



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Escuela politécnica superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

COMPUTERIZACIÓN DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

Alumno: Jaime Sánchez Bolaños

Tutor: Prof. D. Rocio Bolaños Jiménez
Dpto: Ingeniería mecánica y minera

10, 2018



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Mecánica y Minera

Rocio Bolaños Jiménez, tutora del Trabajo Fin de Grado titulado *Computerizacion de una bomba centrífuga*, que presenta Jaime Sánchez Bolaños, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, 29 de octubre de 2018

El alumno:

Jaime Sánchez Bolaños

El tutor:

Rocio Bolaños Jiménez

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Motivación, justificación y objetivos del trabajo	7
1.2. Conceptos previos	8
1.2.1. Bomba hidráulica	8
1.2.1.1. Altura manométrica de impulsión	10
1.2.1.2 Potencia hidráulica	12
1.2.1.3. Potencia eléctrica y mecánica	13
1.2.1.4 Rendimiento	14
1.2.3 LabVIEW	15
2. TRABAJO EXPERIMENTAL	30
2.1. Descripción de la instalación experimental	30
2.1.1. Bomba centrífuga	30
2.1.2. Válvulas	32
2.1.3. Variador de frecuencia	34
2.2. Descripción de los ensayos a realizar y variables a medir	35
2.3. Caracterización manual	40
2.4. Medición experimental de rangos máximos	44
2.5. Selección de los sensores y de la tarjeta de adquisición de datos	47
2.5.1. Sensor de presión	47
2.5.2. Sensores de caudal	49
2.5.3. Tarjeta de adquisición de datos	54
3. TRABAJO EN LABVIEW	59
3.1. Descripción del trabajo	59
3.3. Diagrama de bloques	65
3.3.1 VI resultante del DAQ Assistant	65
3.3.2 Discretizar la señal	65
3.3.3. Capturador de señal	67
3.3.4. Creación del vector	73
3.3.5. Creación de las gráficas	76
3.3.6 Creación de la tabla	78
4. RESULTADOS	85
5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	87
Anexos	89
Bibliografía	97

Índice de imágenes

Imagen 2: Partes de una bomba centrífuga (Trabajo sobre bombas centrífugas UJA)	9
Imagen 3: Curva Hm frente al caudal (trabajo sobre bombas centrífugas UJA)	12
Imagen 4: Gráfica Wh frente al caudal (trabajo de sobre bombas centrífugas UJA).	13
Imagen 5: Gráfica We frente al caudal (trabajo de sobre bombas centrífugas UJA).	14
Imagen 6: Gráfica We frente a caudal (trabajo de sobre bombas centrífugas UJA).	15
Imagen 7: Panel frontal y diagrama de bloques	16
Imagen 8: Paleta de funciones del panel frontal	17
Imagen 9: Paleta de funciones del diagrama de bloques	18
Imagen 10: Herramientas del panel frontal	18
Imagen 11: Herramientas del diagrama de bloques	19
Imagen 12: Paleta de herramientas	19
Imagen 13: Paleta de operaciones para cadenas de caracteres	20
Imagen 14: Paleta de operaciones para datos numéricos	21
Imagen 15: Paleta de operaciones para datos booleanos	21
Imagen 16: Paleta de operaciones para arrays	22
Imagen 17: Paleta de operaciones para clusters	23
Imagen 18: Estructuras disponibles	23
Imagen 19: Diagrama de flujo de la estructura while	24
Imagen 20: Diagrama de flujo de la estructura for	25
Imagen 21: Representación en LabVIEW de la estructura case	26
Imagen 22: Representación en LabVIEW de la estructura node	26
Imagen 23: Entradas y salidas e icono de un VI	28
Imagen 24: Combinaciones de entradas y salidas para un VI	29
Imagen 25: Representación del puesto	30
Imagen 26: Bomba centrífuga del puesto	31
Imagen 27: Conexiones de la bomba	31
Imagen 28: Válvula de entrada	33
Imagen 29: Válvula de salida	33
Imagen 30: Variador de frecuencia del puesto	35
Imagen 31: Controlador del variador	35
Imagen 32: Manómetro utilizado	37
Imagen 33	38
Imagen 34	38
Imagen 35: Medida de la potencia	40
Imagen 36: Curva de Altura manométrica frente al caudal	42
Imagen 37: Curva de potencia eléctrica frente al caudal	43
Imagen 38: Curva de potencia eléctrica frente al caudal	43
Imagen 39: Curva de rendimiento frente al caudal	44
Imagen 40: El caudal llegará a un máximo en 40 Hz, este no aumentará paravelocidades mayores	46
Imagen 41: Intensidad de la bomba	46
Imagen 42	47
Imagen 43: Sensor de presión	48

Imagen 44: Conexiones del sensor (hoja de características).....	49
Imagen 45: Sensor de presión instalado.....	49
Imagen 46: Caudalímetro (parte frontal).....	50
Imagen 47: Caudalímetro (parte frontal).....	50
Imagen 48: Sensores de caudal instalados.....	52
Imagen 49: Válvula de paso	52
Imagen 50: Conexiones de la sonda.....	53
Imagen 51: TAD usada.....	55
Imagen 52: Conexiones eléctricas.....	56
Imagen 53: Conexiones de la TAD con los sensores.....	56
Imagen 54: Conexiones eléctricas.....	57
Imagen 55: Conexiones con los sensores	58
Imagen 56: Paleta donde se encuentra el DAQ Assistant.....	60
Imagen 57: Ventana del DAQ Assistant.....	61
Imagen 58: Ventana del DAQ Assistant.....	62
Imagen 59: Ventana del DAQ Assistant.....	63
Imagen 60: Ventana del DAQ Assistant.....	64
Imagen 61: Ventana del DAQ Assistant.....	65
Imagen 62: Conexiones y símbolo del VI.....	66
Imagen 63: Conexiones y símbolo del VI.....	68
Imagen 64: Representación en LabVIEW	69
Imagen 65: Representación en LabVIEW	70
Imagen 66: Representación en LabVIEW	70
Imagen 67: Configuración de las señales.....	72
Imagen 68: Conexiones y símbolo del VI.....	74
Imagen 69: Conexiones y símbolo del VI.....	76
Imagen 70: Conexiones y símbolo del VI.....	79
Imagen 71: Apartado de medidas del panel frontal	81
Imagen 72: Apartado de datos en el panel frontal.....	82
Imagen 73: Apartado de opciones en panel frontal.....	83
Imagen 74: Apartado de puesto del panel frontal.....	83
Imagen 75: Panel frontal completo.....	84
Imagen 76: Altura manométrica frente al caudal.....	85
Imagen 77: Potencia hidráulica frente al caudal	86
Imagen 78: Rendimiento frente al caudal	86
Imagen 79: Diagrama de bloques del capturador	89
Imagen 80: Diagrama de bloques del capturador	90
Imagen 81: Diagrama de bloques del capturador	91
Imagen 82: Creación del vector	92
Imagen 83: Creación de las gráficas	93
Imagen 84: Discretizador.....	94
Imagen 85: Creación de la tabla	95

Índice de tablas

Tabla 1: Herramientas de la paleta del panel frontal.....	28
Tabla 2: Características de la bomba.....	32
Tabla 3: Características del variador.....	34
Tabla 4: Resultados de pruebas del manómetro.	37
Tabla 5: Resultados a 40Hz.....	41
Tabla 6: Resultados a 40Hz.....	41
Tabla 7: Calculos de los resultados a 40Hz.	42
Tabla 8: Resultados para distintas frecuencias.....	45
Tabla 9: Características del sensor de presión.....	48
Tabla 10: Características del caudalímetro.	51
Tabla 11: Pines del caudalímetro.	53
Tabla 12: Conexiones de la TAD.....	56

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Motivación, justificación y objetivos del trabajo

El objetivo de este trabajo es el de conseguir automatizar un puesto de prácticas, usado por asignaturas de la rama de mecánica de fluidos. Este puesto está compuesto por una bomba centrífuga alimentada por un variador de frecuencia en corriente trifásica. El motivo de automatizar el puesto es el de obtener las curvas de caracterización de la bomba. Para ello es necesario recoger las variables de presión a la entrada y salida de la bomba, el caudal que circula por la instalación y potencia eléctrica de la bomba, así como su velocidad de giro. Mediante la adquisición de estas variables, el usuario del puesto tendrá la opción de analizarlas y realizar por tanto la caracterización de la bomba.

Este trabajo se ha realizado debido a la necesidad de crear una interfaz de control mediante la cual el usuario del puesto sea capaz de recoger con facilidad las variables anteriormente citadas, de modo que no sea necesario el uso de ningún instrumento adicional. Además, se requiere poder guardar los valores de las variables medidas en archivos de datos, puesto que, además de obtener las curvas de funcionamiento en sí, es usual que sea necesario un postproceso de las medidas para poder analizar en más profundidad el funcionamiento de la bomba. Por ello la solución a este problema ha sido crear una interfaz de control mediante LabVIEW, por lo que el usuario tan solo tendrá que ejecutar el programa ya creado y seleccionar entre los distintos menús que se desarrollan en el programa para adquirir los datos deseados, así como guardarlos en archivos de texto. La interfaz ha de ser lo más limpia y a la vez completa posible, cubriendo todas las necesidades que han sido requeridas para realizar la caracterización de la bomba. Esto se conseguirá gracias a el gran abanico que nos ofrece LabVIEW para crear nuestra interfaz.

1.2. Conceptos previos

1.2.1. Bomba hidráulica

Una bomba hidráulica es una máquina capaz de transformar energía mecánica en energía hidráulica, es decir, aporta energía a un fluido incompresible. De esta forma, conseguiremos aumentar la presión, altura o velocidad del fluido con el que estemos trabajando. Este proceso lo consigue creando mediante la creación de un vacío en la succión permitiendo que la presión atmosférica empuje al líquido a la entrada de la bomba. Esta misma acción es la responsable de que el líquido salga propulsado por la salida de la bomba.

Las bombas hidráulicas se clasifican en varios tipos, dependiendo del método que usen para hacer circular el líquido por el circuito hidráulico. Estas son las recíprocas, dinámicas, de chorro y neumáticas. Nuestro trabajo está realizado sobre una bomba centrífuga o radial, las cuales se encuentran en el grupo de las dinámicas por lo que tan solo nos centraremos en estas.

Las bombas centrífugas, como ya se ha destacado anteriormente, son un tipo de bombas hidráulicas. Su funcionamiento se basa en el movimiento rotatorio de los álabes situados en el rotor o rodete que está unas paletas encerradas dentro de una carcasa (ver figura 1). La finalidad de estos álabes será la de comunicarle al líquido una mayor energía hidráulica gracias a la energía cinética de su movimiento rotatorio. En particular, el aporte de energía viene dado por un cambio en el momento cinético del líquido. Este entrará al interior de la bomba a través del eje circulando por los canales del rotor y siendo impulsado por los álabes para terminar siendo descargado en la voluta.

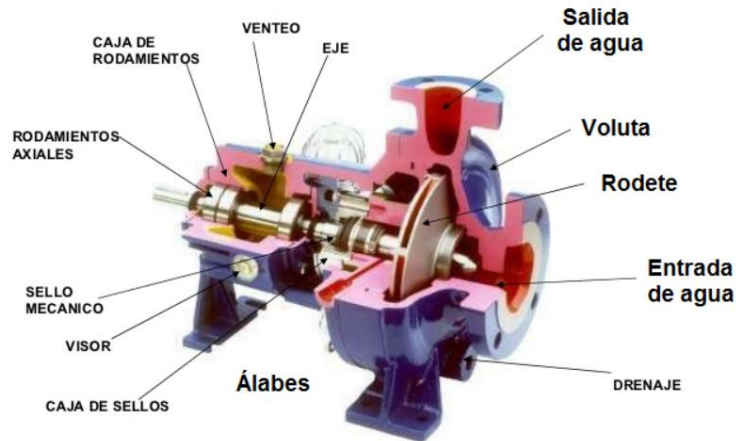


Imagen 1: Partes de una bomba centrífuga (Trabajo sobre bombas centrífugas UJA)

Las partes más importantes de la bomba centrífuga son:

- **Entrada:** parte que conecta con la tubería de aspiración por la que entra el fluido a la bomba
- **Eje:** Pieza que se encuentra sobre el impulsor, de sección circular y variable. Responsable de transmitir la fuerza desde el motor.
- **Rodamientos:** Elementos que tienen como función evitar el desgaste que se puede producir entre el impulsor y la carcasa debido a la holgura entre ellos.
- **Impulsor:** Es el responsable de impulsar el fluido por la instalación.
- **Flecha:** Funciona como eje de los elementos que giran en la bomba.
- **Voluta:** carcasa que recoge el fluido a la salida del rotor y que tiene una sección circular creciente para aumentar la presión estática del fluido
- **Cojinetes:** Se encargan de soportar a la flecha, soportando las cargas axiales y radiales de la bomba.
- **Bases:** Se encargan de dar soporte a la bomba.
- **Salida:** parte que conecta con la tubería de impulsión

La forma de caracterizar el funcionamiento de una bomba hidráulica es mediante las curvas características. Estas se realizan mediante la medición experimental de distintas variables con el fin de representar gráficas que nos ayudarán a comprender el funcionamiento y el rendimiento de la bomba.

Una de las finalidades de sacar estas curvas es la de obtener el punto de máximo rendimiento, que nos indicará las condiciones en las que la bomba trabaja a su máximo rendimiento. Para ello las variables que debemos de analizar son la **altura manométrica**, **potencia eléctrica**, **potencia mecánica** y **caudal**

1.2.1.1. Altura manométrica de impulsión

La principal función de una bomba hidráulica es la de dotar energía a un fluido para que este sea capaz de llegar de un punto a otro. La altura manométrica será la altura que debe vencer la bomba para elevar el fluido desde un punto de la instalación a otro de mayor altura.

La ecuación que describe la altura manométrica se compone de varios miembros:

(1.1)

$$Hm = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

donde:

$p_2(Pa)$: presión a la salida de la bomba.

$p_1(Pa)$: presión a la entrada de la bomba.

$\rho(kg/m^3)$: densidad del fluido.

$g(m/s^2)$: constante de gravedad.

$v_1(m/s)$: velocidad a la entrada.

$v_2(m/s)$: velocidad a la salida.

$z_2(m)$: altura a la salida.

$z_1(m)$: altura a la entrada.

Donde los dos primeros términos pertenecen a la **presión estática** y el tercero a la **presión dinámica**. Sin embargo, podemos simplificar términos de esta ecuación despreciando algunas variables:

- Como el área de la tubería a la entrada de la bomba es la misma que el área a la salida y el caudal se mantiene también constante tenemos que:

(1.2)

$$v = \frac{Q}{A} \rightarrow v_1 = v_2$$

Donde:

$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$: Caudal que circula por la bomba.

De esta forma podemos descartar el segundo término de la ecuación.

- La diferencia de altura inicial y final es despreciable frente al resultado que vamos a obtener de la altura manométrica, por lo que puede eliminarse la ecuación (x).

La ecuación final para la altura manométrica de la bomba que nos queda es la siguiente:

(1.3)

$$Hm = \frac{p_2 - p_1}{\rho g}$$

Lo único que debemos saber para obtener la altura manométrica será la presión a la entrada y salida de la bomba, ya que tanto la densidad como la gravedad la conocemos. Si esta expresión la multiplicamos por la gravedad, obtenemos el **trabajo específico útil**, gHm .

En la imagen 3 se pueden ver las curvas de trabajo específico útil frente al caudal de una bomba, correspondiendo cada una de ellas a una velocidad de giro de la bomba diferente. Los símbolos son las medidas experimentales y las líneas corresponden a ajustes cuadráticos, puesto que la altura manométrica (o el trabajo útil) depende del caudal de forma cuadrática:

$$Hm = a + bQ + cQ^2$$

Siendo a, b y c constantes para cada bomba y cada valor de la velocidad de giro. Se puede observar que existe una altura manométrica para caudal nulo, que se denomina altura a válvula cerrada, que normalmente es máxima. A partir de ahí, conforme aumenta el caudal bombeado la bomba proporciona menor altura, hasta llegar al valor máximo de caudal proporcionado por la bomba, con una altura mínima.

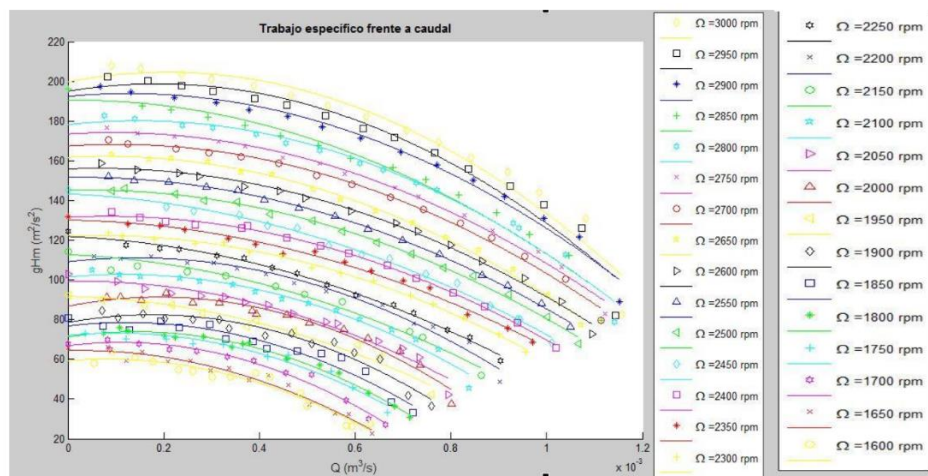


Imagen 1: Curva Hm frente al caudal (trabajo doble bombas centrífugas UJA)

1.2.1.2 Potencia hidráulica

La potencia hidráulica es el producto de la ganancia de presión por el caudal. Obtendremos las medidas de presión tanto a la entrada y a la salida de la bomba, el caudal que circula por la instalación y realizamos los cálculos de potencia.

La potencia hidráulica también se denomina **potencia útil**.

(1.4)

$$W_H = \rho g H_m Q$$

Donde:

W_H (W): potencia hidráulica de la bomba.

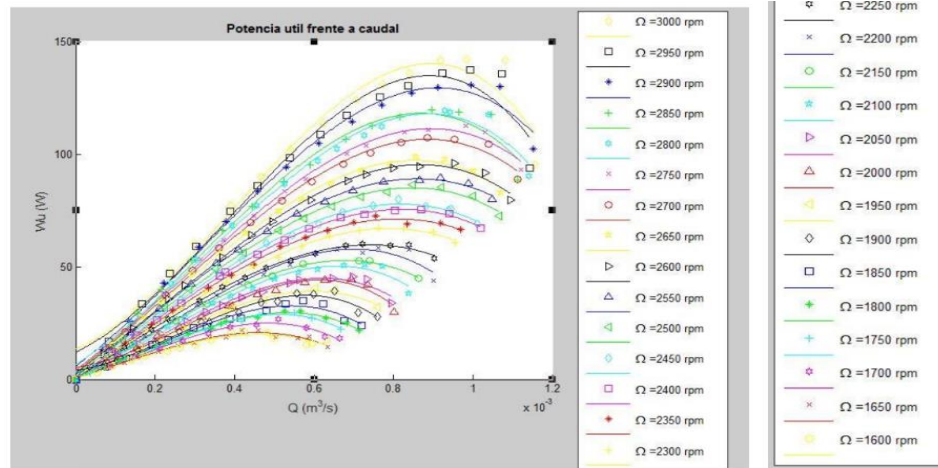


Imagen 2: Gráfica Wh frente al caudal (trabajo de sobre bombas centrífugas UJA).

En la imagen 3, se pueden observar las curvas de la potencia útil frente al caudal. Los símbolos corresponden a las medidas experimentales y las líneas a los ajustes que tienen forma de polinomios de tercer orden, ya que en la potencia, la altura manométrica, que depende del caudal de forma cuatrática, está multiplicada por el caudal.

1.1.2.3. Potencia eléctrica y mecánica

El motor de la bomba, es un motor alimentado por una corriente trifásica, por lo tanto, la bomba durante la ejecución consumirá una potencia eléctrica. La medida del consumo de potencia eléctrica es interesante para representar el consumo de potencia frente al caudal.

Por otro lado, tenemos la potencia mecánica. Esta se define como el producto del par motor por la velocidad de giro. Al igual que la potencia eléctrica, esta será mayor mientras más grande sea la velocidad de giro y el caudal.

$$W_m = P * \Omega$$

Donde:

$W_m(W)$: potencia mecánica.

$P(N * m)$: par motor.

$\Omega \left(\frac{rad}{s} \right)$: velocidad de giro.

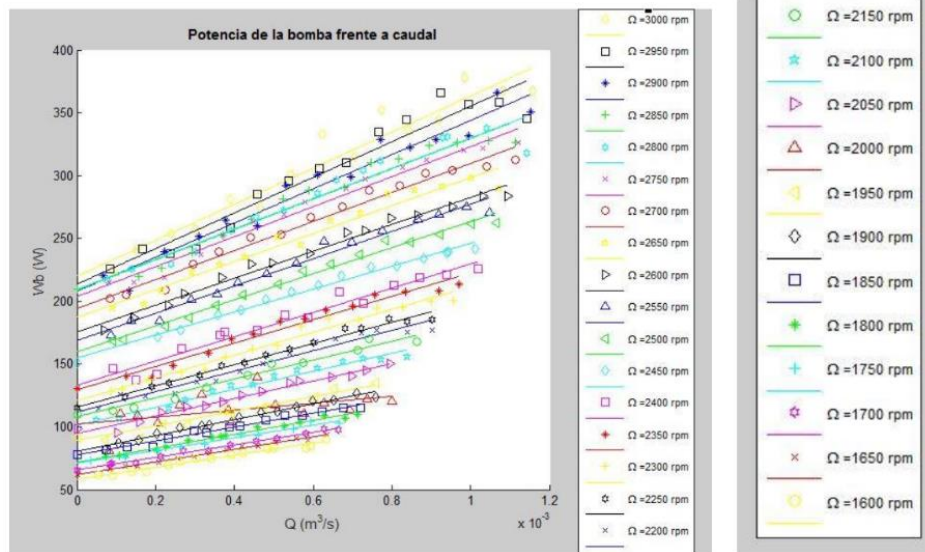


Imagen 3: Gráfica W_e frente al caudal (trabajo de sobre bombas centrífugas UJA).

En la imagen 5 se pueden observar las curvas de potencia mecánica frente al caudal: los símbolos son las medidas experimentales y las líneas son ajustes lineales, ya que la potencia que consume la bomba aumenta de forma lineal con el caudal.

1.2.1.4 Rendimiento

Una vez sacadas las curvas características, podemos sacar la curva de rendimiento de la bomba. Esta curva, tendrá un máximo el cual será el punto de mayor rendimiento de la bomba. Este punto será de gran importancia ya que nos indica en que condiciones la bomba nos ofrecerá un rendimiento máximo.

El rendimiento de una bomba centrífuga se expresa como la relación entre la potencia hidráulica y la potencia eléctrica o mecánica. En nuestro caso usaremos la relación con la potencia eléctrica ya que es la variable que podemos medir.

(1.5)

$$\eta = \frac{W_H}{W_m}$$

Donde:

η : rendimiento total de la bomba

La curva del rendimiento se representa frente al caudal para distintas velocidades de giro.

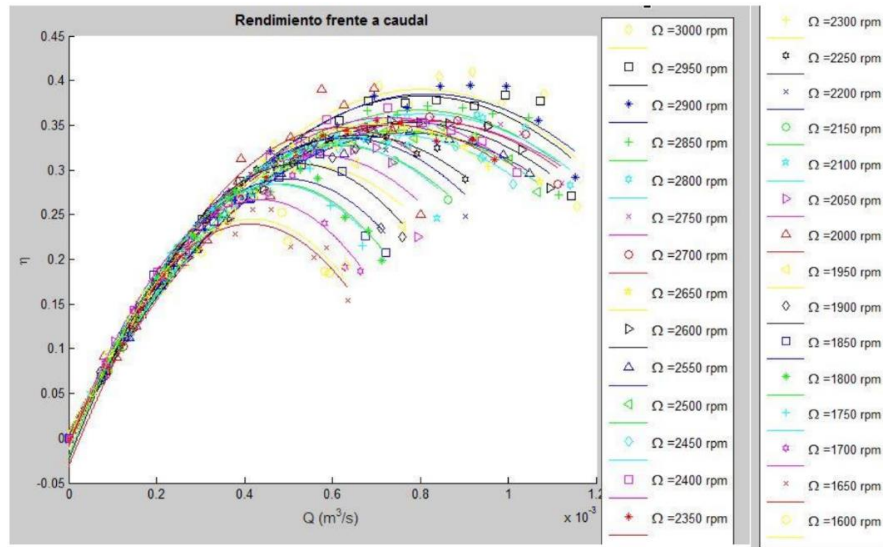


Imagen 4: Gráfica η frente a caudal (trabajo de sobre bombas centrífugas UJA).

La imagen 6 representa la evolución del rendimiento frente al caudal: las figuras representan las medidas experimentales y las líneas son los ajustes lineales.

Otra posibilidad sería calcular el rendimiento usando la potencia eléctrica de la bomba en lugar de la mecánica, que es lo que se realizará en el presente trabajo como se comentará más adelante.

$$\eta = \frac{W_H}{W_e} \quad (1.6)$$

Donde W_e es la potencia eléctrica, asumiendo un rendimiento del motor eléctrico del 100%.

1.2.3 LabVIEW

LabVIEW es un software desarrollado por National Instrument, usado en la ingeniería para diseñar y programar sistemas mediante un lenguaje de programación gráfica. Este ha sido el software usado en el presente trabajo para

computerizar la bomba centrífuga. A continuación, se describen los conceptos básicos del mismo.

Al crear un programa se genera un VI o lo que es lo mismo un Instrumento Virtual. Esta es una de la principal característica de LabVIEW ya que para un programa complejo podremos crear la cantidad de VI que queramos, asignarle una serie de entradas y salidas y conectarlos de la forma que más nos convenga, de esta forma si queremos conseguir un sistema con una programación larga y compleja, dividiremos la programación en diferentes VI disminuyendo la complejidad del código y consiguiendo un programa total mucho más limpio y comprensible.

Otras de las principales características de LabVIEW es su facilidad de uso y su gran conectividad. LabVIEW es capaz de interactuar de una gran cantidad de formas, tanto con elementos externos al equipo como con diferentes

programas. Cuando queremos obtener algún dato exterior, podemos recurrir a los puertos compatibles con LabVIEW y su tarjeta de adquisición de datos correspondiente. Algunas de las formas más comunes es mediante puerto serie y paralelo, GPIB, bluetooth y USB entre otras muchas.

Una vez abrimos LabVIEW, nos encontraremos con dos paneles llamados panel frontal y diagrama de bloques.

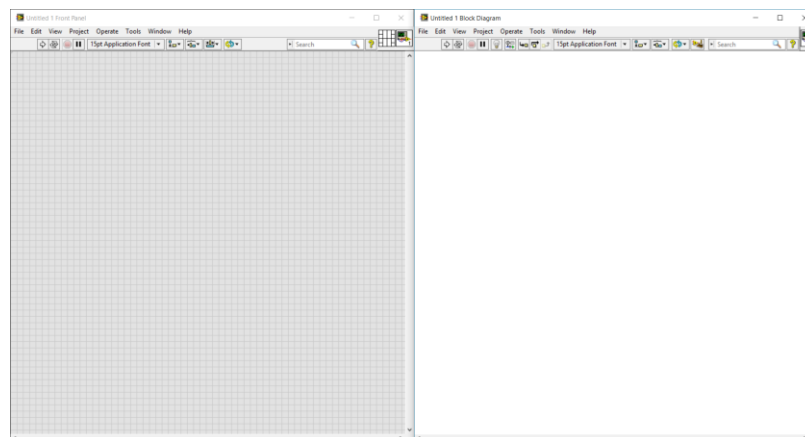


Imagen 5: Panel frontal y diagrama de bloques.

A continuación, se describen los distintos paneles:

- 1) **Panel forntal:** En esta ventana se encontrará la interfaz del usuario. Una de las ventajas de LabVIEW es la posibilidad de crear interfaces muy vistosas e intuitivas. Por lo tanto, en este espacio el programador se encargará de diseñar toda la interfaz en la que más tarde, el usuario del programa final podrá interactuar.

Si pulsamos el botón derecho en esta ventana, abriremos una paleta de elementos llamada paleta de control.

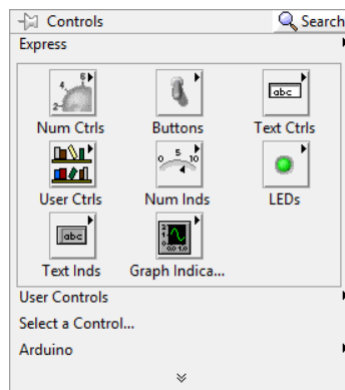


Imagen 6: Paleta de funciones del panel frontal

Esta paleta nos permite arrastrar todas las herramientas que estarán situadas en la interfaz del usuario. Estas son las que incluyen todo tipo de indicadores visuales, numéricos o de texto, gráficos y controladores.

- 2) **Diagrama de bloques:** Aquí será donde el programador desarrolla todo el código del VI.

Al igual que en la ventana frontal, disponemos de una paleta llamada paleta de funciones. Accedemos a ella con botón derecho sobre nuestra ventana de bloques.

Dentro de esta paleta encontramos todas las herramientas que dispone el programador para construir su código. Haciendo un breve resumen, disponemos herramientas para operar con cualquier tipo de datos, como por ejemplo datos numéricos, vectores y matrices o booleanos, herramientas para la adquisición de datos, tratamiento de señales, conectividad y muchas más. Las más importantes serán analizadas a continuación.

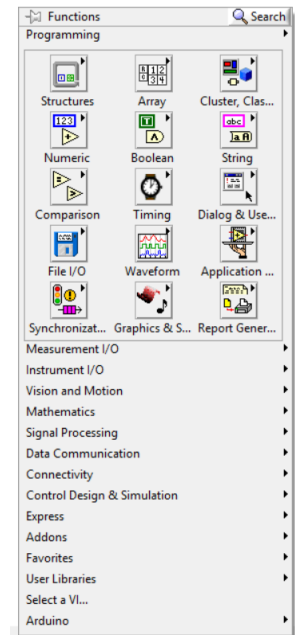


Imagen 7: Paleta de funciones del diagrama de bloques

Cuando se desea crear un VI, el programador tendrá a su disposición desde el panel frontal y desde la ventana de bloques una gran variedad de herramientas (a parte de las paletas ya descritas) para realizar el código del programa.

Si nos fijamos en la parte superior del panel frontal encontramos a la izquierda botones relacionados con la ejecución del programa.

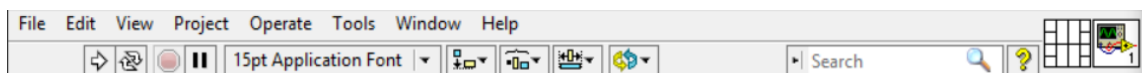


Imagen 8: Herramientas del panel frontal

Estos botones, de izquierda a derecha, son el de la ejecución, la ejecución continua y el botón de paro. El siguiente elemento nos servirá para cambiar el estilo de letra y los restantes están relacionados con la colocación y alineación de los objetos del panel frontal.

En el caso de la ventana de bloques, si la observamos igualmente de izquierda a derecha nos encontramos con los mismos botones relacionados con la ejecución del programa.



Imagen 9: Herramientas del diagrama de bloques

El siguiente elemento tiene forma de bombilla y es muy importante ya que nos ofrece en tiempo real los datos que circulan en cada iteración por las diferentes estructuras a su entrada y salida. Nos será de gran ayuda para comprender con claridad como fluyen los datos en nuestro programa y arreglarlo en caso de fallos.

Además de las herramientas en la parte superior de las ventanas disponemos de una paleta con herramientas extra.



Imagen 10: Paleta de herramientas.

Dentro de esta paleta tenemos a nuestra disposición la paleta de colores para el cambio de color de los elementos de nuestra interfaz, el dedo el cual nos sirve para seleccionar elementos de la interfaz y desplegar sus menús, la herramienta de edición de texto o la bobina, muy importante ya que nos permitirá cablear y unir los distintos bloques.

Tipo de datos y operaciones

El flujo de datos desde un objeto hacia otro se realizará a través de cables. Estos cables, al igual que los objetos que une son de distinto tipo, el tipo de cable se deducirá dependiendo del grosor y color del mismo (será del mismo color que representa cada tipo de dato), además se podrá realizar un cableado automático o manual.

Por lo tanto, nos encontramos que al igual que en la programación clásica, los datos pueden ser de diferente tipo:

- **Cadena de caracteres:** Son datos que se encuentran en formato ASCII. Se pueden utilizar como indicadores de texto en forma de diálogo o para almacenamiento de datos.

Algunas de las operaciones que ofrece LabVIEW desde la ventana de bloques para las cadenas de caracteres incluyen sacar la longitud de una cadena de caracteres, separar elementos de la cadena, concatenar varios textos o cambiar el formato de texto. Las cadenas de caracteres pueden ser mostradas en el panel frontal por medio de indicadores.

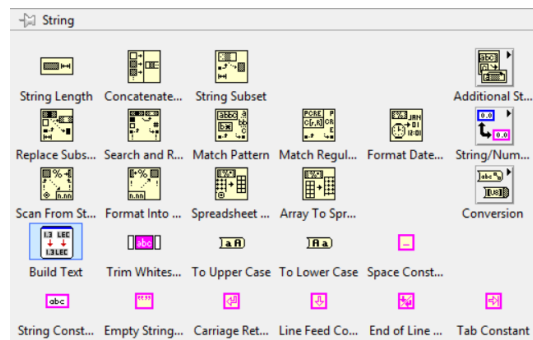


Imagen 11: Paleta de operaciones para cadenas de caracteres

- **Dato numérico:** Son datos exclusivamente de tipo numérico. Se pueden distinguir por el color entre datos de doble precisión (naranja) y simple (azul) precisión.

Disponemos de operaciones matemáticas desde el panel de bloques y de indicadores numéricos en el panel frontal.

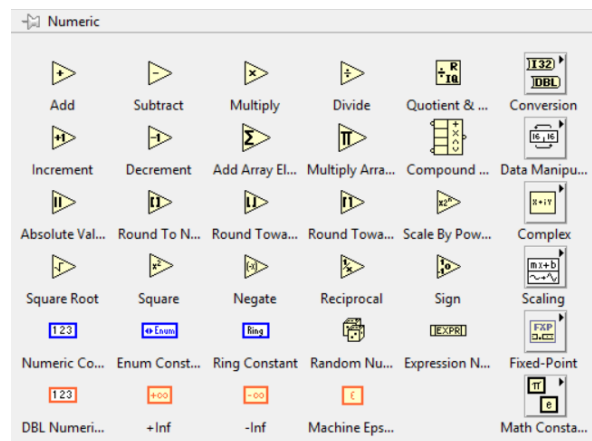


Imagen 12: Paleta de operaciones para datos numéricos

- **Booleano:** Los datos de tipo booleano tienen una gran utilidad ya que con ellos podemos crear todo tipo de código en donde se requiera dos condiciones (verdadero o falso). Además de su utilidad en el panel frontal para la creación del código nos permiten crear indicadores LED para nuestra interfaz. Podemos encontrar una paleta dedicada para booleanos en la ventana frontal y en la ventana de bloques. Desde la de bloques podemos sacar operaciones lógicas y desde el panel frontal, mediante indicadores luminosos como Leds mostrar los resultados lógicos

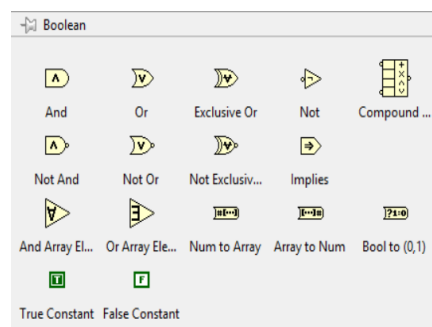


Imagen 13: Paleta de operaciones para datos booleanos

- **Arrays:** Nos permiten crear vectores y matrices de cualquier tipo de datos. Estos son más complejos que los anteriores debido que se puede trabajar con ellos de muchas formas. Estos pueden trabajar como indicadores o como controladores.

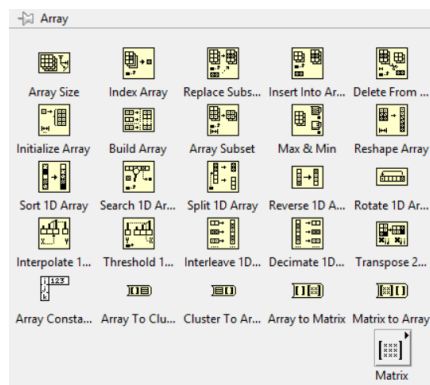


Imagen 14: Paleta de operaciones para arrays

Si queremos crear un array de datos, primero deberemos inicializarlo indicando de que tipo será y sus dimensiones. LabVIEW nos ofrece herramientas para trabajar sobre los arreglos con soltura, ya sea extrayendo o eliminando filas y columnas, incluir un dato en una posición indicada y mucho mas.

- **Clusters:** Los Clusters se utilizan para agrupar objetos de diferentes tipos de datos, de esta forma podemos desarrollar un código con menos cables y más simplificado. Estos estarán cableados mediante un hilo de color rosa y grueso. Estos funcionan de forma parecido a los arrays ya que pueden ser de tipo indicadores y controladores además se podrá trabajar sobre estos de diferentes maneras como por ejemplo el ensamblaje y la separación de los distintos elementos que componen el cluster. En resumen, podemos decir que un cluster es un array cuyos objetos son distintos tipos de datos.

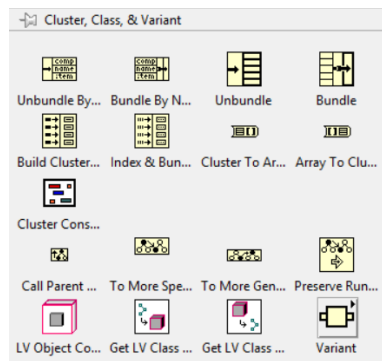


Imagen 15: Paleta de operaciones para clusters

Estructuras

Al igual que en un lenguaje clásico de programación creamos estructuras de repetición o condición, en LabVIEW tendremos todo tipo de estructuras disponibles desde el diagrama de bloques.

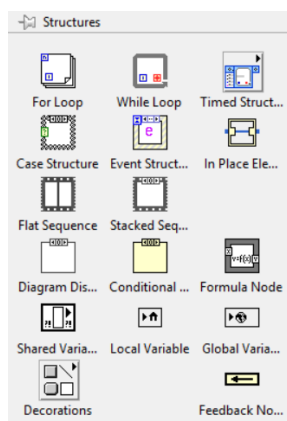


Imagen 16: Estructuras disponibles

Algunas de las principales estructuras son:

- **Ciclo while:** la programación que se encuentre en este bloque se ejecutará mientras que la condición de paro no esté activa. Para para el ciclo debemos de conectar un controlador a dicha condición o en el caso de querer obtener un ciclo infinito conectar una constante booleana activa a la condición de paro. A demás tendremos otro indicador que nos dirá en número de iteraciones que llevamos acumuladas durante la ejecución

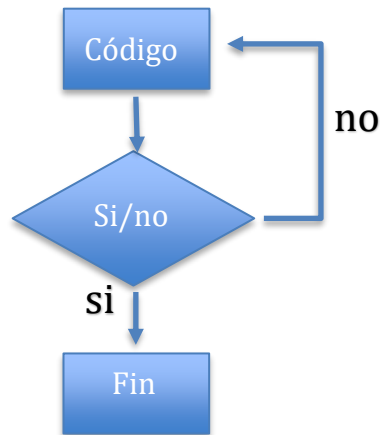


Imagen 17: Diagrama de flujo de la estructura while

- **Ciclo for:** se repetirá el código introducido en la estructura tantas veces como nosotros indiquemos, para ello conectamos una constante numérica al indicador de la parte superior. Al igual que anteriormente, podemos sacar de un indicador el número de iteraciones acumuladas en la ejecución. Un aspecto importante será la salida de datos hacia el exterior de la estructura ya que deberemos de seleccionar si queremos sacar el dato de la anterior iteración o sacar el dato de la iteración final.

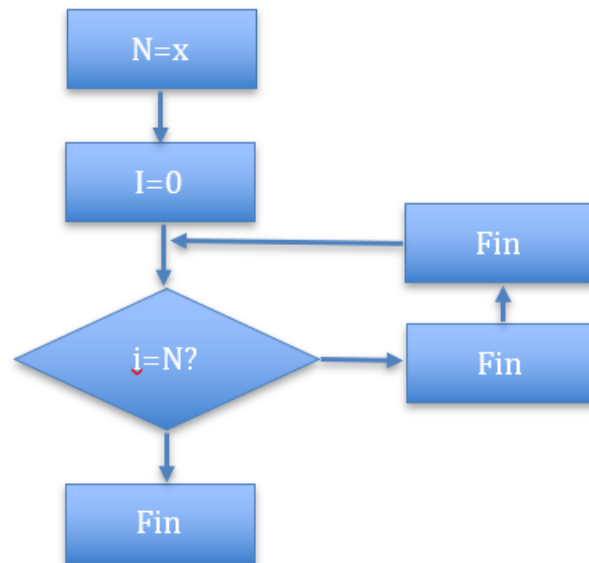


Imagen 18: Diagrama de flujo de la estructura for

Otra opción (también disponible para el ciclo while) es poder controlar el tiempo de paso entre una iteración y otra mediante el uso de la función espera, a la que deberemos indicar el tiempo de espera en milisegundos.

- **Estructura case:** es la equivalente del “if” en la programación clásica. De este modo tendremos una entrada de datos (o no) y un código interno en la estructura. Un aspecto importante es que los dos casos deben contener código y cuando se produce una salida de datos desde uno de los casos, también se produce la salida del mismo (pero con cualquier otro valor) desde el caso contrario. Desde la pestaña superior podemos seleccionar que caso queremos programar. La pestaña verde de la izquierda será la que nos seleccione un caso u otro durante la ejecución del código, es de tipo booleano.

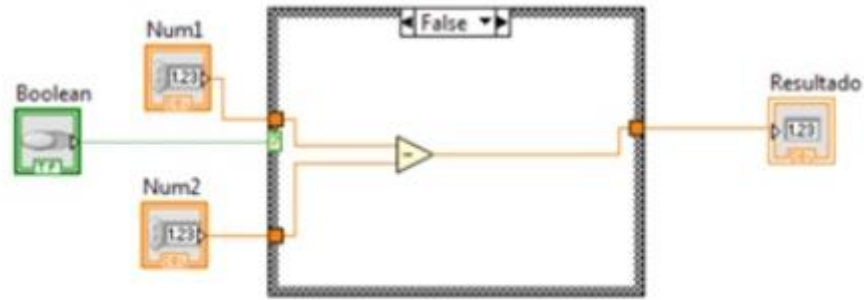


Imagen 19: Representación en LabView de la estructura case.

Aunque tenemos más cantidad de estructuras en LabVIEW, podemos decir que estas son las principales y las demás derivan de estas tres por lo que será fácil entender su funcionamiento si ya conocemos las mencionadas anteriormente.

- **Estructura node:** nos permite desarrollar código de programación (en lenguaje C) en su interior. Es útil para casos complejos en los que no nos viene bien ninguna estructura anterior o para desarrollar una fórmula algebraica ahorrándonos espacio en la pantalla de programación. En la parte de la izquierda, indicaremos las entradas y su conexión y en la parte derecha todas las salidas.

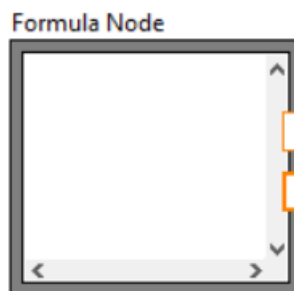


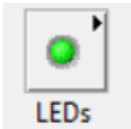
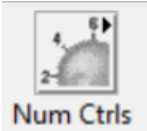
Imagen 20: Representación en LabView de la estructura node

- **Estructura de secuencia:** puede ser de dos tipos Flat y Stacked. La primera se compone de varias ventanas, una a continuación de otra. Cada ventana contendrá un código independiente de otra, de forma que se leerá cada una de ellas en un orden de izquierda a derecha. La de tipo Stacked es lo mismo, solo que las ventanas no se encuentran una a continuación de otra, si no que se encuentran superpuestas. Para

Herramientas para crear una interfaz

La principal característica de LabVIEW es la posibilidad de crear interfaces donde se plasman los resultados obtenidos por el código de programación e interactuar con el mismo mediante controladores.

Si lo que queremos es interactuar con el código introduciendo o modificando cualquier tipo de datos durante la ejecución, disponemos herramientas de control como botoneras o interruptores. Si lo que queremos es observar la evolución de los datos que disponemos en diferentes indicadores también disponemos de dichas herramientas. Todas estas funciones están incluidas en la paleta principal del panel frontal.

	Función	Descripción
	Indicador	Indicadores numéricos. Saltan para informar al operario sobre algún evento. Útiles para indicar errores.
	Indicador	Disponemos de indicadores luminosos que nos sirven como salida a la interfaz de las variables booleanas.
	Controlador	Sirven para introducir datos numéricos al programa.
	Controlador	Tienen la misma función que los controladores numéricos, solo que aquí introducimos texto y no datos numéricos. Uno de los usos frecuentes es para especificar rutas o nombres de archivos.

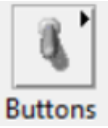
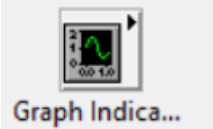
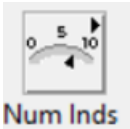
	Controlador	Mediante estos controladores introducimos datos booleanos, es decir, verdadero o falso. Aquí encontramos variedad de controladores según la aplicación, por ejemplo, interruptores o botones.
	Indicador	Gráficos para representar la información, ya sea la evolución temporal de una variable o la variación de una variable respecto a otra.
	Indicador	Los indicadores numéricos nos enseñan en pantalla los resultados de datos numéricos obtenidos en el programa

Tabla 1: Herramientas de la paleta del panel frontal.

Concepto de VI y SubVI

Un VI es una abreviatura de instrumento virtual. El instrumento virtual es el nombre que recibe el programa que creamos en LabVIEW ya que su apariencia final es muy parecida a la de un instrumento físico. Este VI, además de contener todo el código de programación y la interfaz correspondiente, se le puede agregar una serie de entradas y salidas. Esta es una gran ventaja que nos ofrece LabVIEW ya que a un VI se le puede asociar un VI, de esta forma nos podemos ahorrar una gran cantidad de código en la pantalla y tener un diagrama de bloques mucho más limpio.

Para asociar entradas y salidas al SubVI, nos movemos a la parte superior del panel frontal y en la parte de la derecha nos encontramos dos iconos.



Imagen 21: Entradas y salidas e icono de un VI.

El icono que contiene varios rectángulos es el que nos habilita asociar entradas y salidas. Los rectángulos pertenecientes a la parte izquierda corresponden a las entradas y los que se sitúan en la parte derecha son para asociar salidas. Podemos cambiar en número de entradas y salidas y elegir entre los patrones disponibles.

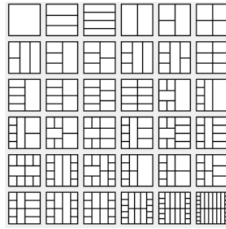


Imagen 22: Combinaciones de entradas y salidas para un VI

El icono de la derecha representa el dibujo que tendrá nuestro VI. Este puede ser editado de forma que represente de forma intuitiva mediante el dibujo la función que realiza.

2. TRABAJO EXPERIMENTAL

2.1. Descripción de la instalación experimental

El banco de prácticas estaba compuesto inicialmente por la bomba centrífuga, una serie de conductos con el fin de hacer circular el agua desde el depósito y volver a soltarla en el mismo, un variador de frecuencia para poder cambiar la velocidad del motor, el depósito en el cual se alojaba el agua, y unas válvulas tanto a la entrada como a la salida de la bomba para poder regular el caudal.

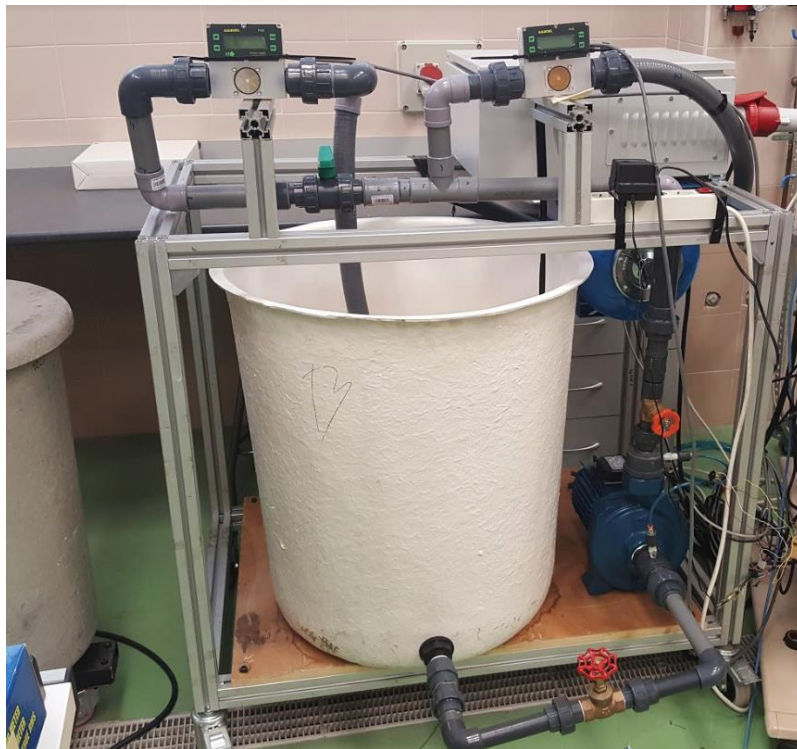


Imagen 23: Representación del puesto.

2.1.1. Bomba centrífuga

Disponemos de una electrobomba de la gama SE 200 T perteneciente a Foras Water. Esta se usa especialmente para aplicaciones domesticas o para pequeñas aplicaciones industriales.



Imagen 24: Bomba centrífuga del puesto

Está alimentada a través de corriente trifásica donde la velocidad de giro queda regulada por el variador de frecuencia. Si abrimos la carcasa superior, podemos ver que su conexionado es en estrella.



Imagen 25: Conexiones de la bomba

Cuerpo y soporte	Fundición gris
Rodete	Latón estampado
Eje motor	Acero inoxidable AISI 303
Fluido	Líquidos con escasas impurezas
Temperatura del fluido	0-90°C
Altura máxima aspiración	5 m
Presión trabajo	Max 6 bar
Caudal máximo	500 l/min
Altura máxima	33 m
Φ aspiración	2"
Φ impulsión	2"
Protección térmica	2 polos a inducción 230/400 V–50 Hz
Clase de aislamiento	F
Grado de protección	IP44

Tabla 2: Características de la bomba

2.1.2. Válvulas

Nos encontramos con dos válvulas, una a la entrada y otra a la salida de la bomba, ambas de tipo compuerta.

Válvula a la entrada (aspiración)



Imagen 26: Válvula de entrada

Válvula a la salida (impulsión)



Imagen 27: Válvula de salida

Deberemos de tener cuidado, ya que el puesto solo funcionará correctamente si regulamos la válvula de salida colocada en la tubería de impulsión. Esto se debe a que si cerramos la válvula de la aspiración provocaremos el fenómeno de cavitación. Este fenómeno ocurrirá cuando se cierra la válvula hasta un punto, en el que su presión se hace lo suficientemente baja como para alcanzar la presión de vapor. De este modo se formarán como

resultado burbujas de vapor responsables de falsear nuestra medida de pérdida de presión de la bomba. Además de obtener datos erróneos, la cavitación hará que nuestra instalación se desgaste cuando las burbujas implosionan, provocando que las hélices de la bomba realicen demasiado ruido y en definitiva disminuirá la vida útil de la bomba.

Por ello la válvula a la entrada de la bomba la mantendremos siempre abierta y tan solo usamos la válvula conectada a la salida para regular el caudal.

2.1.3. Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es el encargado de modificar la velocidad de giro del motor. Su cuadro está situado en la parte superior de la instalación. En nuestro caso disponemos de un variador de la marca ABB modelo ACS355-03E-05A6-4.

Estos son los datos técnicos el variador:

Tipo de protección	IP20
Frecuencia (f)	48 ... 63 Hz
Voltaje de entrada (V)	380 ... 480 V
Número de fases	3
Corriente de salida en uso normal	5.6 A
Potencia de salida en uso normal	2.2 kW

Tabla 3: Características del variador



Imagen 28: Variador de frecuencia del puesto

El variador de frecuencia se controla mediante un mando o botonera. Este mando dispone de una pantalla donde se puede observar la velocidad del variador en hercios o en porcentaje de revoluciones capaz de suministrar (hasta 50 Hz).

El mando dispone también de un botón de START y STOP para inicializar y pausar el sistema y un botón para paro de emergencia.



Imagen 29: Controlador del variador.

2.2. Descripción de los ensayos a realizar y variables a medir

Los ensayos a realizar vienen determinados por las curvas características de la bomba que se han descrito previamente. Por lo tanto, deberemos de

realizar esencialmente tres ensayos con el propósito de caracterizar la bomba: Medición de pérdidas de presión en la bomba, caudal que circula por la instalación y potencia eléctrica consumida por la bomba.

Inicialmente, no disponemos de sensores para realizar dichas mediciones ni una interfaz que nos muestre en pantalla los resultados obtenidos ya que precisamente ese es nuestro trabajo. Como la instalación era completamente nueva y nunca se había comprobado su funcionamiento, el primer paso a seguir fue la medida manual de las variables anteriores para hacer las curvas características. De esta forma se pudo comprobar si las variables medidas evolucionaban correctamente y que coincidían con las dadas en la ficha de características de la bomba, así como detectar los valores mínimos y máximos de las variables para poder escoger después los sensores más adecuados.

a) Velocidad de giro

Para comprobar el correcto funcionamiento del variador de frecuencia simplemente deberemos de ver si la velocidad de giro de la bomba coincide con la velocidad indicada por el panel del variador. Para ello deberemos de usar un tacómetro (usamos el modelo PCE-DT 63) y comprobarlo directamente con las hélices de la bomba. Como la velocidad proporcionada por el tacómetro viene en r.p.m. deberemos de pasar nuestra medida a Hz para observar si coincide con el indicador del variador. Por ello tenemos que tener en cuenta que:

$$1 \text{ rpm} \cong 0.167 \text{ Hz}$$

Realizando la medida se comprueba que ambas velocidades coinciden por lo que la velocidad indicada por el variador es correcta.

b) Incremento de presión de la bomba

La presión que aporta una bomba hidráulica será el resultado de la diferencia de presión entre la entrada y salida de la misma y que se puede medir usando un manómetro diferencial.

El ensayo que realizaremos será el de escoger una velocidad de giro y variar el caudal, es decir, obtener la curva de presión-caudal para una velocidad de giro determinada. Para variar el caudal usaremos la válvula de regulación que disponemos en la tubería de impulsión, previamente comentada.

Para medir la diferencia de presión correspondiente a cada caudal usaremos un manómetro diferencial disponible en el laboratorio de Mecánica de Fluidos PCE-910 (ver figura 31) el cual nos proporciona una medición máxima de 2000 mbar. Las dos salidas del manómetro se colocan en las tuberías de entrada y salida de la bomba. Cabe destacar que este ensayo inicial es para comprobar que la instalación funciona correctamente por lo que no tenemos como objetivo caracterizar experimentalmente la bomba (Esto se realizará más adelante a través de nuestro programa en LabVIEW).



Imagen 30: Manómetro utilizado

Estos son los resultados para una velocidad de giro de 37.5 Hz, variando la apertura de la válvula del 0% al 100%

HZ	VÁLVULA	CAUDAL (L/min)	ΔP (mBar)
37,5	Cerrado	0	1610
	25%	20.8	1590
	50%	43,2	1550
	75%	59.8	1470
	Abierto	69,2	1366

Tabla 4: Resultados de pruebas del manómetro

Escogemos esta velocidad inicialmente porque se consideró lo suficientemente grande como para obtener unos resultados correctos, sin embargo, la caracterización manual se realizará con una velocidad de giro superior ya que así se obtendrán mejores resultados.

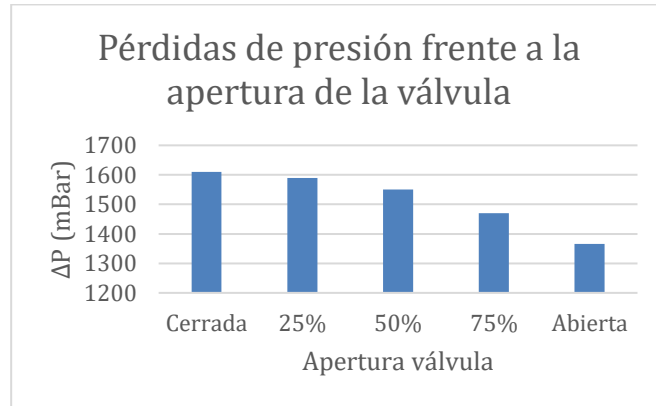


Imagen 31

Como podemos ver en la imagen 33, a medida que abrimos el paso de caudal mediante la válvula, la diferencia de presión experimenta una bajada, ya que el caudal se va haciendo mayor (apartado 1.2.1.1).

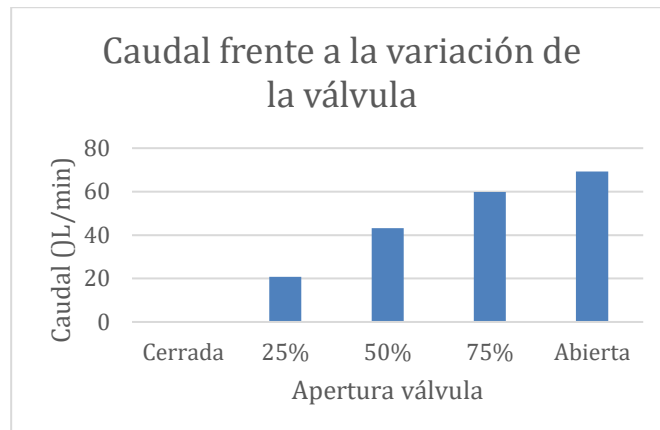


Imagen 32

Como es lógico, a medida que abrimos el paso mediante la válvula el caudal se va haciendo cada vez mayor, de esta forma comprobamos el correcto funcionamiento de los caudalímetros.

Obtenemos los resultados deseados. No sería así si en vez de variar la válvula de salida lo hacemos con la de entrada ya que provocando cavitación se obtuvieron resultados muy dispares.

c) Potencia eléctrica

La medida de la potencia eléctrica nos será de gran importancia para caracterizar la bomba ya que el rendimiento de la bomba se entiende como el resultado de dividir la potencia hidráulica entre la potencia eléctrica

Disponemos para ello de un vatímetro Fluke 41B. Para poder medir la potencia consumida por la bomba, tenemos que acceder al variador de frecuencia. Como el variador de frecuencia funciona con corriente trifásica, tenemos que tener en cuenta como se mide esta con el vatímetro. Nuestro sistema se aproxima a un sistema trifásico equilibrado y por lo tanto la potencia activa del sistema será la suma de las potencias activas de los sistemas monofásicos que lo componen. Como este es equilibrado la potencia activa resultante es el triple de la potencia de una sola fase.

(2.1)

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\theta$$

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin\theta$$

$$S = \sqrt{3} * V * I$$

Estas fórmulas son aplicables a nuestro sistema ya que los valores de la tensión de las distintas fases son iguales, al igual que las intensidades de línea que también coinciden. Sin embargo, nuestro vatímetro es capaz de representarnos el valor de la potencia trifásica directamente por la pantalla por lo que no será necesario aplicar las fórmulas anteriores.



Imagen 33: Medida de la potencia

Conectamos las pinzas amperimétricas que nos ofrece el vatímetro a una de las tres líneas, ya que las tres nos deben ofrecer la misma intensidad. Las sondas de tensión irán conectadas a dos de las tres fases. El vatímetro también nos puede ofrecer tanto la tensión entre las fases o la intensidad de la línea que estamos midiendo además del factor de potencia, por lo tanto, podemos sacar la potencia por medio de la fórmula en el caso de querer comprobar los resultados. Para una bomba hidráulica, a una misma velocidad de giro, la potencia aumentará a medida que aumente el caudal debido a que la bomba necesitará un mayor aporte de energía para mover mayores caudales (esto se puede apreciar en la imagen 36).

2.3. Caracterización manual

Para poder obtener las curvas características de la bomba, inicialmente tenemos que configurar una velocidad giro. Decidimos un valor alto para que las variaciones de presión y caudal sean lo más apreciables posibles, así como para que obtengamos los valores máximos de las variables y así podamos escoger los sensores adecuados. Para la obtención de los valores se han usado los elementos y metodología descritos en el apartado anterior.

Por ello ponemos el variador de frecuencia a 40 Hz y partiendo desde un estado inicial con la válvula completamente cerrada, empezamos a abrirla. Elegimos 40 Hz porque como veremos más adelante esta es la velocidad máxima a la que puede trabajar nuestra bomba y por lo tanto nos dará los mejores resultados.

Estos son los datos recogidos:

		40 Hz		
CAUDAL (L/min)	ΔP (mbar)	We(W)	Q1 (L/min)	Q2 (L/min)
65,11	1420	694,19	33,51	31,6
62,08	1640	690,49	30,15	31,93
56,3	1685	684,78	28,57	27,73
54,3	1716	681,93	27,54	26,76
47,16	1750	672,53	23,8	23,36
38,21	1790	663,98	19,85	18,36
30,86	1820	663,13	15,78	15,08
18,67	1830	657,43	12,86	5,81
8,03	1835	650,18	8,03	0
0	1845	649,33	0	0

Tabla 5: Resultados a 40Hz

		40 Hz	
CAUDAL (L/min)	Vf (Rms)	IL (A)	Fp
65,11	315	2,73	0,81
62,08	315	2,71	0,81
56,3	315	2,69	0,81
54,3	315	2,68	0,81
47,16	315	2,64	0,81
38,21	315	2,61	0,81
30,86	315	2,6	0,81
18,67	315	2,58	0,81
8,03	315	2,53	0,81
0	315	2,52	0,81

Tabla 6: Resultados a 40Hz

Donde tenemos que:

A partir de estos datos recogidos, crearemos otra tabla con los datos necesarios para representar las curvas características, con sus unidades en el S.I. Añadimos las columnas de los datos de la altura manométrica y el rendimiento,

			40 Hz			
CAUDAL (L/min)	Q (m ³ /s)	ΔP (mBar)	Hm (m)	Wh (W)	Pe(W)	η
65,11	0,001085	142000	14,2	154,9	694,19	22,12
62,08	0,001035	164000	16,4	169,9	690,49	24,54
56,3	0,000938	168500	16,5	158,1	684,78	23,04
54,3	0,000905	171600	17,6	155,0	681,93	22,71
47,16	0,000786	175000	17,5	137,5	672,53	20,42
38,21	0,000637	179000	17,9	113,9	663,98	17,12
30,86	0,000514	182000	18,2	93,61	663,13	14,11
18,67	0,000311	183000	18,3	56,94	657,43	8,65
8,03	0,000134	183500	18,35	24,56	650,18	3,80
0	0,000000	184500	18,45	0,00	649,33	0,00

Tabla 7: Cálculos de los resultados a 40Hz.

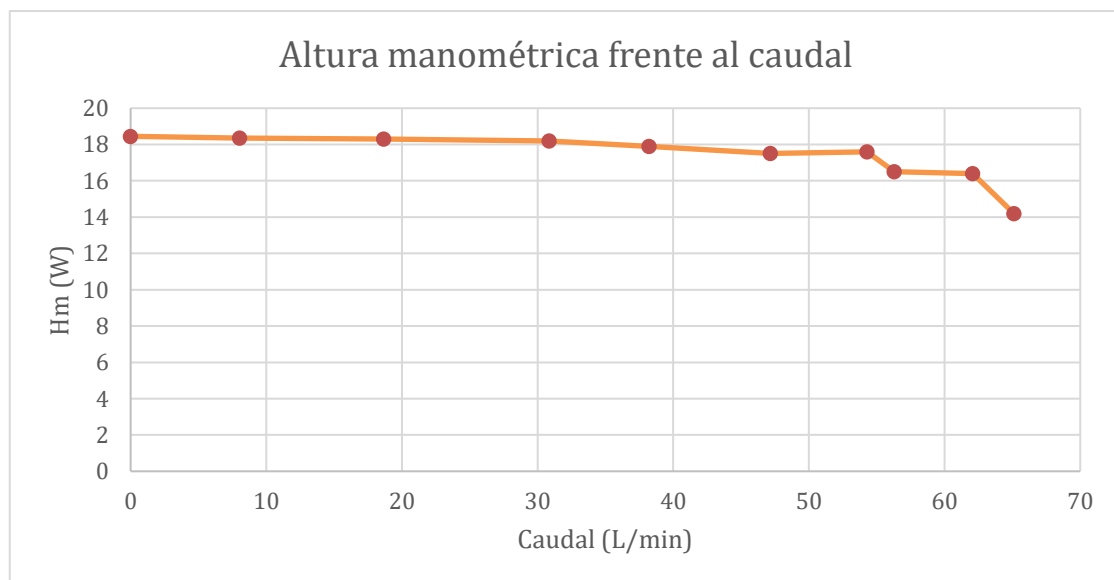


Imagen 34: Curva de Altura manométrica frente al caudal

Como podemos observar en el gráfico, la altura manométrica se hará menor a medida que aumenta el caudal. Cuando no circula caudal, la altura manométrica presentará su valor más alto ya que la válvula se encuentra

completamente cerrada y por lo tanto la diferencia de presión entra la entrada y salida de la bomba será máxima. A medida que abrimos la válvula, los valores de presión a la entrada y salida se van igualando y por lo tanto la altura manométrica va disminuyendo.

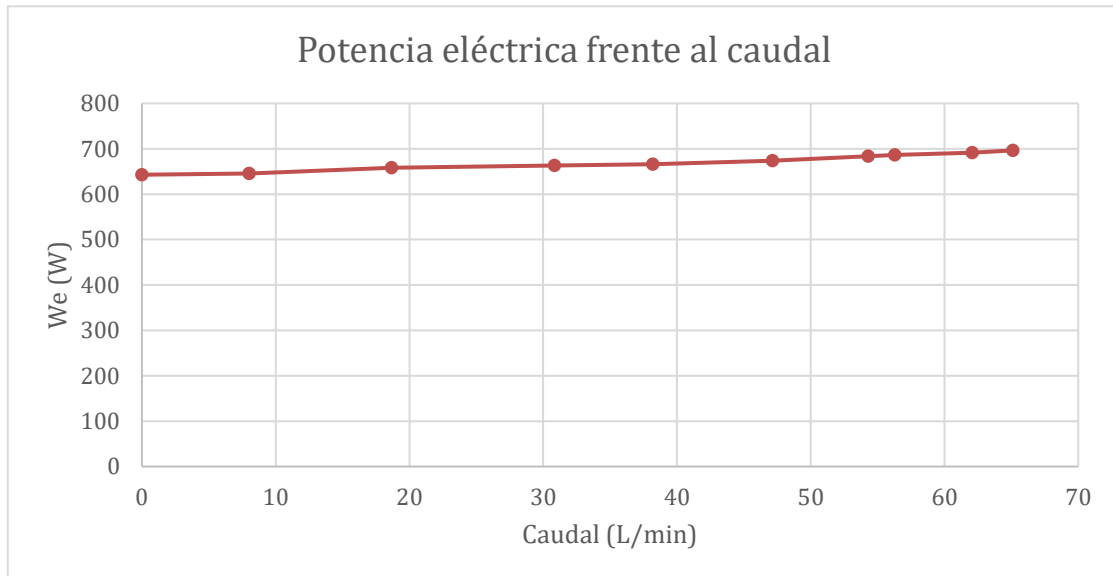


Imagen 35: Curva de potencia eléctrica frente al caudal

En la imagen vemos para un mayor caudal, la potencia eléctrica aumenta de forma lineal. (Apartado 2.2)

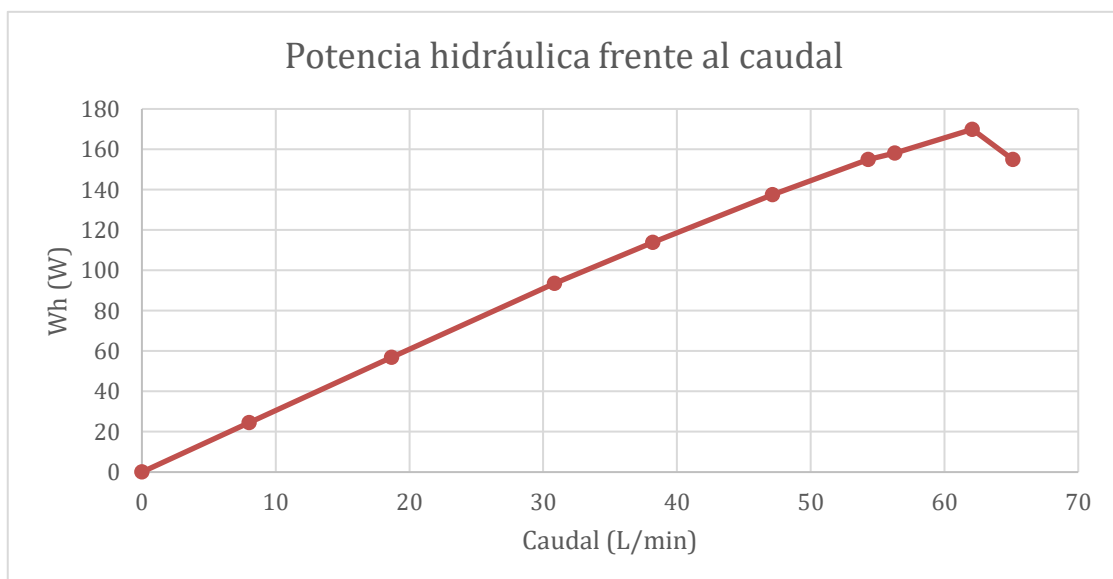


Imagen 36: Curva de potencia eléctrica frente al caudal

La potencia hidráulica crecerá respecto al caudal hasta llegar a un punto máximo en el que comenzará a disminuir. Esto se debe a que el caudal y la diferencia de presión son inversamente proporcionales.

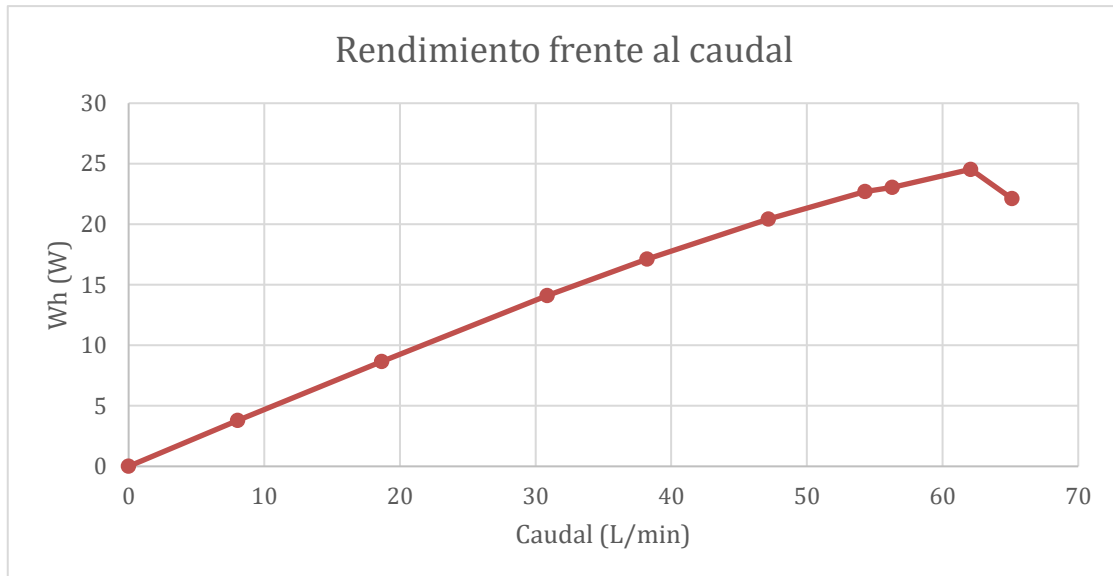


Imagen 37: Curva de rendimiento frente al caudal

Como vemos en la gráfica 40, tenemos un punto máximo que será el punto de máximo rendimiento de la bomba. Este se alcanza con un caudal de 62 L/min.

2.4. Medición experimental de rangos máximos

Tras comprobar que nuestra instalación responde correctamente, deberemos de realizar una serie de medidas para saber en que rangos nos movemos para así elegir el sensor que más nos convenga.

Nos encontramos con cuatro limitaciones diferentes:

- **Velocidad de giro máxima**
- **Caudal máximo medible**
- **Diferencia de presión máxima medible**
- **Potencia eléctrica máxima**

Partiendo de estas cuatro premisas, realizaremos una serie de ensayos.

El primero de ellos será saber cuál es la velocidad máxima a la que puede llegar nuestra bomba ya que, aunque conozcamos el límite del variador de frecuencia (50 Hz) el límite de la bomba puede ser mayor o menor.

Realizamos ensayo con la válvula completamente abierta. Esto se hace para que circule todo el caudal posible, de modo que cuando no aumente más el caudal y sigamos aumentando las revoluciones en el variador de frecuencia, significará que la bomba no puede suministrar más potencia.

HZ	VÁLVULA	CAUDAL (L/min)	ΔP (mbar)	Intensidad (A)
	Cerrado	0	1848	2
45	50%	53,8	1740	2,45
	Abierto	73	1453	2,57
	Cerrado	0	1850	2
42,5	50%	53,7	1740	2,4
	Abierto	72,8	1450	2,55
	Cerrado	0	1836	1,95
40	50%	53,15	1726	2,37
	Abierto	72,39	1425	2,5
	Cerrado	0	1610	2,35
37,5	50%	43,2	1550	2,2
	Abierto	69,2	1366	2,35
	Cerrado	0	1207	1,51
32,5	50%	33,24	1165	1,7
	Abierto	45,6	1050	1,8
	Cerrado	0	1022	1,35
30	50%	30,6	993	1,53
	Abierto	42,22	903	1,57
	Cerrado	0	864	1,25
27,5	50%	28,57	830	1,39
	Abierto	39,05	780	1,43
	Cerrado	0	713	1,08
25	50%	25,4	689	1,23
	Abierto	35,8	660	1,27

Tabla 8: Resultados para distintas frecuencias

Podemos observar mejor la evolución del caudal y la intensidad frente a la velocidad de giro mediante un gráfico

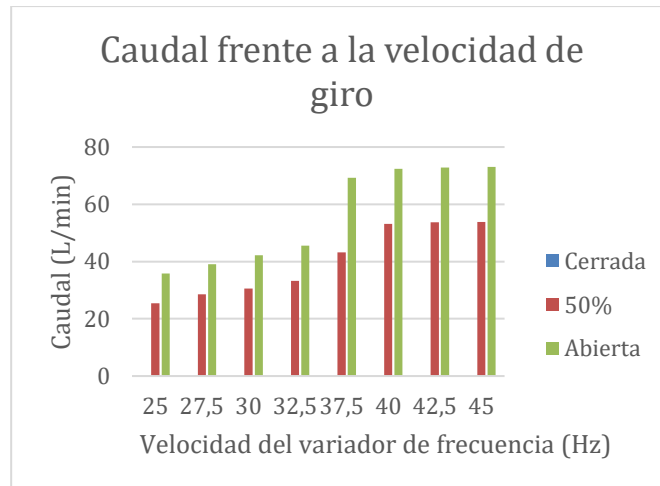


Imagen 38: El caudal llegará a un máximo en 40 Hz, este no aumentará para velocidades mayores

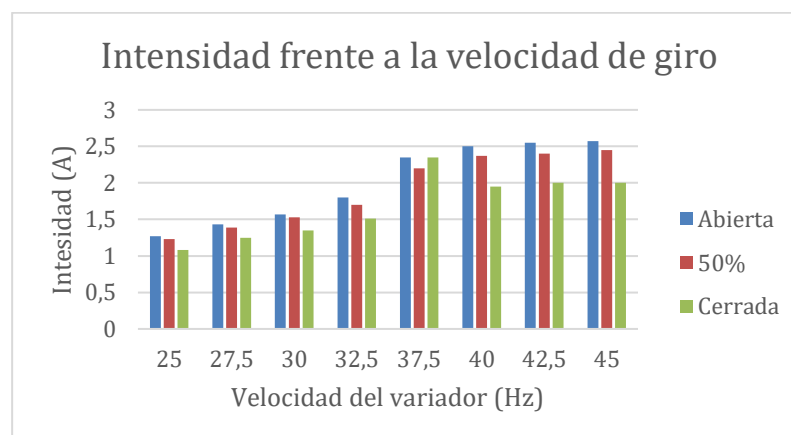


Imagen 39: La intensidad en la bomba crece tanto con el caudal como con la velocidad de giro .

Ya sabemos que cualquier ensayo que supere aproximadamente los 40 Hz no nos será de utilidad ya que a partir de esa velocidad en el variador nuestra bomba no suministrará más potencia.

Una vez establecido cual es el límite de la bomba, vamos a ver cuáles son los máximos que alcanzan nuestras variables a medir en esas condiciones.

Sabiendo que las pérdidas máximas de presión se darán cuando la válvula se encuentre completamente cerrada y la bomba nos de su máxima potencia. Por ello nos tendremos que fijar en la figura 43, para 40 Hz vemos que la diferencia de presión máxima es de 1.8 bar aproximadamente.

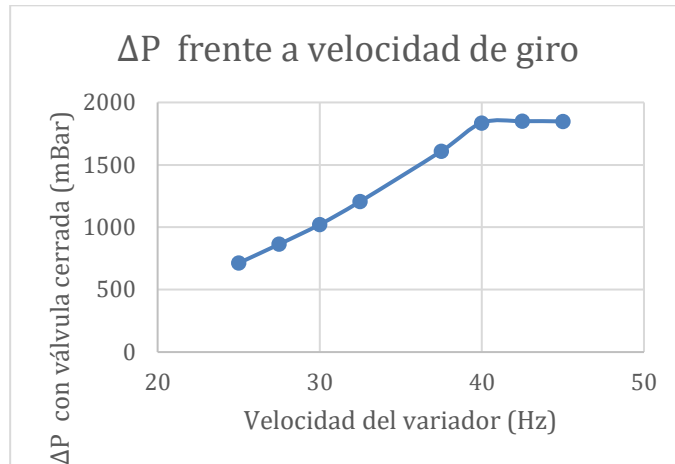


Imagen 40

Al igual que se ha realizado con la presión, analizamos la evolución del caudal y observamos cuando alcanza su máximo. Se aprecia que el máximo del caudal (73 L/min) coincide con el máximo de la potencia. Esto quiere decir que nuestro sensor instalado inicialmente logra abarcar todo el rango de caudales que es capaz de suministrar la bomba.

2.5. Selección de los sensores y de la tarjeta de adquisición de datos

2.5.1. Sensor de presión

Para poder medir todos los rangos de diferencia de presión que se pueden dar durante un ensayo, deberemos de asegurarnos que nuestro sensor pueda medirnos una presión diferencial de 2 bares.

Para ello el sensor seleccionado es el de la serie 26PC del fabricante Honeywell ya que se adecua a las especificaciones que requiere la estación. Sus características técnicas son las siguientes:

Referencia del fabricante	26PCDXXXX
Rango de presión	2 bar
Salida de escala completa	100 mV
Sensibilidad	67 mV/psi
Temperatura de funcionamiento	-40°C hasta 85°C
Alimentación	10 Vdc
Tiempo de respuesta	1 ms
Peso	2 g

Tabla 9: Características del sensor de presións

Este sensor está compuesto por 4 patillas. La patilla 1 es la correspondiente a la alimentación y la patilla 3 es la que va a tierra. Como la alimentación del sensor de presión puede variar de 10 a 16 voltios, se puede usar la misma alimentación que tenemos para los caudalímetros (12 V). Por lo tanto conectamos la patilla 1 a la tensión de 12 V de nuestro regulador de tensión y la patilla 3 a la tierra.



Imagen 41: Sensor de presión

Las patillas 2 y 4 son las que nos proporcionan un nivel de tensión diferencial a la salida. Este nivel será de 100mV para una salida completa de 2 bar, Por lo tanto para obtener la presión a partir de la medida de tensión:

(2.1)

$$\text{presión (bar)} = \text{salida de tensión (V)} \frac{2 \text{ bar}}{0.1 \text{ mV}}$$

El sensor proporcionará una salida de tensión lineal con la presión, ya que está compuesto internamente por un puente de Wheatstone.

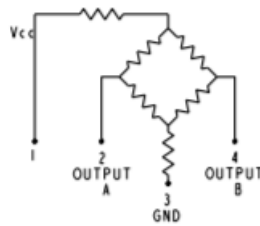


Imagen 42: Conexiones del sensor (hoja de características)

Conectamos las patillas 2 y 4 a los pines 1 y 2 de la tarjeta de adquisición de datos.

La conexión a la instalación se realiza conectándole dos tubos de 3 mm de diámetro a las dos tomas del sensor. Estos tubos tienen en sus extremos los adaptadores correspondientes para conectarse a las tomas de la instalación.



Imagen 43: Sensor de presión instalado

2.5.2. Sensores de caudal

Los sensores de caudal utilizados corresponden al modelo PWES-010027 de la marca AALBORG.



Imagen 44: Caudalímetro (parte frontal).

Estos sensores proporcionan una salida lineal tanto para el caudal como la temperatura, sin embargo, en este proyecto solamente es necesaria la señal del caudal. Esta salida puede ser en tensión y en corriente. Otra característica es que el caudalímetro incluye un PAD donde nos muestra información como el caudal, el tiempo o el caudal total en un intervalo. Este es configurable mediante 4 botones.



Imagen 45: Caudalímetro (parte frontal)

Las características técnicas del caudalímetro son las siguientes:

Precisión en caudal	$\pm 1\%$
Caudal máximo	64.4 L/min
Repetibilidad	$\pm 0.25\%$ del total del fondo de escala
Rango de temperatura	1°C hasta 60°C
Precisión en temperatura	$\pm 0.5\%$
Tiempo de respuesta para el caudal	De 1 segundo (medidas 10% superiores al total del fondo de escala) hasta 2 segundos (medidas 10% inferiores al total del fondo de escala)
Presión máxima	150 psig
Rango permitido para temperatura ambiente	-10°C hasta 60°C
Señales de salida	Lineal 0-5 Vdc Lineal 4-20 mA Máximo ruido de 20 mV pico a pico
Pulso de salida para el caudal	3.3 Vdc de amplitud
Voltaje de entrada	De 11 a 26 Vdc
Parámetros de comunicación (RS-485)	9600 baudios Bit de parada: 1 Bits de datos: 8 Paridad: Ninguno Control de caudal: Ninguno
Display	Panel local LCD 2x16 caracteres
Key Pad	4 botones

Tabla 10: Características del caudalímetro

Como el caudal máximo es de 64 L/min necesitaremos un sensor que proporcione un caudal mayor o colocar dos caudalímetros en paralelo. Como disponemos de varios caudalímetros de este modelo, colocamos dos en

paralelo, así el caudal se repartirá entre ambos. El caudal por tanto será la suma de las lecturas de ambos caudalímetros.



Imagen 46: Sensores de caudal instalados

Sin embargo, no es necesario que el agua circule por ambos caudalímetros ya que tenemos una válvula capaz de cerrar el paso de caudal hacia el primer caudalímetro.



Imagen 47: Válvula de paso

Este caudalímetro dispone de una conexión eléctrica la cual está compuesta por varios pines. Estos pines sirven para la alimentación y la obtención de información del sensor.



Imagen 48: Conexiones de la sonda

Pin	Función	Tipo
A	Alimentación Vdc (de 11 a 26 V)	+Alimentación
B	Común de la alimentación Vdc	-Alimentación, común
C	Pulso de salida para la el caudal 3.3 Vdc	Salida
D	Comunicación digital con la interfaz RS485 (-)	Entrada/Salida
E	Comunicación digital con la interfaz RS485 (+)	Entrada/Salida
F	Salida óptica nº1 (+)	Entrada
G	Salida óptica nº1 (-)	Salida al pin F
H	Salida óptica nº2 (+)	Entrada
I	Salida óptica nº2 (-)	Salida al pin H
J	Señal común para pines L y M	Señal común
K	Salida lineal 0-5 Vdc ó 4-20 mV para medida del caudal	Salida
L	Salida lineal 0-5 Vdc ó 4-20 mV para medida de la temperatura	Salida

Tabla 11: Pines del caudalímetro

Los pines que son útiles en el proyecto tan solo son los dos correspondientes a la alimentación y los que nos dan un nivel de tensión dependiente del caudal que circula. Por lo tanto, conectamos el pin A al positivo

de la fuente, el pin B al negativo y el pin K y J a los puertos de lectura de la tarjeta de adquisición de datos.

La sonda que queda conectada a este puerto esta recubierta por una capa de aislamiento y contiene en su interior los 9 cables correspondientes a los 9 pines. Una vez obtenida la señal en LabVIEW, mediante programación se transforma la magnitud del voltaje en caudal. Para ello hacemos los cálculos sabiendo que el fondo de escala es 5 V para 64.6 L/min. Posteriormente, se pasa la medidas al sistema internacional.

(2.3)

$$Caudal \left(\frac{l}{min} \right) = Señal\ obtenida\ (V) \frac{64.4 \frac{l}{min}}{5V}$$

Para saber que pines de los que necesitamos corresponde a cada uno de los 9 cables, se coge el pin y usando el multímetro se mide la continuidad con cada cable.

2.5.3. Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos será la responsable de leer las señales de tensión procedente de los sensores. La tarjeta de adquisición de datos usada en este proyecto es el modelo USB-6009 de National Instrument.



Imagen 49: TAD usada.

Esta tarjeta de adquisición de datos se conecta al PC mediante el puerto USB. Algunas de sus características son:

- 8 entradas analógicas (14 bits, 48 kS/s)
- 2 salidas analógicas (12 bits, 150 kS/s)
- 12 entradas y salidas digitales
- Contador de 32 bits
- Convertidor basado en aproximaciones sucesivas

La tarjeta se alimenta directamente mediante el cable USB conectado al PC. Para poder uso de esta en nuestro LabVIEW, hay que instalar el software mediante el CD que incluye la tarjeta.

Para conectar las señales obtenidas de los sensores, elegimos entre los 16 puertos disponibles para señales analógicas:

Pin	Función	Pin	Función
1	-	9	V- caudalímetro 2
2	V+ sensor de presión	10	-
3	V- sensor de presión	11	-
4	-	12	-
5	V+ caudalímetro 1	13	-
6	V- caudalímetro 1	14	-
7	-	15	-
8	V+ caudalímetro 2	16	-

Tabla 12: Conexiones de la TAD



Imagen 51: Conexiones de la TAD con los sensores.

Las conexiones de los sensores hacia la tarjeta de adquisición de datos se realizan directamente debido a que los sensores ya tienen internamente un circuito para adaptar la señal y que esta sea lineal.

2.4.5. Conexiones eléctricas

Para poder alimentar a todos los sensores que se encuentran en el circuito, se utiliza un regulador de tensión.



Imagen 52: Conexiones eléctricas

Este regulador transforma la tensión alterna de la red a una tensión continua de 3, 4.5, 6, 7.5, 9 y 12 Vdc. La tensión de 12 V se adapta perfectamente a las especificaciones requeridas para nuestros sensores de presión y caudal y por lo tanto desplazamos a 12 V en el selector de voltaje.

En este diagrama se muestran los resultados de realizar las conexiones de los sensores y alimentación con la placa Protoboard y la tarjeta de adquisición de datos.

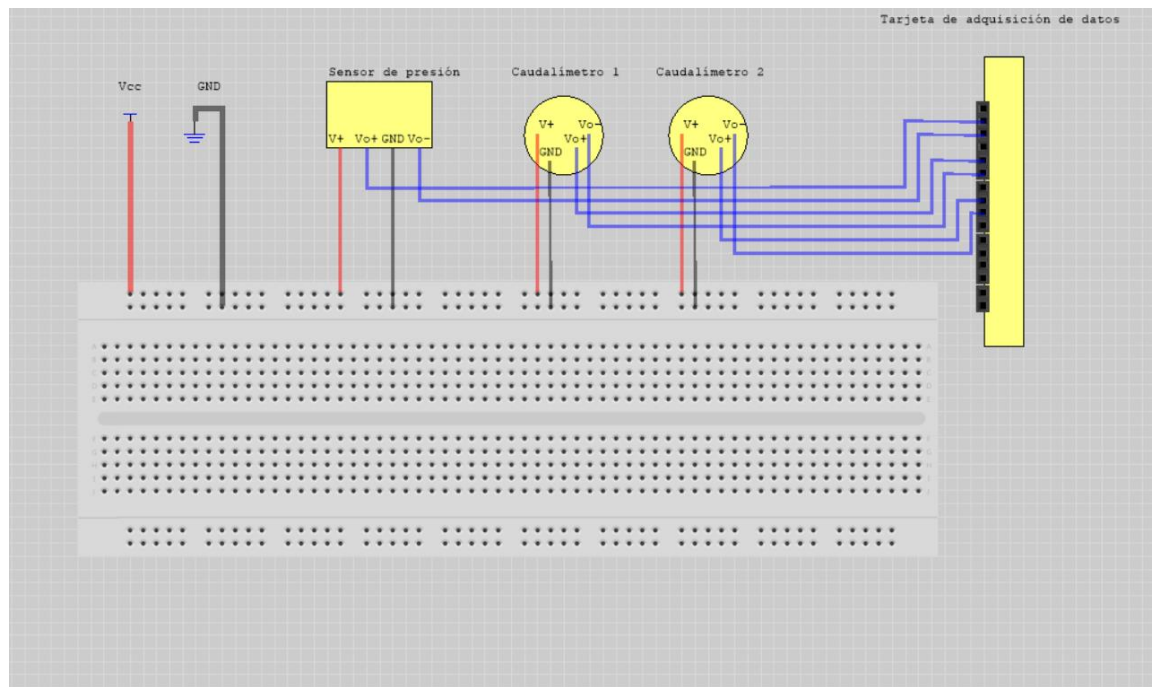


Imagen 53: Conexiones con los sensores

3. TRABAJO EN LABVIEW

3.1. Descripción del trabajo

Toda la programación necesaria para llevar a cabo la aplicación se ha realizado mediante LabVIEW 2012. Para desarrollar un programa en LabView tendremos que trabajar sobre dos ventanas, una será el panel frontal, que será la interfaz final sobre la que trabaje el usuario y el diagrama de bloques, que alberga toda la parte de la programación

El panel frontal de nuestra aplicación está destinado a poder controlar, guardar y observar todas las variables de importancia en nuestro sistema. Para ello incluimos diferentes controladores para poder introducir datos, botones con los cuales podemos seleccionar los diferentes menús que ofrece nuestra aplicación, gráficas temporales que analizan la evolución de una variable en el tiempo, gráficas que representan la variación una variable respecto a otra y tablas para recoger los datos que se deseen guardar.

En el diagrama de bloques, nos encontraremos con un bucle principal que se repetirá continuamente dando lugar al funcionamiento del programa. Dentro de este se encontrará todo el código que se encarga de leer y trabajar con las variables de los sensores.

Todo el código en LabVIEW de cada VI será expuesto en los Anexos.

3.2. Sincronizar la tarjeta de adquisición de datos con LabVIEW

Una vez instalado LabVIEW en el PC de trabajo debemos de instalar a continuación todos los drivers necesarios para poder sincronizar nuestra tarjeta de adquisición de datos. Estos drivers se instalan mediante el CD que incluyen todas las tarjetas de National Instrument, si no es así deberemos de dirigirnos a la página de National Instrument y descargarlos.

Tras instalar estos drivers, se puede observar que en la pestaña de funciones del diagrama de bloques, tenemos un nuevo VI llamado “DAQ Assistant”.

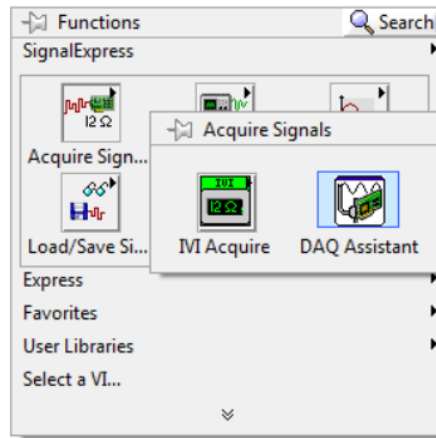


Imagen 54: Paleta donde se encuentra el DAQ Assistant

Este VI será el responsable de leer las señales procedentes de las señales y como su nombre indica, es un asistente fácilmente configurable para poder leer las señales deseadas de la mejor forma posible.

Una vez introducido y abierto el asistente nos encontramos con una ventana donde tendremos que ir eligiendo entre una serie de opciones según las especificaciones deseadas. En la primera nos preguntará sobre que tipo de señales queremos leer. Las tarjetas de National instrument junto a LabVIEW nos ofrece la posibilidad de obtener distinta clase de señales como puede ser voltaje, intensidad o resistencia principalmente. Inicialmente tenemos conectados tres sensores a los pines de adquisición de datos (los dos caudalímetros y el sensor de presión). Todos estos sensores nos darán una señal en tensión lineal y proporcional a la magnitud medida, por eso la configuración inicial será la de lectura de señal analógica en tensión.

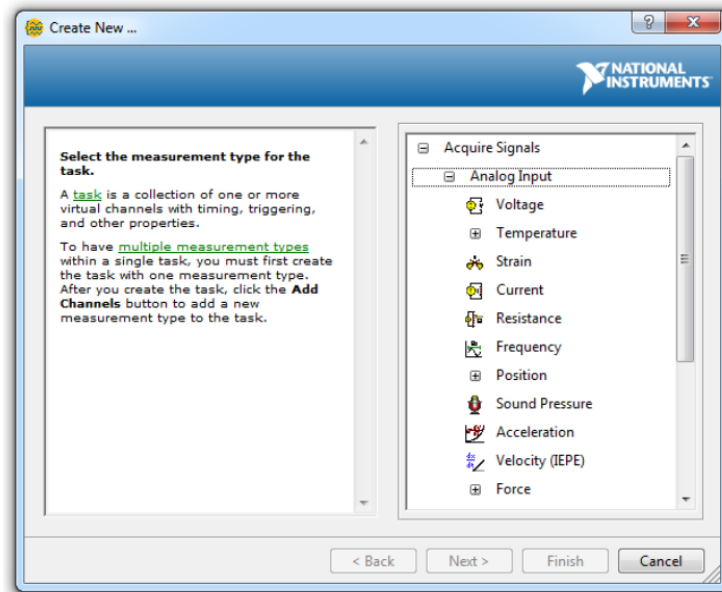


Imagen 55: Ventana del DAQ Assistant.

Pasamos a la siguiente ventana y el asistente nos preguntará cuantas medidas queremos tomar. Nuestra tarjeta de adquisición de datos es el modelo USB-6009 y como nos indica sus hojas de características tenemos hasta 8 entradas analógicas. Estas entradas están enumeradas desde ai0 hasta ai7. En nuestro caso también disponemos de otra tarjeta de adquisición de datos conectada al puerto PCI Express, sin embargo, vamos a descartar su utilización.

Al seleccionar el número de entradas que deseamos conectar, tenemos que seleccionar tres de ellas para nuestros tres sensores diferentes. En nuestro caso se seleccionan las tres primeras (ai0, ai1 y ai2)

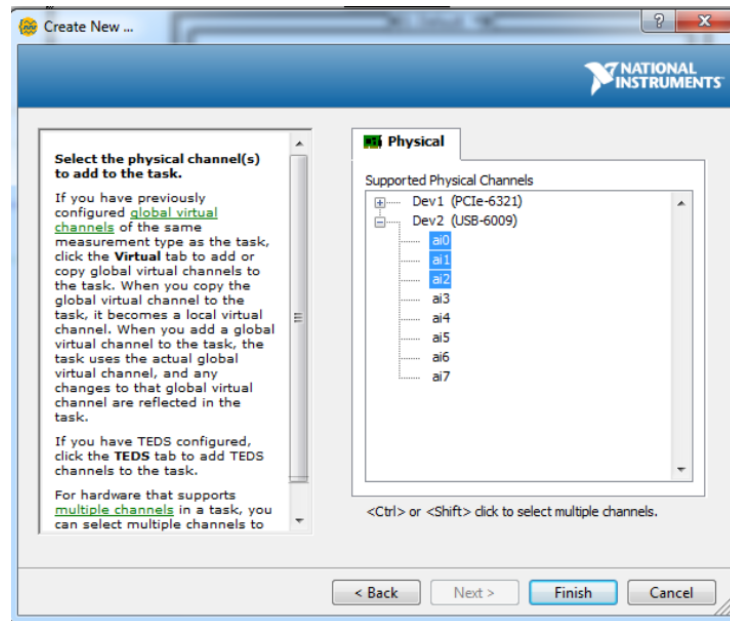


Imagen 56: Ventana del DAQ Assistant.

Una vez elegidas las entradas que usaremos ya podemos pasar a configurar las opciones de las mismas y a obtener los primeros datos.

En la siguiente ventana (figura 59) configuraremos varios parámetros de la señal como el valor máximo y mínimo que pueden alcanzar, la unidad en los que los vamos a medir y además indicar si nuestra señal se introduce a nuestra tarjeta de adquisición de datos de forma diferencial o unipolar. Las tres señales de los tres sensores que tenemos conectados a la tarjeta se obtienen de forma diferencial, por lo que para los tres canales la configuración será diferencial. En el caso de los rangos, para el caudalímetro seleccionamos que oscila entre 0 y 5V, y en el caso de los dos sensores de presión entre 0 y 100mV.

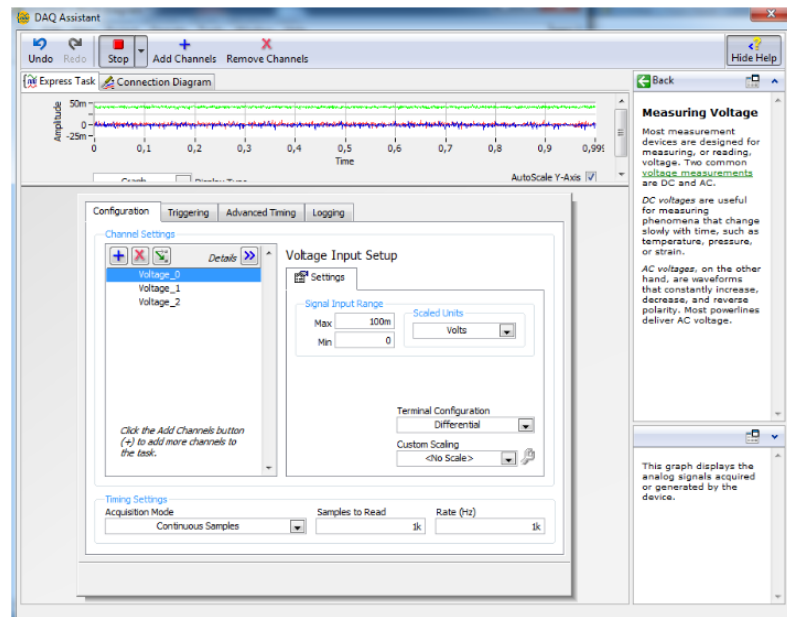


Imagen 57: Ventana del DAQ Assistant.

Otro parámetro importante para la configuración es el tipo de muestreo que queremos realizar. En nuestro caso lo que nos interesa es un muestreo continuo, ya que vamos a estar observando los valores de la señal continuamente en nuestra interfaz. Para este modo podemos configurar la frecuencia de muestreo, y el número de muestras que queremos obtener en cada ciclo de muestreo. Elegimos que nos proporcione 1.000 muestras para una frecuencia de 1kHz, esta frecuencia de muestreo será lo suficientemente buena como para observar con claridad la evolución en tiempo real de la señal y no es lo suficientemente alta como para superar la frecuencia máxima por canal que nos ofrece nuestra tarjeta.

Estos serían los valores más importantes a configurar y los únicos que hemos necesitado tocar para el proyecto, por lo tanto, ya podemos iniciar a probar si obtenemos correctamente las señales.

Para iniciar una prueba, tendremos que pulsar el botón de inicio en la parte superior de la misma pestaña en la que nos encontramos (figura 57). En nuestro caso, al elegir un muestreo continuo, nos empezará a dar los valores de las señales según la configuración elegida anteriormente. Estos valores se pueden observar en la parte superior y en nuestro caso estarán representados por tres

gráficas de diferente color. De la misma forma podemos detener este proceso y añadir o remover canales sin tener que volver a los pasos previos.

La última herramienta interesante de este asistente será el diagrama de conexiones. Según la tarjeta de adquisición de datos que tengamos, el asistente nos representará en un esquema todas los pines disponibles y el diagrama de conexión de cada entrada seleccionada, con su pin correspondiente. Por ejemplo si tenemos seleccionada la entrada ai0 de forma diferencial, el asistente nos indicará en que pines tenemos que conectar el positivo y el negativo de la señal obtenida por el sensor.

De este modo, el diagrama de conexiones que nos proporciona el asistente para cada sensor es el siguiente:

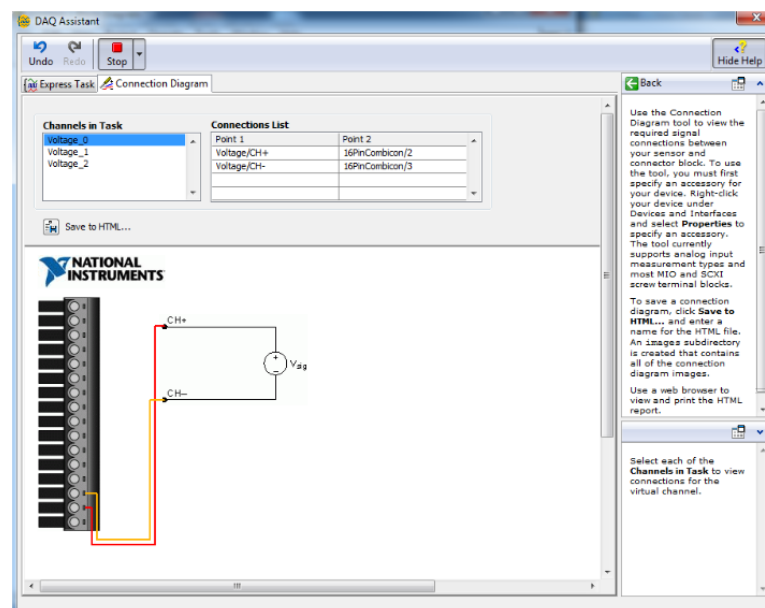


Imagen 58: Ventana del DAQ Assistant

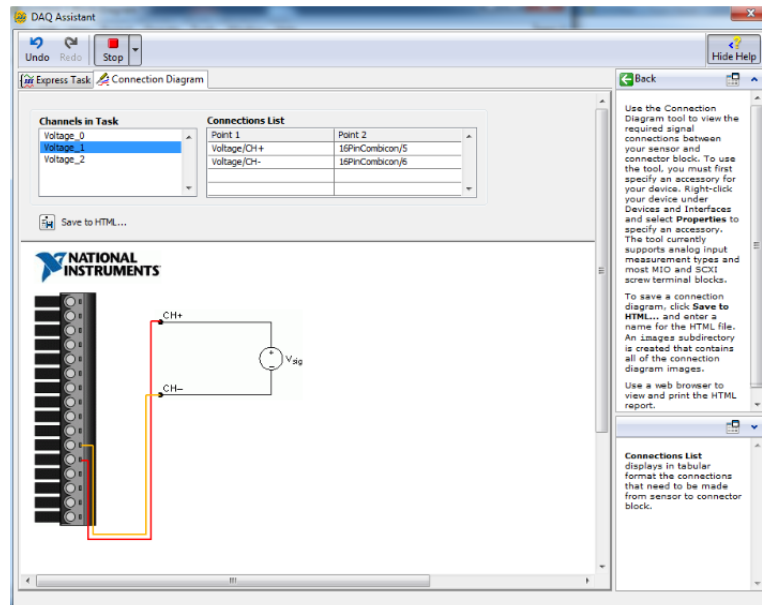


Imagen 59: Ventana del DAQ Assistant

3.3. Diagrama de bloques

El primer paso en el diagrama de bloques será crear un bucle while. Dentro del bucle principal, nos encontramos diferentes subVI que estarán destinados a distintas tareas. Estos VI disponen de una serie de entradas y salidas para que el código que contienen pueda interactuar con los datos del programa principal.

A continuación, se explicarán todos los VI responsables del funcionamiento del programa y como están conectados entre sí.

3.3.1 VI resultante del DAQ Assistant

Al terminar de configurar el asistente (explicado en el apartado 3.2) se nos creará un VI. Este VI nos proporciona como salidas las 3 señales.

3.3.2 Discretizar la señal

Las salidas del VI responsable de proporcionarnos la señal, irán conectadas a la entrada de otro SubVI, este SubVI tendrá la función de obtener los valores discretizados de la señal.

Símbolo del VI

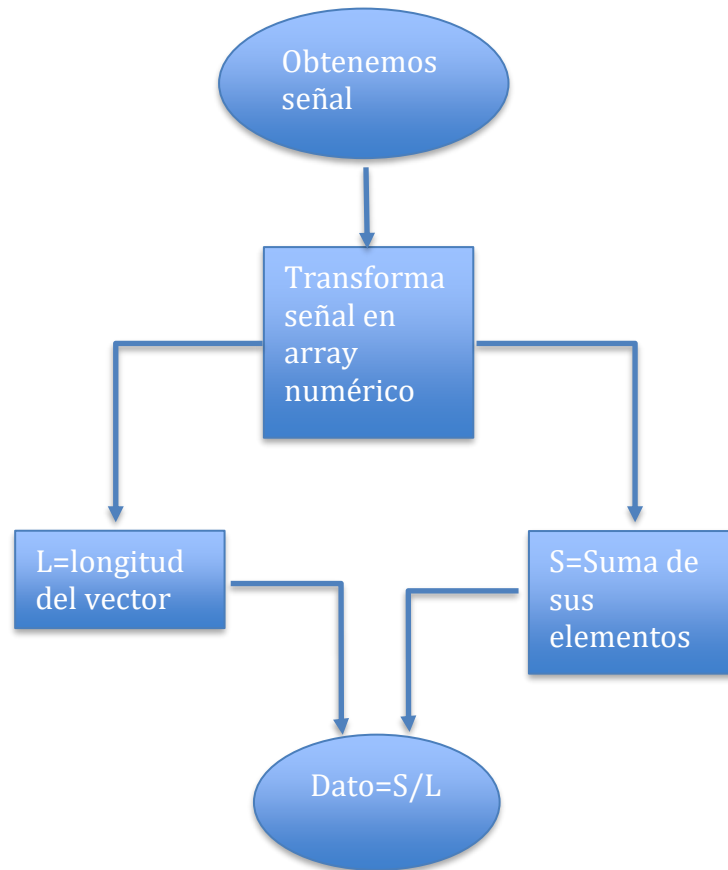
Imagen 60: Conexiones y símbolo del VI.

Entrada**Señal adquirida por el sensor****Salida****Valor discretizado**

Este proceso se realiza porque el formato de las señales obtenidas por los sensores es de tipo dynamic data. Para comprender este formato, debemos de imaginarnos un vector que contiene un conjunto de valores. Este vector será diferente en la siguiente iteración, suprimiendo los valores anteriores. Los valores que encontramos dentro de este vector son los valores de tensión que nos proporciona la señal medida. Por ejemplo, si en cada ciclo muestreamos 1000 valores, nos encontraremos un vector de longitud 1000 cuyos valores serán la muestra tomada en cada momento.

Por lo tanto, el objetivo de este VI será coger todos los valores de ese vector, saber su longitud y hacer una media dividiendo la suma de todos los valores por la longitud del vector. De esta forma cada vez que se cumpla un ciclo en el programa principal vamos a obtener un valor, que será la media de todos los valores muestreados durante la duración de ese ciclo.

El diagrama de flujo del VI es el siguiente:



3.3.3. Capturador de señal

Una opción que nos ofrece nuestro programa es la posibilidad de elegir la manera en la que nosotros queremos guardar los datos de la señal en las tablas o gráficas: esta puede ser automática o manual. Si queremos que los datos del sensor se guarden de forma automática, seleccionamos la opción y el programa empezará a capturar muestras para las tablas y gráficas, cada cierto tiempo determinado y así preocuparnos tan solo de variar la válvula de paso.

Como el tiempo de ejecución no es una variable que afecte a nuestro proceso, el muestreo manual también es útil e incluso más preciso que el muestreo automático ya que podemos variar el caudal de forma precisa tomando el tiempo que sea necesario.

En cualquier caso se ha creado un VI destinado a darnos ambas opciones.

Símbolo del VI



Imagen 61: Conexiones y símbolo del VI.

Entradas

Botón para adquirir datos: Cuando seleccionamos el muestreo manual, deberemos presionar un botón provocando que los datos que están siendo recogidos por los sensores, queden plasmados en las gráficas o en la tabla

Selector de tiempo de muestreo: Podemos elegir los siguientes tiempos de muestreo: 3 segundos, 5 segundos, 10 segundos, 15 segundos y un muestreo continuo

Selector de adquisición de datos automático o manual

Salida

Dato lógico será verdadero cuando se envíe la orden de adquirir dato

La salida será un resultado lógico, que dará lugar a la activación del dato leído por el sensor en la tabla o gráfica.

El selector de tiempo y el selector para una adquisición automática o manual se han realizado con controladores de tipo anillo (explicados en apartado).

Por lo tanto dentro de este VI nos encontramos 5 casos diferentes:

Caso 1: Selección manual

En el selector automático o manual, seleccionaremos la pestaña de automático. Aquí el dato booleano del botón para guardar la señal pasará directamente por la estructura case sin realizarse operación alguna.

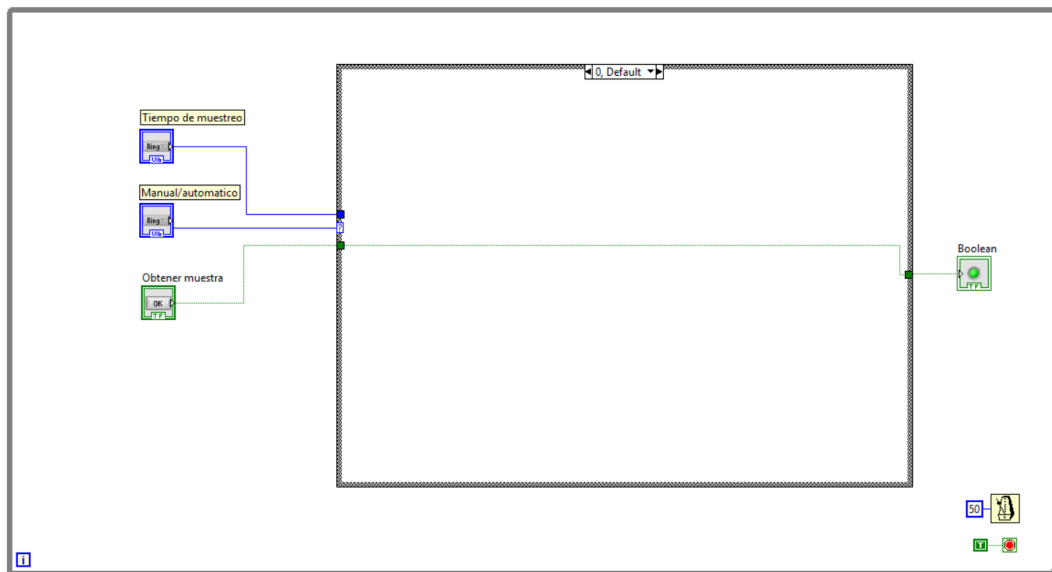


Imagen 62: Representación en LabVIEW

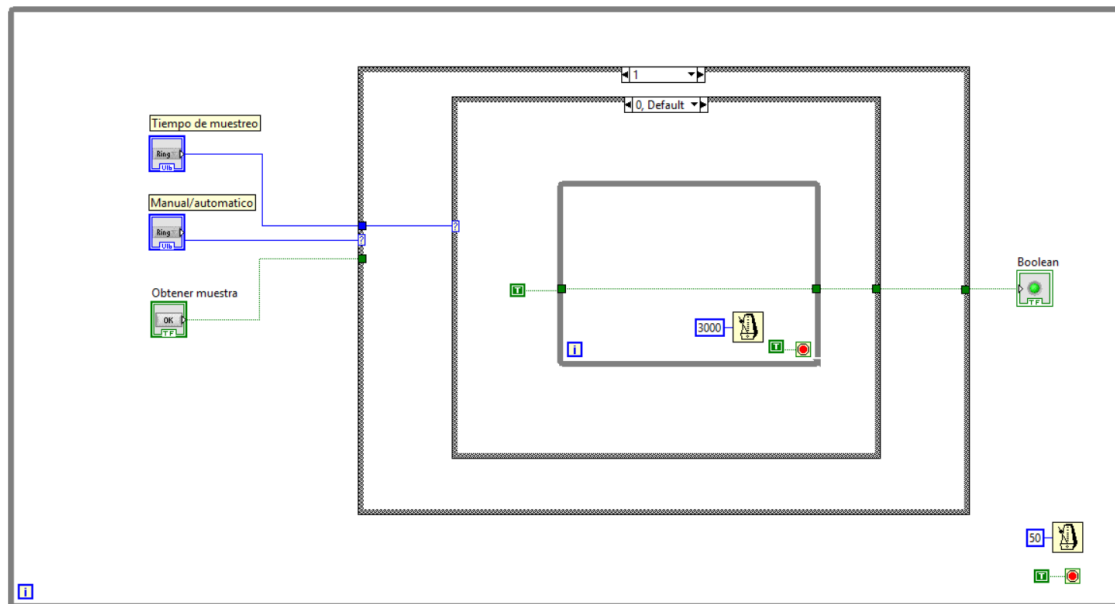
Caso 2: Selección automática con 3, 5, 10 o 15 segundos

Seleccionamos adquisición automática. Aquí nos encontraremos con otra estructura case la cual tiene 5 valores. Los cuatro primeros valores se utilizan para seleccionar 3, 5, 10 o 15 segundos respectivamente.

Para lograr esto dentro de cada caso se ha introducido un bucle de espera while.

Este bucle tan solo contiene en su interior una constante booleana de valor verdadero. Esta constante viajará hacia fuera del bucle una vez haya terminado el tiempo de ejecución de espera. El tiempo de espera se modifica mediante la función "Wait until next ms multiple". Esta función hará que el ciclo del bucle dure tantos milisegundos como nosotros le indiquemos.

Por lo tanto como tendremos 5 casos dentro de la estructura case que nos selecciona el tiempo de adquisición, 4 de ellos serán exactamente iguales



cambiando solamente el tiempo de la función. El quinto caso de adquisición automática es diferente y se explica a continuación.

Imagen 63: Representación en LabVIEW

Caso 3: Adquisición automática de forma rápida

En este caso la espera para enviar la señal lógica no se hace mediante la espera de un bucle vacío, si no comparando una señal rectangular. Para ello se

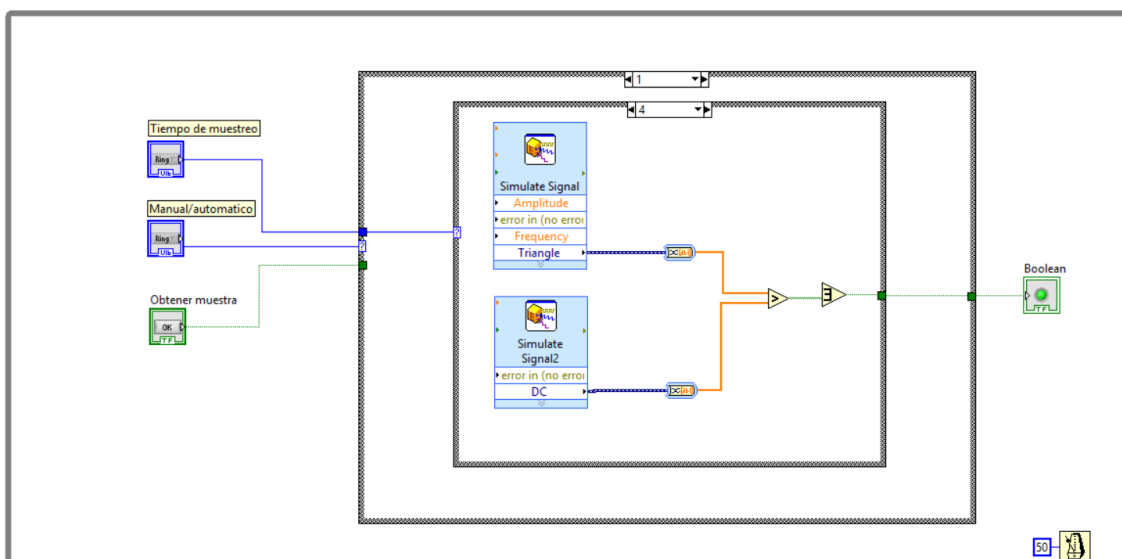
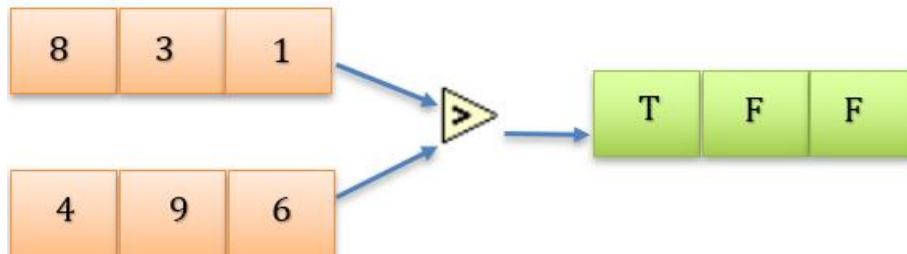


Imagen 64: Representación en LabVIEW

ha usado dos generadores de señales, uno de una señal continua de 0 a 0.99 de amplitud, y una señal triangular de 0 a 1 de amplitud.

La salida que ofrece estas señales es del mismo tipo que la señal que se recoge de los sensores, es decir dynamic data. Lo que hacemos en este caso es coger ambas señales y las transformamos en datos numéricos. El resultado será la obtención de dos arrays de tipo numérico. Para comparar ambas señales, ponemos un comparador y preguntamos si la señal triangular es mayor que la señal continua. Esta acción provocará que cada elemento del array sea comparado con cada elemento del otro array, así el elemento 0 se comparará con el elemento 0 del otro array, y así con los restantes. Una vez hecho esto obtendremos un vector de arrays de tipo booleano donde cada elemento será el resultado de haber comparado ambos arrays.

Para comprender mejor este proceso se muestra a continuación un ejemplo:



Tras obtener ese array, realizaremos una operación OR entre todos los elementos del array. Por lo tanto, a la salida obtendremos un solo dato booleano, que será el OR de todos los elementos del vector.

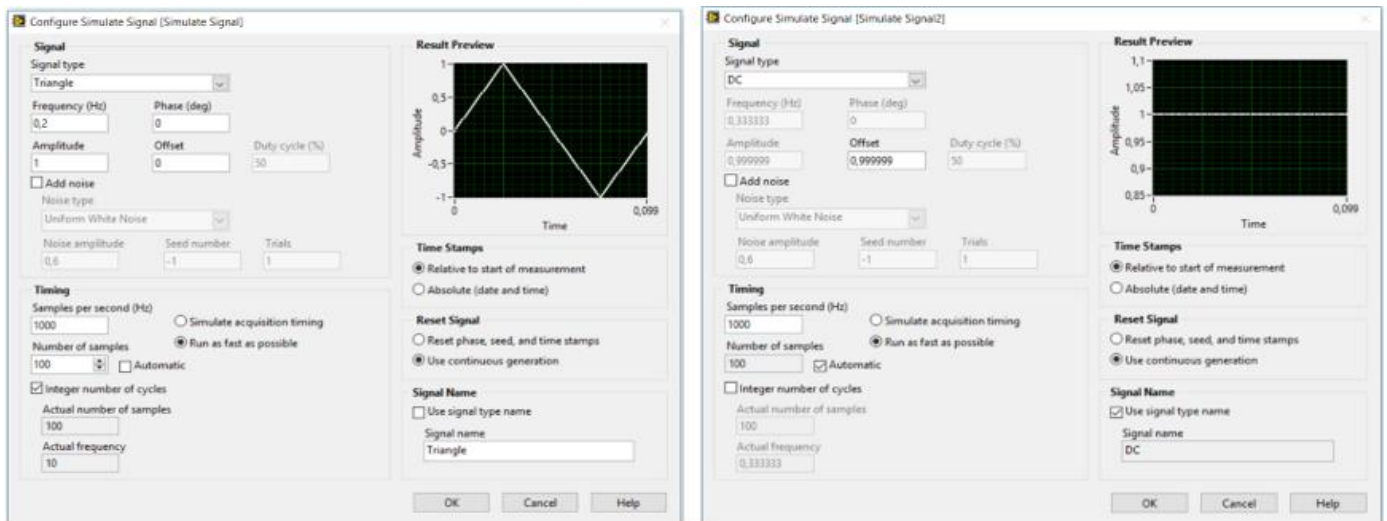
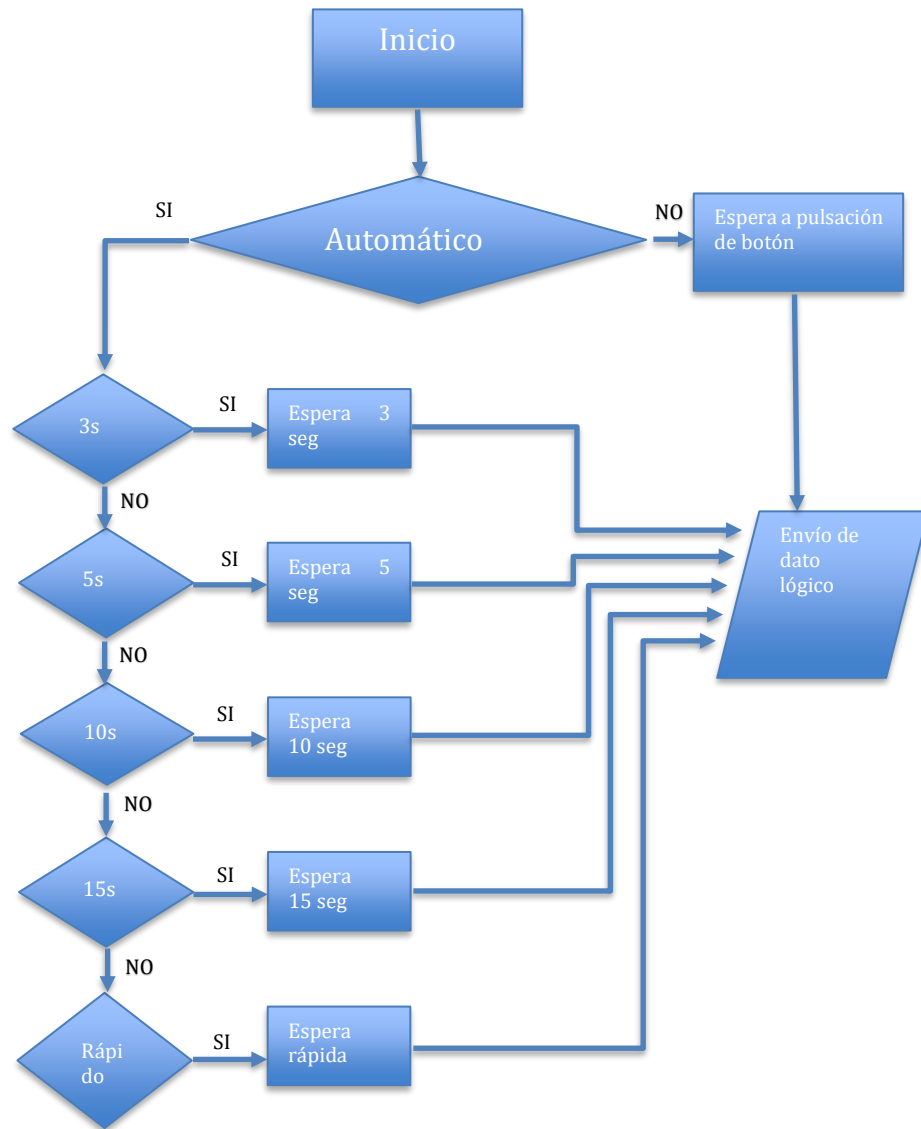


Imagen 65: Configuración de las señales

Por lo tanto, conseguiremos que cuando la señal triangular llegue a 1 de amplitud, se generará un elemento verdadero en el array (ya que la señal triangular valdrá 1 y la señal continua 0.9999), este elemento provoca que se active la adquisición de la señal.

A continuación se representa el diagrama de flujo del VI:



3.3.4. Creación del vector

Aquí se trabaja con los datos numéricos obtenidos de la señal de los sensores. Estos datos llegarán a la entrada del VI y serán introducidos dentro de un vector para poder trabajar fácilmente con ellos.

Símbolo del VI`

Imagen 66: Conexiones y símbolo del VI.

Entradas

Dato de sensor de presión
Dato de caudal 1
Dato de caudal 2
Velocidad de giro
Potencia eléctrica
Toma de medida

Salidas

Array
Número de muestra

Dentro de este VI crearemos una estructura “case”. Esta estructura tendrá dos opciones (verdadero o falso), por lo que tendremos que poner un controlador booleano para cambiar de un caso a otro. El responsable de este control será la salida del programa previamente explicado (apartado 3.3.3).

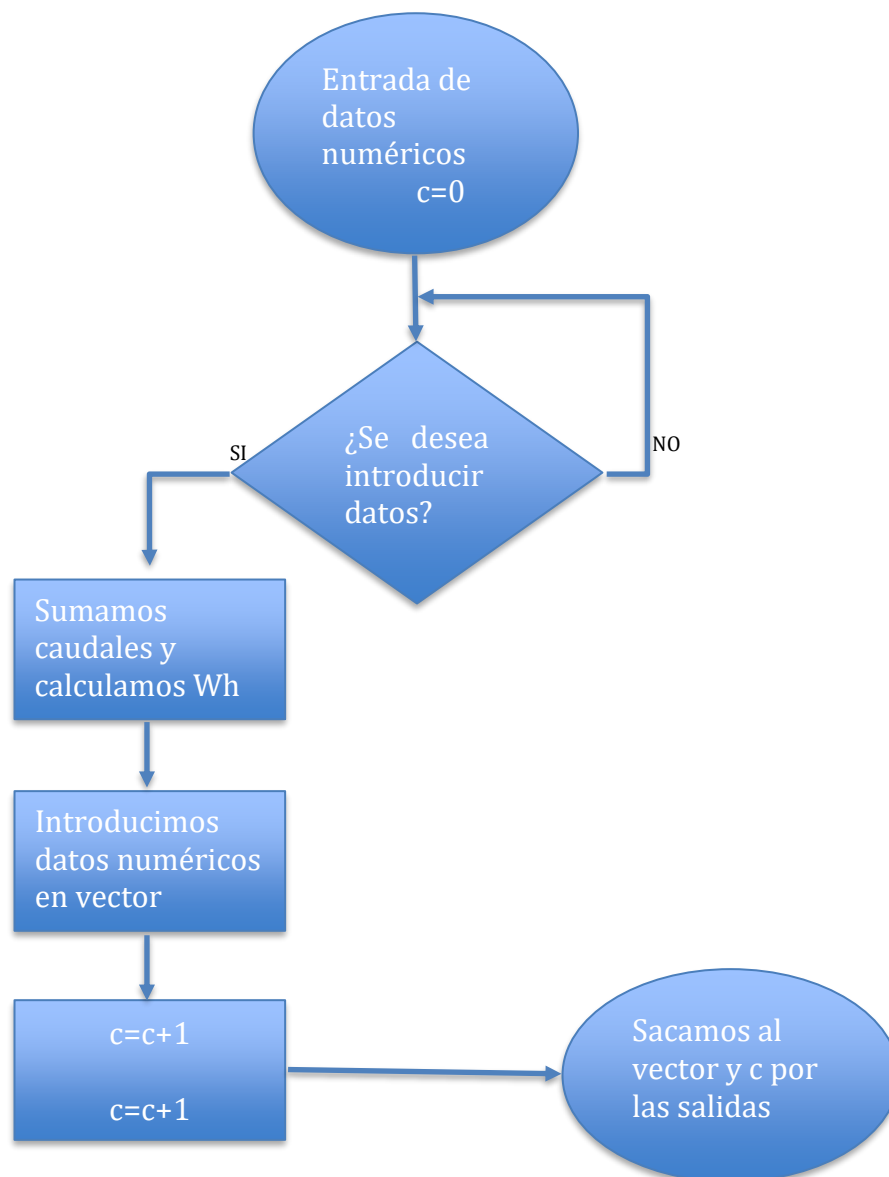
Cuando elijamos si deseamos una adquisición automática o manual y se envíe la orden de adquirir dato, nuestro VI captará esa orden y la estructura case se pondrá en el caso “true”. Dentro de esa estructura se insertarán los datos de caudales, presión y velocidad de giro dentro de un array. Además de esto una variable incrementará en uno su valor. Esta variable tan solo indicará el número de muestra que se ha guardado, es decir si nosotros capturamos 4 muestras, la variable se habrá incrementado 4 veces.

El array resultante es el siguiente:

Muestra	Hm	Q1	Q2	Wh	We	Rpm	Qt	Rendimiento
---------	----	----	----	----	----	-----	----	-------------

El diagrama de flujo del VI es el siguiente:

La variable “c” representa al número de muestra.



3.3.5. Creación de las gráficas

Una vez creado el vector de datos, este pasará al siguiente VI para transformarse en una matriz de datos.

Símbolo del VI



Imagen 67: Conexiones y símbolo del VI.

Entradas

Array de datos
Número de la muestra

Salidas

Gráfica Wh por muestra
Gráfica Caudal frente a presión
Matriz de datos

La función de este VI es la de adaptar nuestro array de datos al formato adecuado para que los datos puedan ser representados en las gráficas. Lo que haremos será crear una matriz de 9 columnas (el tamaño de nuestro array de datos) y c filas (c es la variable que representa el numero de muestras). Como el valor de c va aumentando cada vez que nosotros adquirimos una muestra, tendremos una matriz que se va redimensionando en cada adquisición.

De esta forma conseguimos una matriz de dimensión c filas y 9 columnas donde en cada fila se representa los 9 datos obtenidos por cada adquisición.

Vamos a representar 2 gráficas:

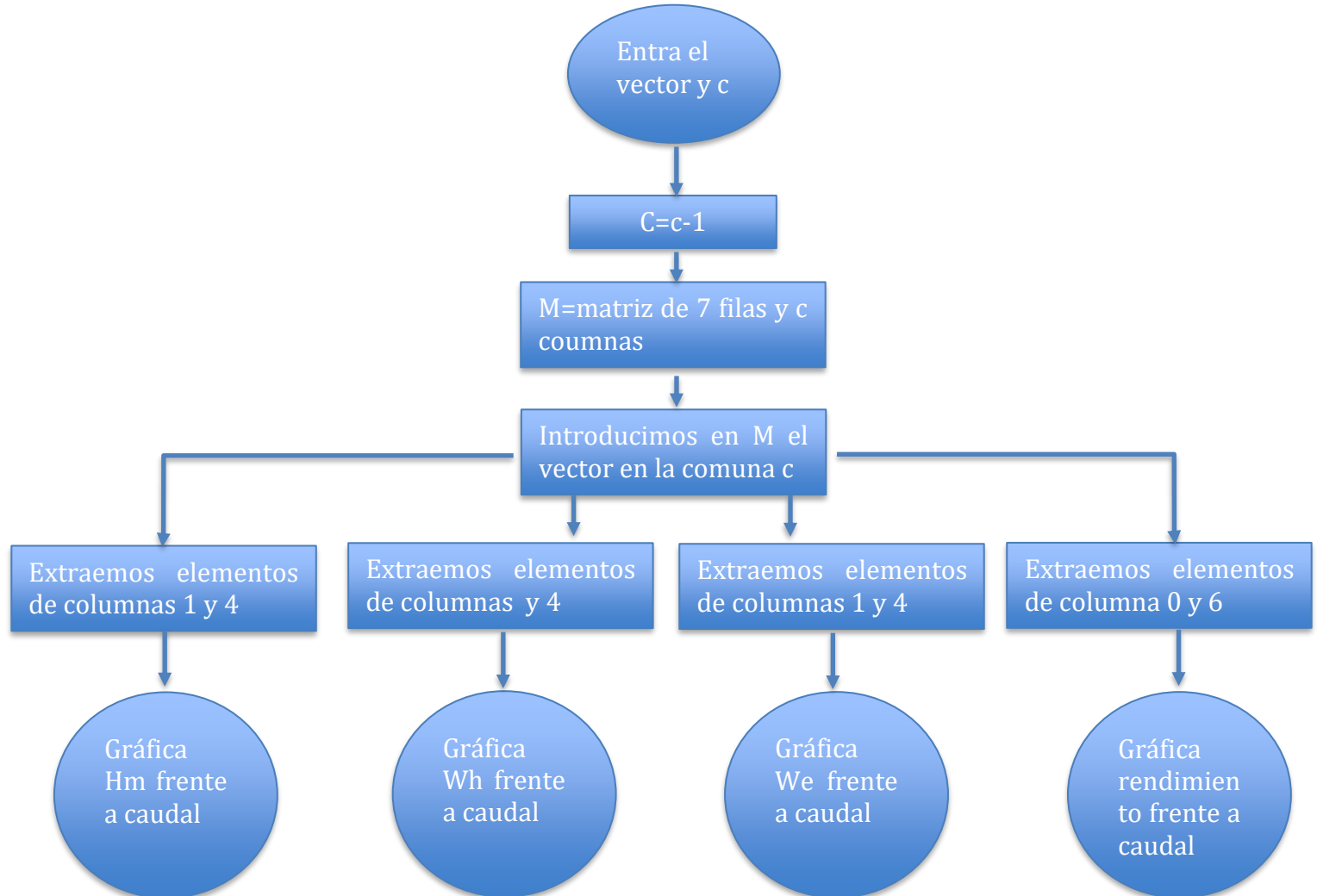
Gráfica caudal frente a presión

Para desarrollar esta gráfica lo que hacemos es extraer las columnas 1 y 4 que son respectivamente las columnas que nos dan los datos de presión y caudal. Para que la gráfica lea los datos de estas columnas tendremos que pasarlas de tipo numérico a cluster, que es el tipo de dato que acepta la gráfica.

Gráfica Wh por muestra

Esta gráfica representará la potencia hidráulica que se obtiene por cada muestra. Para ello repetimos el proceso anterior pero esta vez con las columnas 0 y 6 que son las que representan el número de muestra y la potencia hidráulica. El número de muestra se encontrará en el eje x y la potencia en el eje y de forma que se obtiene la evolución que experimenta la potencia hidráulica a través del ensayo

El diagrama de flujo del VI es el siguiente:



3.3.6 Creación de la tabla

El programa nos dará la opción de representar los datos mediante una tabla donde quedarán guardados los datos de cada muestra. Para ello introduciremos la matriz y eliminamos las columnas de los datos proporcionados por los caudalímetros, dejando solo el dato del caudal total (este es el dato que realmente nos interesa).

Símbolo del VI



Imagen 68: Conexiones y símbolo del VI.

Entradas

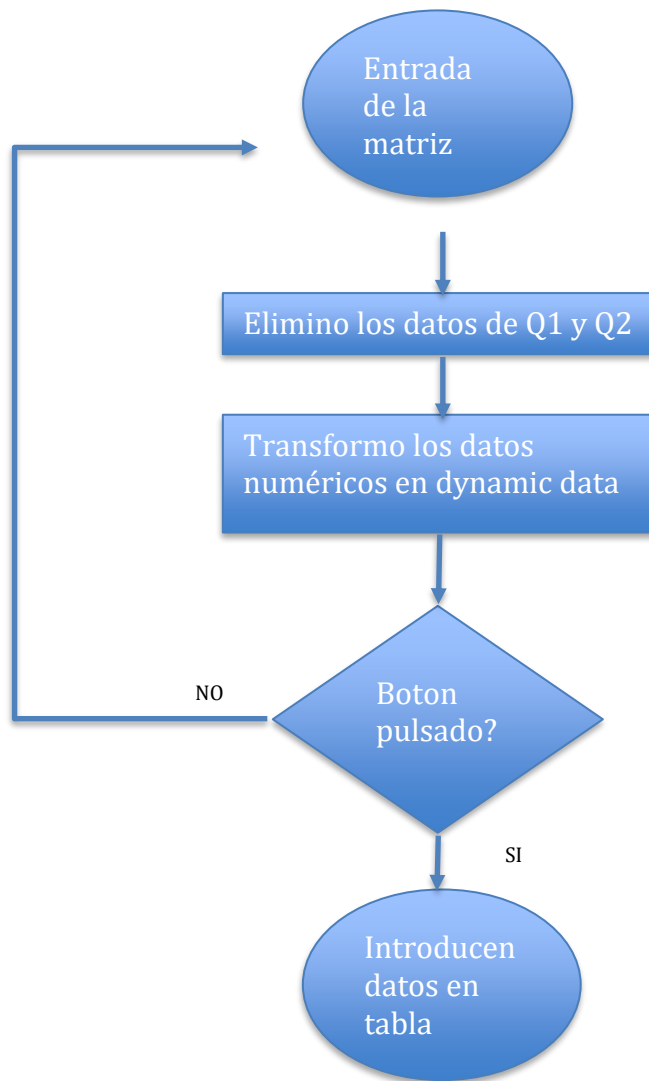
vector de datos

Toma de medida

Salida

Tabla de datos

El diagrama de flujo del VI es el siguiente:



3.4. Panel frontal

El panel frontal se divide en 4 partes:

- **Medidas:** en esta ventana se muestran las medidas obtenidas por los tres sensores instalados en el puesto. Para ello se introducen indicadores numéricos. Además de estos indicadores se dispone de un gráfico para observar en tiempo real la evolución de los datos recogidos por los sensores.

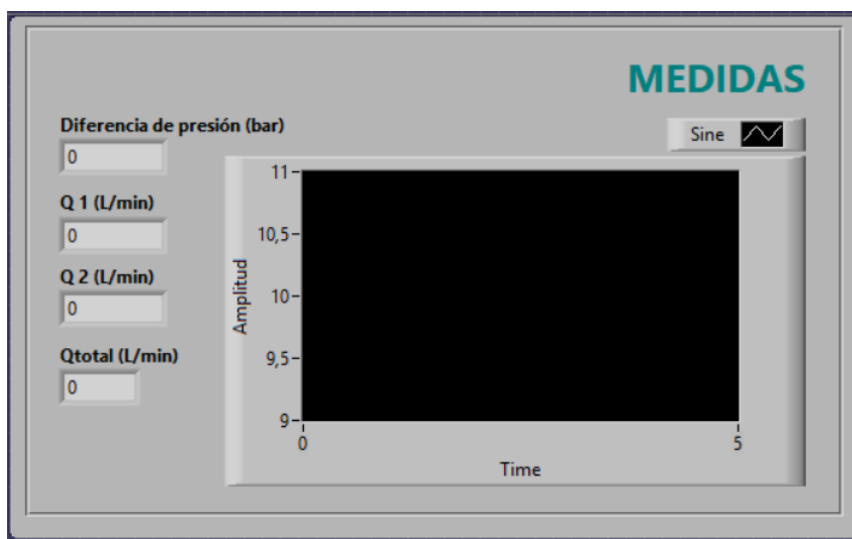


Imagen 69: Apartado de medidas del panel frontal

- **Datos:** esta ventana nos muestra los datos guardados de los sensores,
Por un lado tenemos los distintos gráficos que podemos configurar. Estos gráficos se seleccionarán por medio de una pestaña por lo que tan solo veremos uno de ellos al mismo tiempo, pudiendo cambiar en cualquier momento a los otros. Estos gráficos son los siguientes:

1. Altura manométrica frente a caudal.
2. Potencia hidráulica frente a caudal.
3. Potencia hidráulica frente a caudal.
4. Rendimiento frente a caudal.

Además de estos gráficos disponemos de una tabla. Esta tabla estará siempre visible sea cual sea la opción que finalmente cojamos.

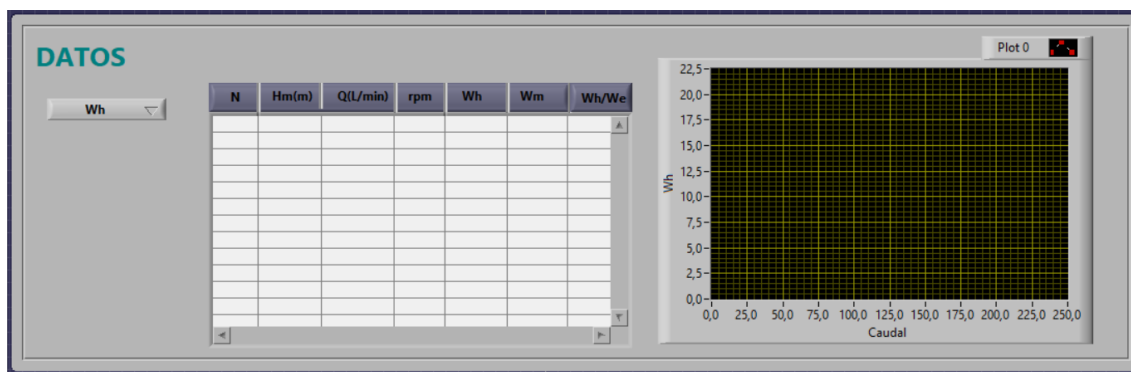


Imagen 70: Apartado de datos en el panel frontal

- **Opciones:** en el panel de opciones tenemos todos los controladores relacionados con la adquisición e introducción de datos. Los datos que podemos introducir son la **potencia eléctrica** y la **velocidad de giro** ya que no ha sido posible automatizar estas medidas con sensores. Estos datos serán posteriormente guardados en la tabla y gráficas correspondientes. En cuanto a la adquisición de datos, en la parte superior nos encontramos con dos pestañas, una de ellas nos da la opción de un muestreo **automático** o **manual**. En el caso de escoger un muestreo manual, disponemos de un botón en la parte justamente inferior. Este botón será pulsado si deseamos plasmar los resultados en la tabla y gráficas. En el caso de elegir un muestreo automático, el botón de adquisición de datos desaparecerá (ya que la adquisición de datos se realizará de forma automática). En la pestaña inferior tenemos la opción de elegir el tiempo de muestreo. Por último tenemos la opción de guardar y borrar datos en formato CSV. Estos datos podrán ser los datos obtenidos por los sensores durante todo el ensayo o los datos que han sido guardados en la tabla.

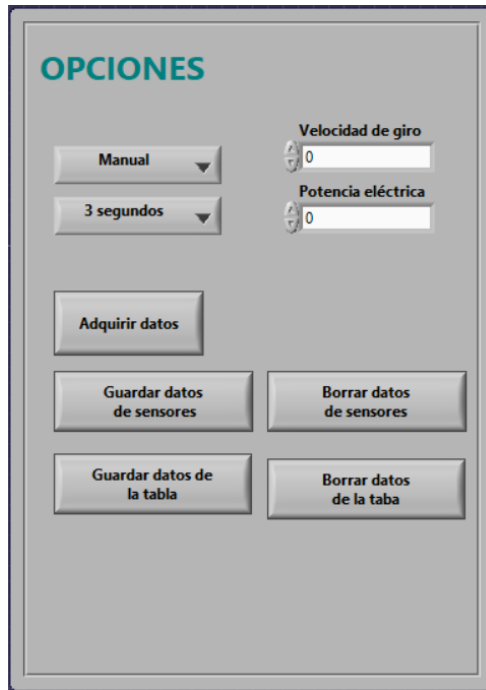


Imagen 71: Apartado de opciones en panel frontal

- **Puesto:** aquí se da instrucciones sobre el ensayo, donde se quedan guardados los datos y trabajos sobre la bomba, incluido este trabajo fin de grado.

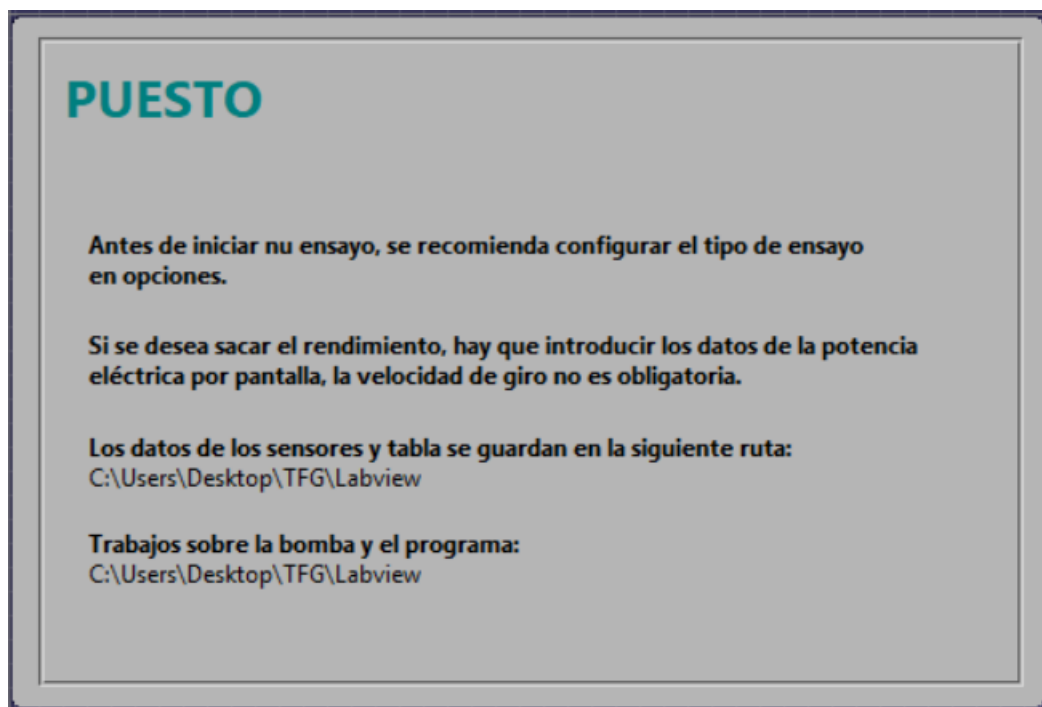


Imagen 72: Apartado de puesto del panel frontal

COMPUTERIZACIÓN DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA

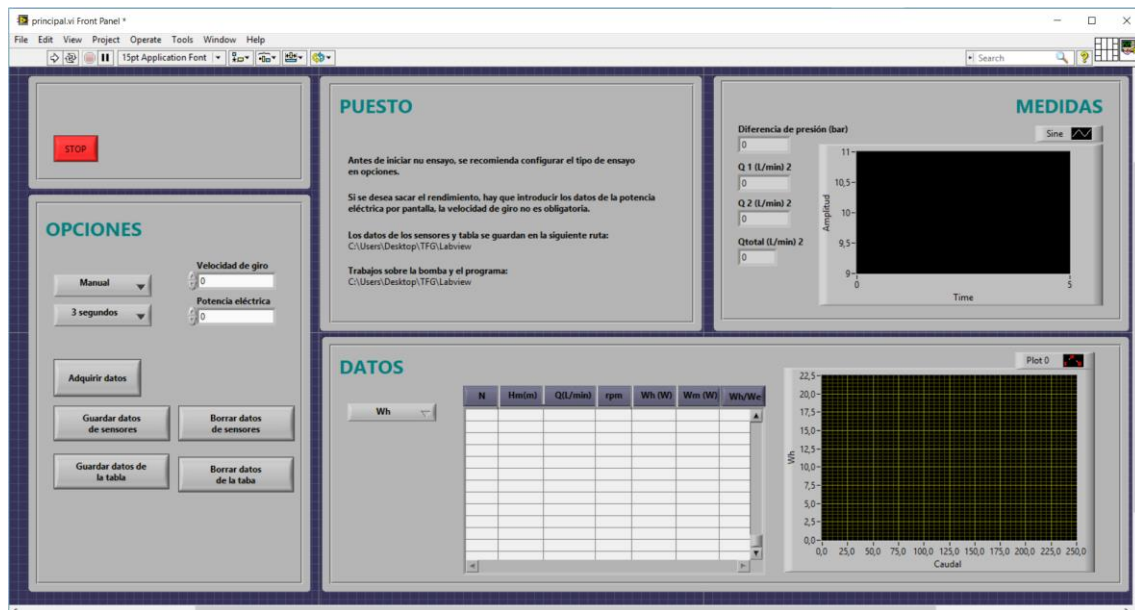


Imagen 73: Panel frontal completo

4. RESULTADOS

El ensayo a realizar con LabVIEW será el mismo que se ha realizado anteriormente para caracterizar la bomba de forma manual. Escogemos una velocidad de 40Hz y regulamos la válvula de la salida desde completamente abierta hasta cerrar el paso del caudal. En este caso se ha optado por realizar una adquisición manual, de forma que vamos guardando manualmente los datos en las tablas mientras regulamos la válvula. Al final del ensayo seleccionamos la opción de guardar los datos adquiridos.

La primera gráfica a analizar es la de altura manométrica frente al caudal. Como vemos los datos obtenidos son prácticamente similares a los obtenidos en el ensayo manual.

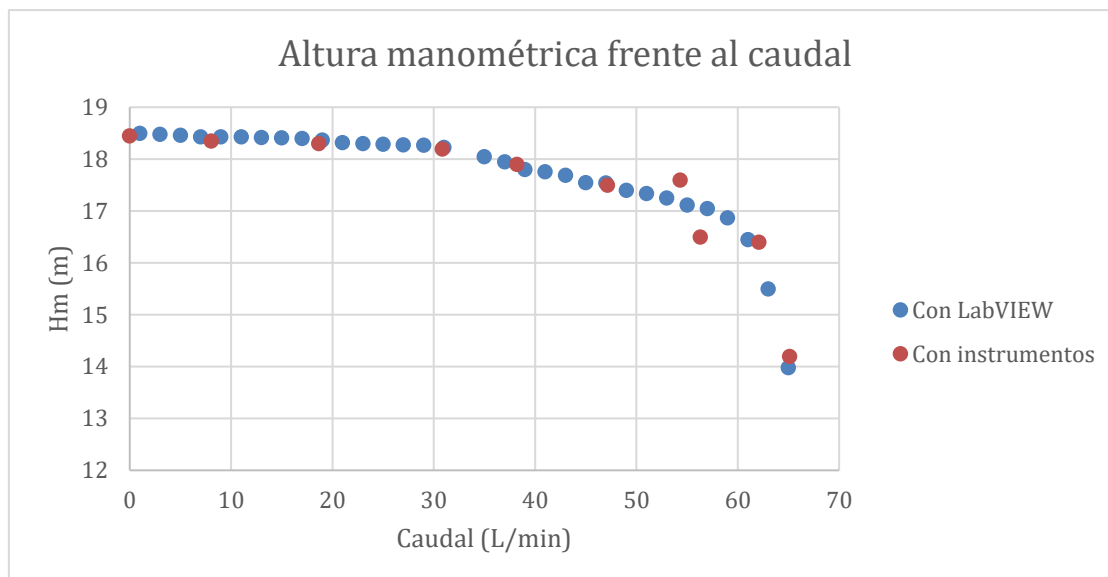


Imagen 74: Altura manométrica frente al caudal

Los datos de la potencia eléctrica son exactamente los mismos que los datos de obtenidos manualmente ya que la potencia eléctrica no se obtiene por medio de LabVIEW (figura x).

A continuación, se representan los datos de la potencia hidráulica obtenida por el ensayo en LabVIEW y comparada a su vez con los datos obtenidos manualmente.

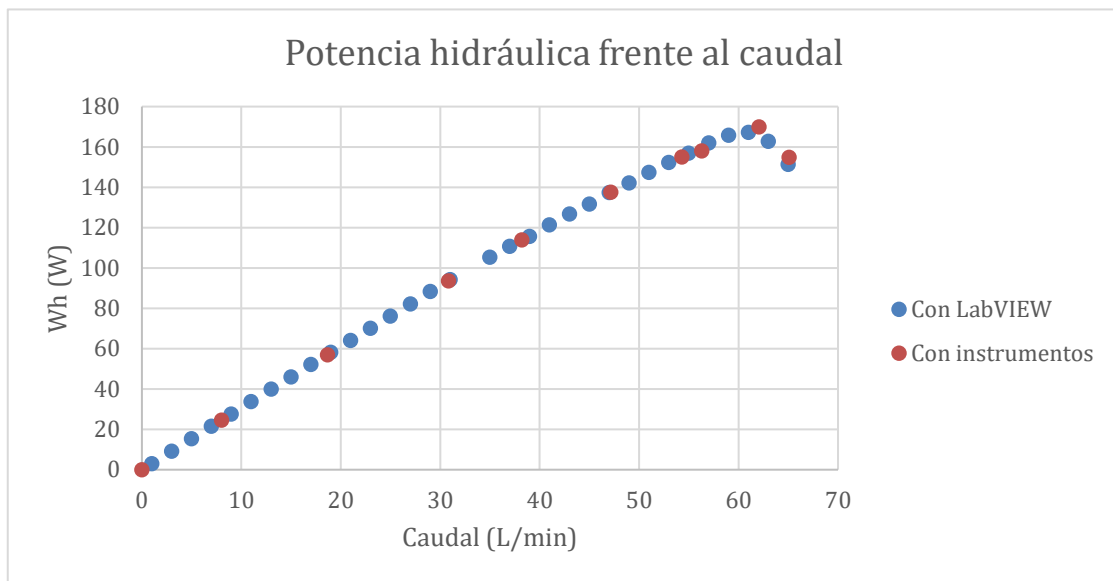


Imagen 75: Potencia hidráulica frente al caudal

Finalmente, tras haber conseguido obtener la potencia hidráulica y la potencia eléctrica (esta última manualmente), podemos representar la curva del rendimiento frente al caudal.

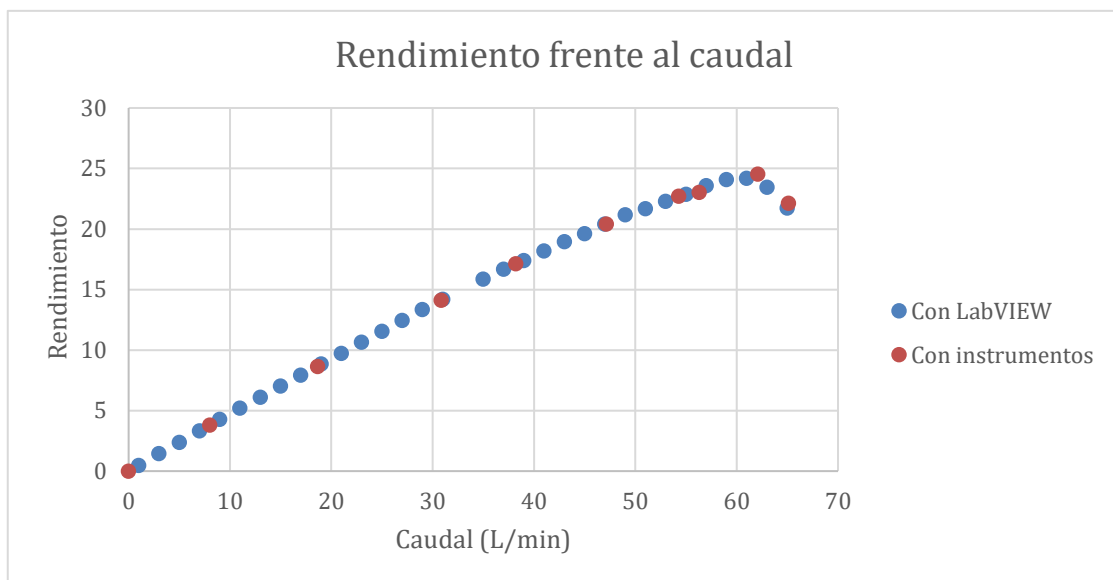


Imagen 76: Rendimiento frente al caudal

En este ensayo obtenemos un rendimiento del 24.1%, prácticamente igual que el obtenido manualmente (24.5%).

5. Conclusiones y trabajos futuros

La finalidad de este trabajo era la de poder realizar un programa capaz de recoger las medidas de presión, caudal y potencia eléctrica en un ensayo con una bomba centrífuga y trabajar posteriormente con estas variables para poder realizar las curvas características. Todo este proceso que se ha seguido durante el trabajo, ha llevado a adquirir los siguientes conocimientos:

- Funcionamiento y partes de una bomba centrífuga y su estudio mediante las curvas características, las variables que intervienen en la realización de las curvas características y la realización del ensayo para obtenerlas.
- Estudio del variador de frecuencia y su conexión con la bomba.
- Uso de aparatos de medida como el manómetro, vatímetro y el tacómetro.
- Criterio de selección de sensores y de tarjeta de adquisición de datos, instalación en el puesto y conexión con la tarjeta de adquisición de datos.
- Crear una interfaz en LabVIEW capaz de seguir la evolución de las variables, guardarlas en tablas y ficheros y representar las curvas características.

Esto lleva a la conclusión, que a pesar de ser un trabajo perteneciente a la rama de electrónica, he aprendido conocimientos pertenecientes a otras ramas debido al estudio realizado sobre toda la instalación en general y particularmente sobre la bomba centrífuga. Sin embargo, no hay que olvidar que el objetivo principal era el de trabajar con los sensores y la creación del programa en LabVIEW, donde podemos decir que hemos creado una interfaz limpia y sencilla, capaz de recoger y representar las variables necesarias para caracterizar a una bomba centrífuga.

Un posible trabajo futuro, principalmente sería el de poder recoger la potencia eléctrica de forma automática y poder representarla en LabVIEW. De esta forma no sería necesario el uso del vatímetro y se realizaría el ensayo de una forma mucho mas rápida y eficaz. Para ello una solución posible sería el uso de módulos con el NI 9225, capaz de medir la potencia trifásica y llevar la señal

a LabVIEW. La desventaja es que este módulo es demasiado costoso, unas de las razones por las que no se pudo instalar en el puesto.

La última mejora, sería la de obtener la velocidad de giro mediante un sensor, y llevar la señal a LabVIEW donde al mismo tiempo controlar la velocidad del variador de teniendo de esta forma todas las funcionalidades en nuestra interfaz. Este podría ser un futuro trabajo fin de grado.

Anexos

Diagrama de bloques del VI principal y de los subVI:

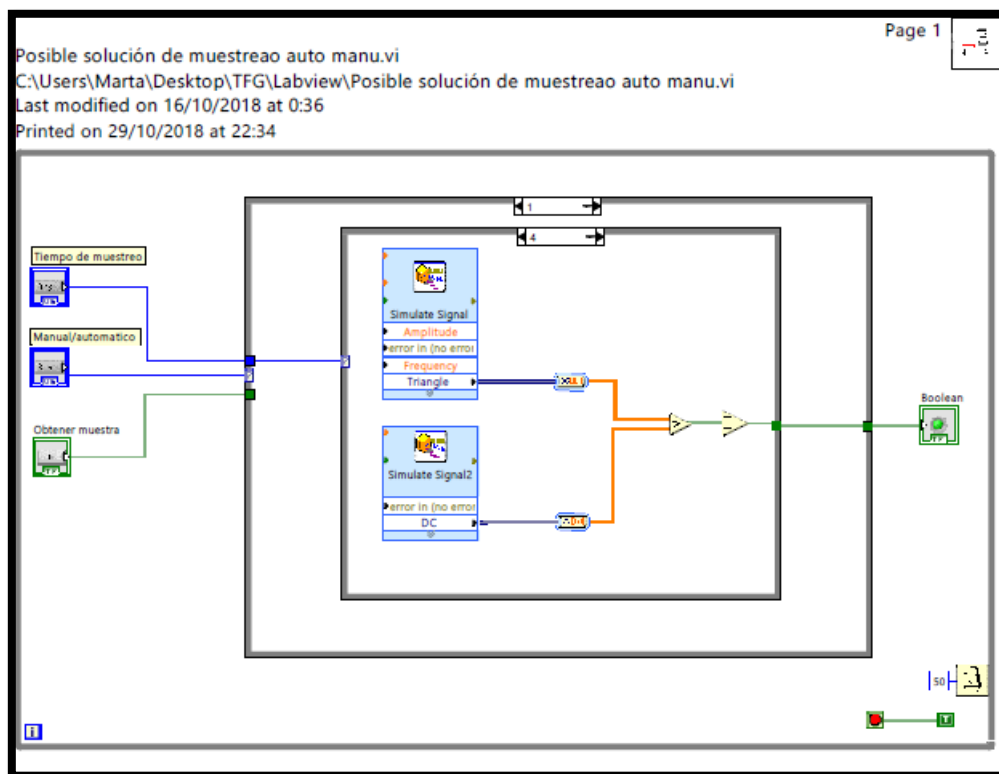


Imagen 77: Diagrama de bloques del capturador

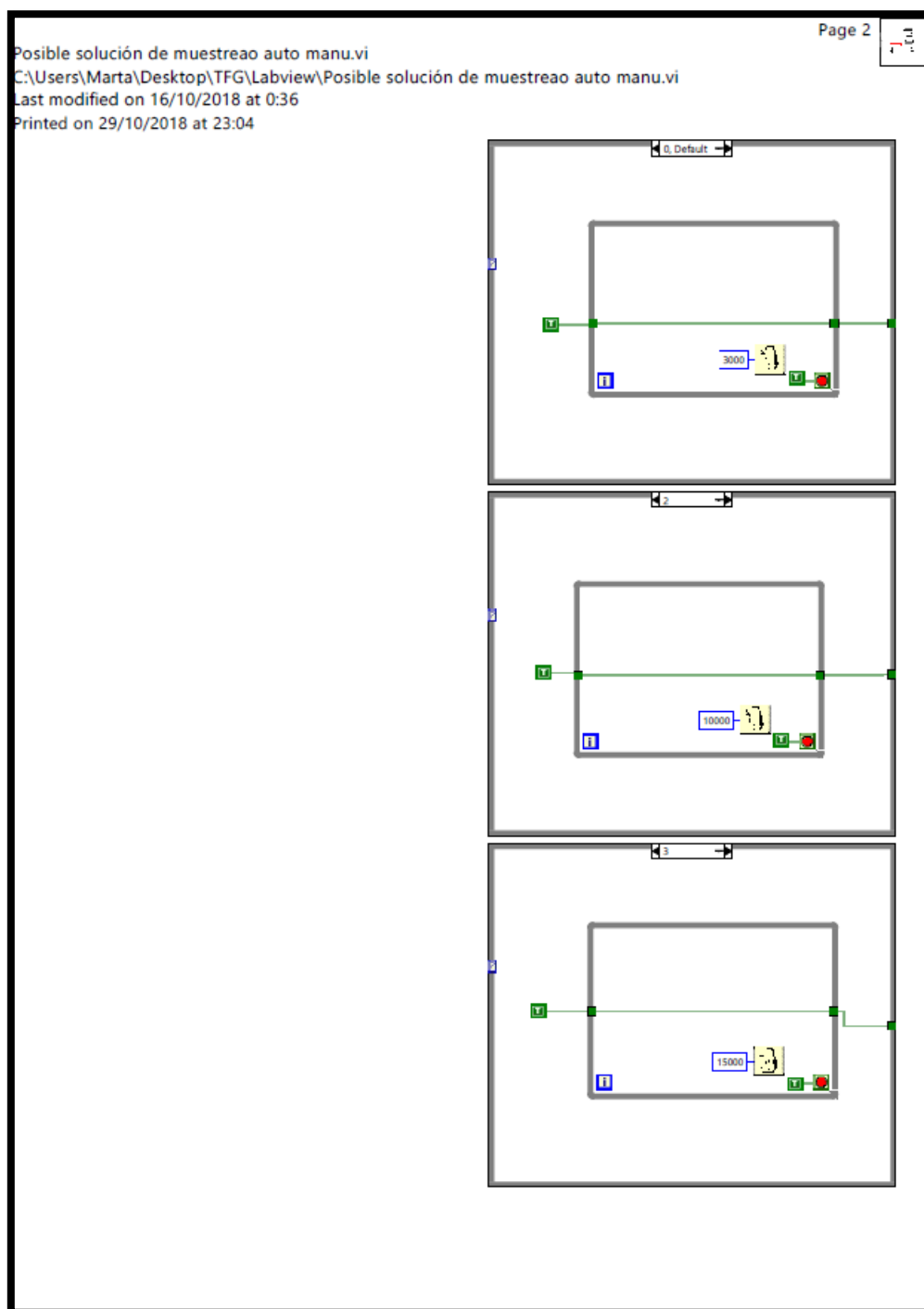


Imagen 78: Diagrama de bloques del capturador

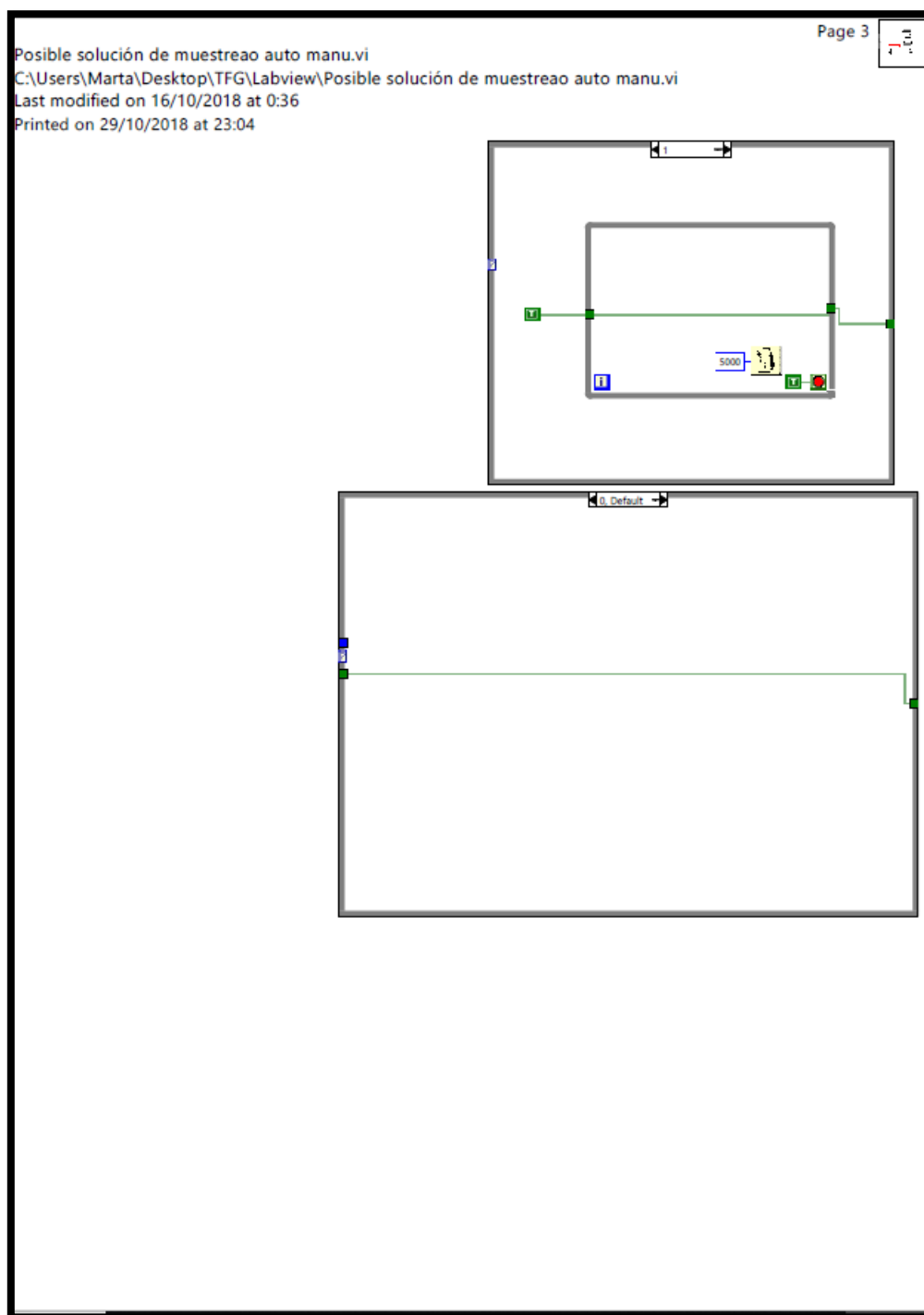


Imagen 79: Diagrama de bloques del capturador

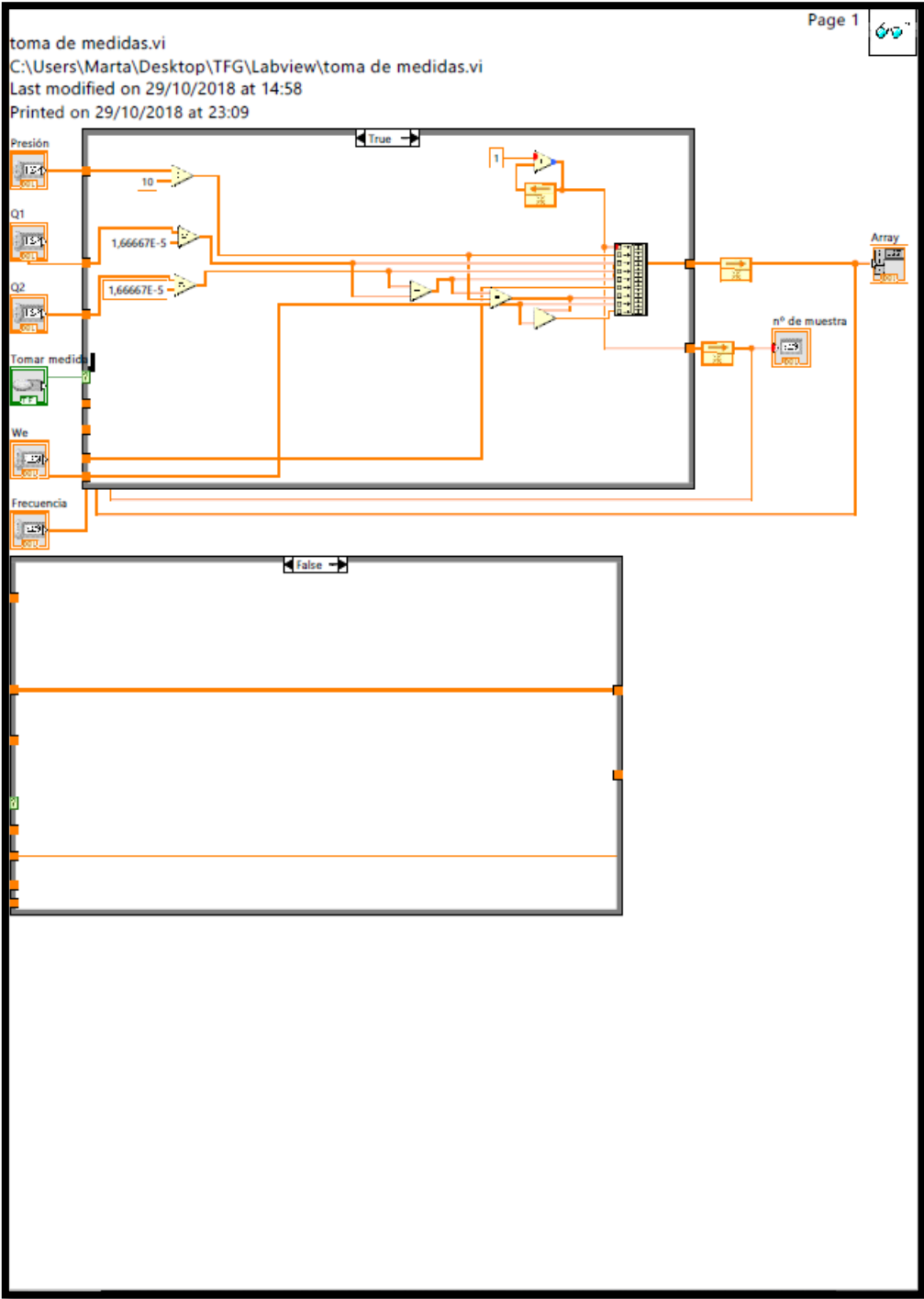


Imagen 80: Creación del vector

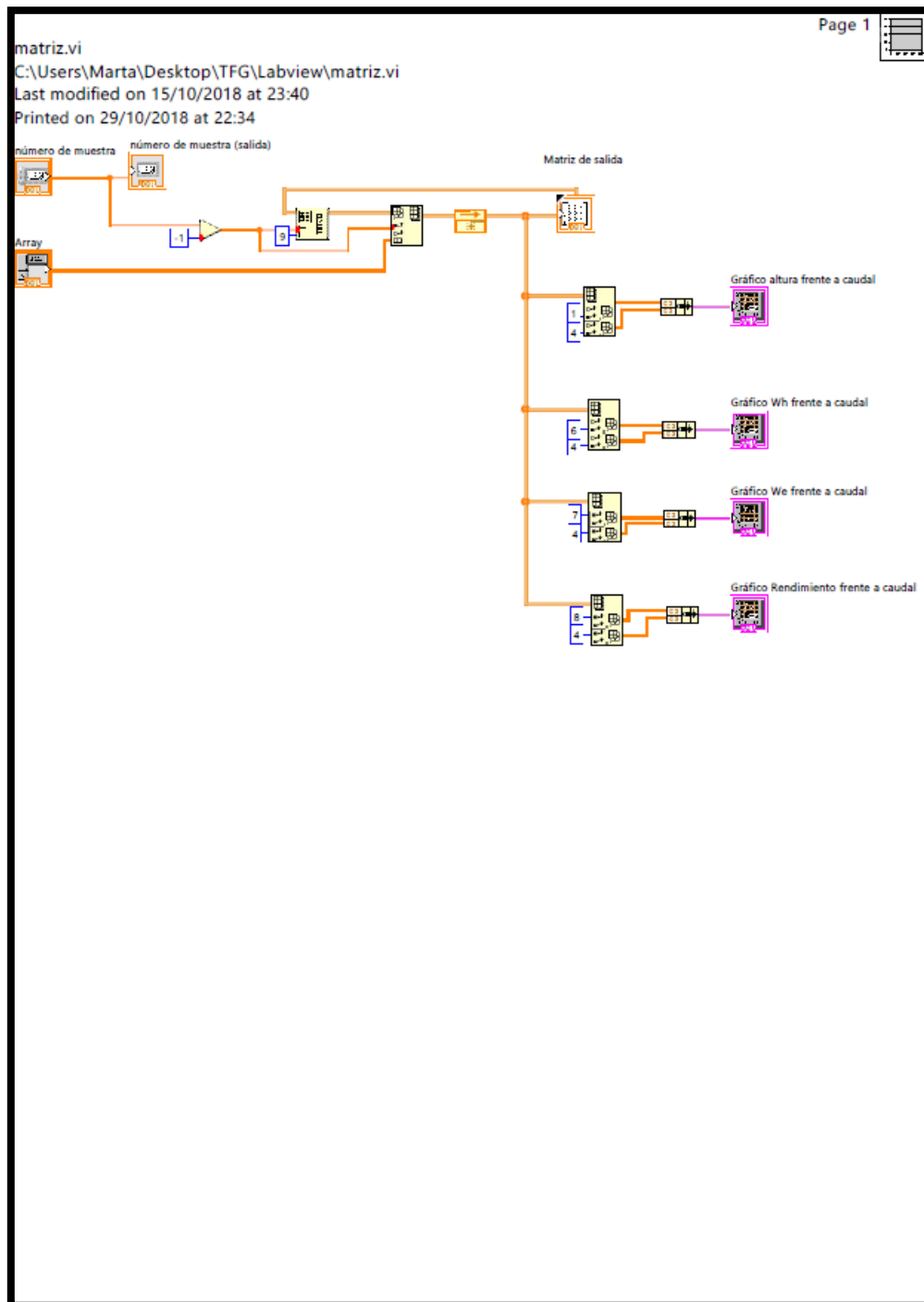


Imagen 81: Creación de las gráficas

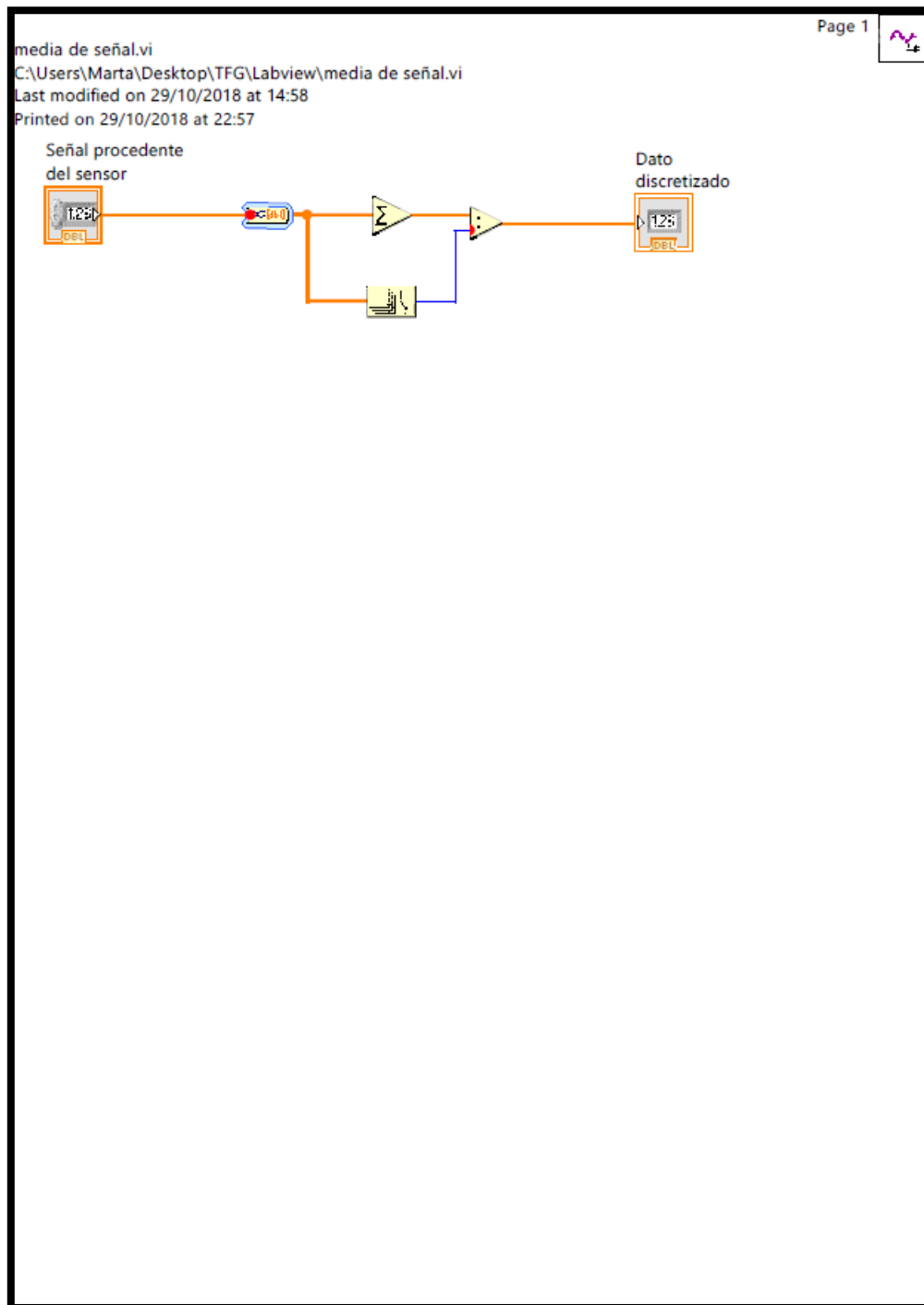


Imagen 82: Discretizador

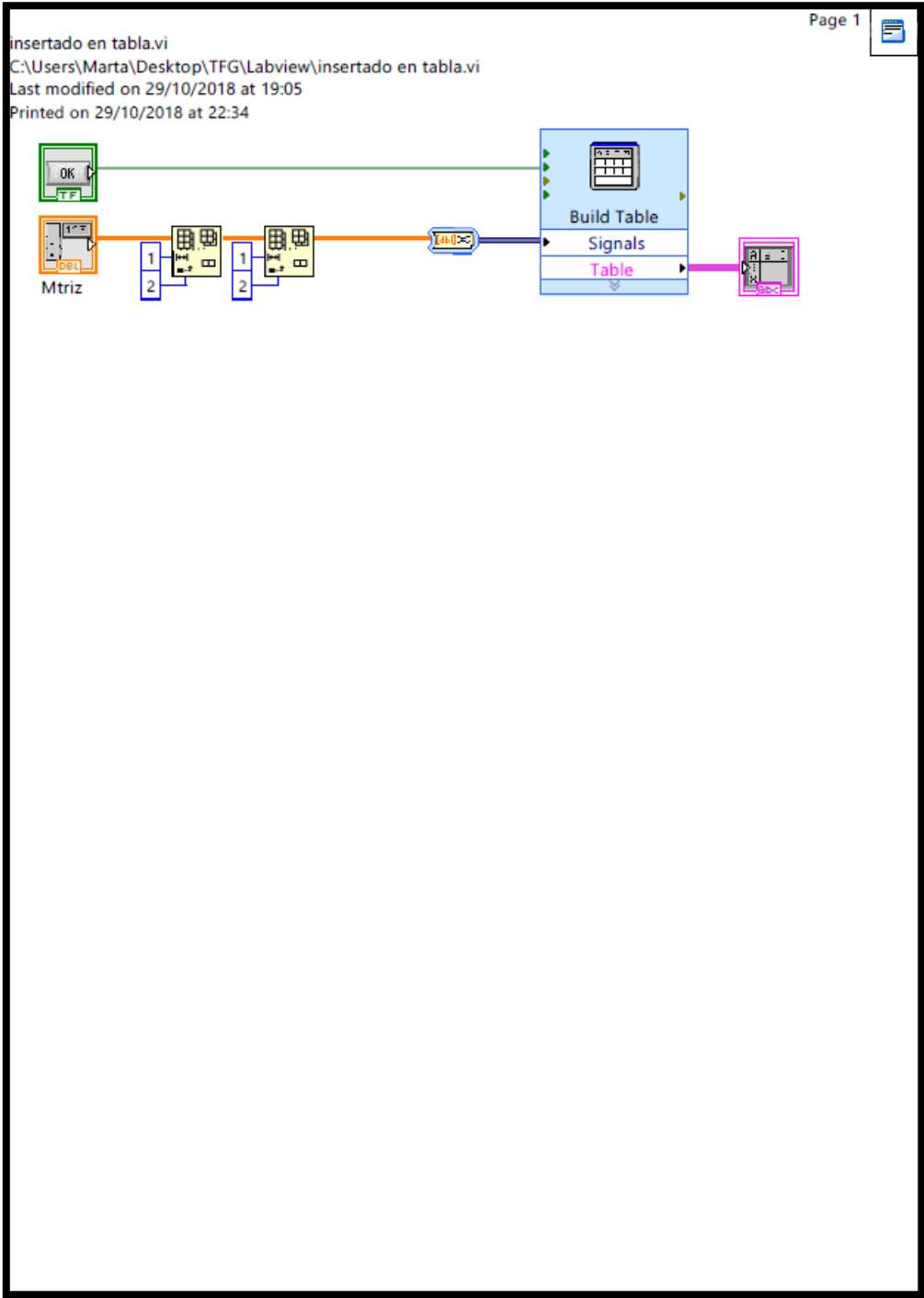


Imagen 83: Creación de la tabla

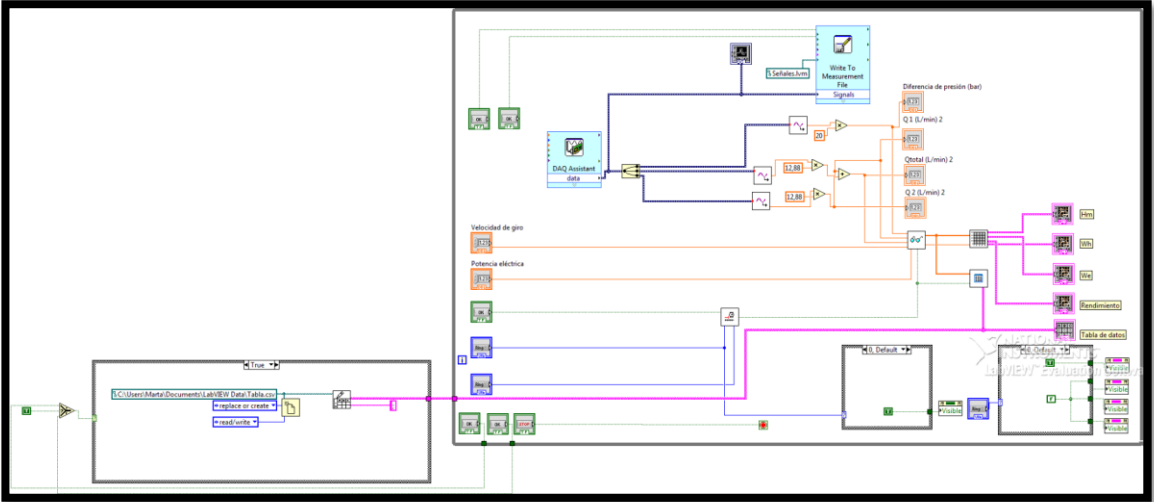


Imagen 84: VI principal

Bibliografía

José Rafael Lajara Vizcaíno, José Pelegrí Sebastiá. (2011). *LabVIEW: entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo.

Larsen, Ronald W. (2011). *LabVIEW for engineers*. Upper Saddle River, N.J. : Prentice Hall/Pearson

Carnicer Royo, Enrique. (2004). *Bombas centrífugas*. Madrid: Parainfo.

Ruiz González, Mariano. (2004). *Introducción a LabVIEW*. Madrid: Dpto. De Publicaciones de la E.U.I.T de Telecomunicación.

Ferrero, José H. (1969). *Manual de bombas centrífugas: cálculo, construcción y aplicaciones*. Madrid: Alhambra.

Jiménez González, Jesús David. (2008). *Creación de una aplicación para la caracterización de una bomba centrífuga*. Trabajo fin de grado. Universidad de Jaén.

Pradas Hidalgo, Gloria María. (2009). *Caracterización de una turbina Francis*. Trabajo fin de grado. Universidad de Jaén.

