanías 35	8	P22AA808184	P22UA071192	02/05/2023	39511,42	306709	16/05/2023	39721,24	306923	209,82	214	-4,18	1,99%
<b>13 ROTACIÓN</b>													
GV. Germanías 29	5	P22AA808186	P22UA071194	16/05/2023	55872,87	33555	30/05/2023	59458,98	37522	3586,11	3967	-380,89	10,62%
GV. Germanías 29	6	P22AA808191	I22VA002446	16/05/2023	47329,13	34813	30/05/2023	50549,25	37729	3220,12	2916	304,12	-9,44%
GV. Germanías 29	9	P22AA808193	I22VA002448	16/05/2023	62814,36	28518	30/05/2023	67060,56	32486	4246,20	3968	278,20	-6,55%
GV. Germanías 29	10	P22AA808188	5910349	16/05/2023	69001,01	43241	30/05/2023	74008,27	48072	5007,26	4831	176,26	-3,52%
GV. Germanías 31	2a	P22AA808195	5839653	16/05/2023	23106,16	31407	30/05/2023	24468,01	32712	1361,85	1305	56,85	-4,17%
GV. Germanías 31	3b	P22AA808203	P22UA071197	16/05/2023	22329,58	315615	30/05/2023	23605,71	316703	1276,13	1088	188,13	-14,74%
GV. Germanías 31	4a	P22AA808199	5910497	16/05/2023	37347,78	56362	30/05/2023	40090,37	58937	2742,59	2575	167,59	-6,11%
GV. Germanías 31	5b	P22AA808192	5910547	16/05/2023	61972,96	40478	30/05/2023	66284,47	44641	4311,51	4163	148,51	-3,44%
GV. Germanías 31	6a	P22AA808196	I22VA002454	16/05/2023	15514,93	60321	30/05/2023	16536,73	61317	1021,80	996	25,80	-2,52%

GV. Germanías 31	7a	P22AA808185	I22VA002453	16/05/2023	59044,13	39467	30/05/2023	63272,38	43556	4228,25	4089	139,25	-3,29%
GV. Germanías 31	7b	P22AA808200	5910577	16/05/2023	10336,63	55538	30/05/2023	11419,00	56606	1082,37	1068	14,37	-1,33%
GV. Germanías 31	9b	P22AA808190	P22UA071191	16/05/2023	6876,82	329057	30/05/2023	8411,13	330595	1534,31	1538	-3,69	0,24%
GV. Germanías 31	10a	P22AA808197	P22UA071196	16/05/2023	8974,16	336007	30/05/2023	9763,33	336743	789,17	736	53,17	-6,74%
GV. Germanías 35	3	P22AA808201	I22VA002452	16/05/2023	124143,90	48557	30/05/2023	130408,37	54663	6264,47	6106	158,47	-2,53%
GV. Germanías 35	4	P22AA808198	P22UA071192	16/05/2023	33908,09	306923	30/05/2023	34691,46	307690	783,37	767	16,37	-2,09%
GV. Germanías 35	6	P22AA808194	P22UA071190	16/05/2023	50977,96	254838	30/05/2023	54692,81	258575	3714,85	3737	-22,15	0,60%
GV. Germanías 35	7	P22AA808202	I22VA002447	16/05/2023	77079,38	45914	30/05/2023	82980,32	51725	5900,94	5811	89,94	-1,52%
GV. Germanías 35	8	P22AA808184	5910579	16/05/2023	39721,24	42329	30/05/2023	39743,37	42351	22,13	22	0,13	-0,59%

**Tabla 14** Resumen de errores de lectura entre contadores estáticos UT1 y mecánicos para cada vivienda. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	Contador mecánico	UT1					
		P22UA071194	P22UA071197	P22UA071192	P22UA071190	P22UA071191	P22UA071196
GV. Germanías 29-5	P22AA808186	10,62%		11,63%	18,85%	7,46%	13,13%
GV. Germanías 29-6	P22AA808191			-2,99%	-2,68%		
GV. Germanías 29-9	P22AA808193	-1,99%		-2,64%	-2,41%		
GV. Germanías 29-10	P22AA808188	-1,25%		0,84%	-0,78%	0,68%	-0,24%
GV. Germanías 31-2a	P22AA808195		-0,08%		1,11%	1,39%	
GV. Germanías 31-3b	P22AA808203	-7,51%	-14,74%	-6,61%	-5,19%		-14,77%
GV. Germanías 31-4a	P22AA808199		0,79%	1,71%	-8,73%	-1,50%	0,22%
GV. Germanías 31-5b	P22AA808192	-1,75%	-0,45%	-2,82%		0,36%	-0,22%
GV. Germanías 31-6a	P22AA808196		-1,36%	-1,71%			0,12%
GV. Germanías 31-7a	P22AA808185	0,86%	0,95%	0,01%	0,32%	1,83%	
GV. Germanías 31-7b	P22AA808200	2,00%	1,40%			2,53%	1,10%
GV. Germanías 31-9b	P22AA808190	-1,47%	-1,79%			0,24%	
GV. Germanías 31-10a	P22AA808197	-1,24%	0,11%		-1,70%	-0,75%	-6,74%
GV. Germanías 49-1b	P22AA808194					1,57%	1,93%
GV. Germanías 49-2a	P22AA808201					-2,23%	-2,56%
GV. Germanías 49-13a	P22AA808202					2,37%	
GV. Germanías 49-14a	P22AA808198					0,91%	0,30%
GV. Germanías 49-20b	P22AA808184						-0,76%
GV. Germanías 35-3	P22AA808201	1,31%	0,72%		0,74%		
GV. Germanías 35-4	P22AA808198	-0,09%	0,13%	-2,09%	-0,13%		
GV. Germanías 35-6	P22AA808194	0,95%	0,83%		0,60%		
GV. Germanías 35-7	P22AA808202		0,59%	0,82%			
GV. Germanías 35-8	P22AA808184			1,99%			
	<b>Promedio por N. serie (%)</b>	<b>0,04%</b>	<b>-0,99%</b>	<b>-0,15%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,14%</b>	<b>-0,71%</b>

**Tabla 15** Resumen de errores de lectura entre contadores estáticos UT2 y mecánicos para cada vivienda. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	Contador mecánico	UT2					
		5839653	5910547	5910577	5910579	5910349	5910497
GV. Germanías 29-5	P22AA808186	14,67%	5,40%	7,26%	10,69%		
GV. Germanías 29-6	P22AA808191	-6,55%	-6,04%	-6,25%	-5,35%	-7,19%	
GV. Germanías 29-9	P22AA808193	-3,25%	-3,18%	-3,16%	-3,73%	-4,01%	
GV. Germanías 29-10	P22AA808188	-2,14%	-1,77%	-1,97%	-3,26%	-3,52%	
GV. Germanías 31-2a	P22AA808195	-4,17%		-2,85%	-2,46%	-2,51%	-3,42%
GV. Germanías 31-3b	P22AA808203	-9,06%	-12,17%		-8,79%	-7,53%	-9,67%
GV. Germanías 31-4a	P22AA808199	-2,61%	-8,97%				-6,11%
GV. Germanías 31-5b	P22AA808192		-3,44%	-2,63%	-2,93%	-5,42%	
GV. Germanías 31-6a	P22AA808196	-2,84%	-2,96%	-2,91%	-3,75%	-2,14%	-3,22%
GV. Germanías 31-7a	P22AA808185		-3,37%	-3,16%		-2,93%	-3,64%
GV. Germanías 31-7b	P22AA808200	-1,14%		-1,33%	-1,90%		0,45%
GV. Germanías 31-9b	P22AA808190			-3,25%			
GV. Germanías 31-10a	P22AA808197	-8,01%	-6,36%	-5,13%	-4,72%	-4,32%	-7,39%
GV. Germanías 49-1b	P22AA808194						-2,52%
GV. Germanías 49-2a	P22AA808201			-5,38%			-4,59%
GV. Germanías 49-13a	P22AA808202		-1,86%				5,14%
GV. Germanías 49-14a	P22AA808198	-2,71%					-1,74%
GV. Germanías 49-20b	P22AA808184						-2,81%
GV. Germanías 35-3	P22AA808201					-1,45%	-3,52%
GV. Germanías 35-4	P22AA808198			-2,00%		-4,07%	
GV. Germanías 35-6	P22AA808194		0,06%		-2,29%		
GV. Germanías 35-7	P22AA808202				4,75%	0,53%	
GV. Germanías 35-8	P22AA808184				-0,59%		
	<b>Promedio por N. serie (%)</b>	<b>-2,53%</b>	<b>-3,72%</b>	<b>-2,52%</b>	<b>-1,87%</b>	<b>-3,71%</b>	<b>-3,31%</b>

**Tabla 16** Resumen de errores de lectura entre contadores estáticos UT3 y mecánicos para cada vivienda. Fuente: (Elaboración propia).

Dirección	Contador mecánico	UT3					
		I22VA002453	I22VA002447	I22VA002448	I22VA002446	I22VA002452	I22VA002454
GV. Germanías 29-5	P22AA808186	10,94%	12,53%	14,69%	9,43%		
GV. Germanías 29-6	P22AA808191	-6,73%	-8,20%	-7,49%	-9,44%	-6,45%	-6,87%
GV. Germanías 29-9	P22AA808193	-3,20%	-5,94%	-6,55%		-6,52%	-6,13%
GV. Germanías 29-10	P22AA808188	-3,56%	-4,29%		-4,80%		
GV. Germanías 31-2a	P22AA808195	-3,48%	-2,76%		-3,10%	-3,81%	
GV. Germanías 31-3b	P22AA808203	-12,48%	-8,05%				-13,37%
GV. Germanías 31-4a	P22AA808199	-3,34%	-9,39%	-7,50%	-6,15%		-12,02%
GV. Germanías 31-5b	P22AA808192		-3,66%	-4,07%		-4,08%	-3,56%
GV. Germanías 31-6a	P22AA808196	-3,39%		-3,15%	-3,39%		-2,52%
GV. Germanías 31-7a	P22AA808185	-3,29%			-3,64%	-3,62%	-2,91%
GV. Germanías 31-7b	P22AA808200		-1,21%	-0,63%	-2,21%	-1,05%	-1,37%
GV. Germanías 31-9b	P22AA808190	-4,30%	-3,96%		-2,08%		
GV. Germanías 31-10a	P22AA808197	-11,02%		-7,34%			
GV. Germanías 49-1b	P22AA808194					-3,45%	-1,61%
GV. Germanías 49-2a	P22AA808201						-5,58%
GV. Germanías 49-13a	P22AA808202					-2,58%	1,72%
GV. Germanías 49-14a	P22AA808198					-3,96%	
GV. Germanías 49-20b	P22AA808184	-4,42%				-3,56%	-2,80%
GV. Germanías 35-3	P22AA808201		-1,99%		-3,20%	-2,53%	
GV. Germanías 35-4	P22AA808198			-4,28%		-4,50%	
GV. Germanías 35-6	P22AA808194		-2,69%	1,17%	0,85%		
GV. Germanías 35-7	P22AA808202	-2,09%	-1,52%	-1,68%	-2,94%		
GV. Germanías 35-8	P22AA808184			-2,33%	-0,02%		
	<b>Promedio por N. serie (%)</b>	<b>-3,87%</b>	<b>-3,16%</b>	<b>-2,43%</b>	<b>-2,36%</b>	<b>-3,84%</b>	<b>-4,75%</b>