

Proyecto fin de carrera, Facultad de Informática  
Universidad Politécnica de Valencia

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN  
SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE  
PROBETAS Y ELEMENTOS  
ESTRUCTURALES DE CONSTRUCCIÓN**

**VICENT ANDREU CISCAR MARTINEZ**  
Valencia, Mayo de 2010

# ÍNDICE

	Pag.
<b>1. DESCRIPCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. LUGAR DE TRABAJO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>6</b>
<b>4.1. Equipo necesario .....</b>	<b>6</b>
<b>4.2. Procedimiento .....</b>	<b>7</b>
<b>4.3. Cálculo del módulo de elasticidad dinámico .....</b>	<b>8</b>
<b>4.3.1. Cálculo de los módulos mediante la frecuencia de resonancia.....</b>	<b>8</b>
<b>5. MATERIAL DISPONIBLE.....</b>	<b>11</b>
<b>5.1. Osciloscopio Handyscope hs3.....</b>	<b>11</b>
<b>5.2. Vibrador de la serie v400 – Ling Dynamic Systems.....</b>	<b>12</b>
<b>5.3. Amplificador pa500/1000L-ce .....</b>	<b>13</b>
<b>5.4. Acondicionador de señal.....</b>	<b>13</b>
<b>5.5. Acelerómetro .....</b>	<b>13</b>
<b>5.6. Labview 7.1 .....</b>	<b>13</b>
<b>6. DESARROLLO .....</b>	<b>15</b>
<b>6.1. Programa .....</b>	<b>15</b>
<b>6.1.1. “Ed_def_*.vi” .....</b>	<b>15</b>
6.1.1.1. Variables, controles y borrado de medidas.	
6.1.1.2. Comunicación con subprograma que controla el osciloscopio	
6.1.1.3. Funciones para el cálculo de los diferentes módulos elásticos	
6.1.1.4. Llamada al subprograma que se encarga de realizar el informe	
<b>6.1.2. “osge_*.vi” .....</b>	<b>20</b>
<b>6.1.3. “Intens.vi” .....</b>	<b>24</b>
<b>6.1.4. “Informe.vi” .....</b>	<b>25</b>
<b>6.1.5. “rellinf_*.vi” .....</b>	<b>27</b>
<b>6.2. Soporte diseñado.....</b>	<b>28</b>
<b>6.2.1. Descripción general .....</b>	<b>28</b>

6.2.2. Base.....	29
6.2.3. Ampliación de la base.....	30
6.2.4. Soporte con apoyo rectangular para probetas prismáticas.....	31
6.2.5. Soporte con apoyo rectangular para probetas cilíndricas .....	32
6.2.6. Soporte con apoyo triangular para probetas prismáticas.....	32
6.2.7. Soporte con apoyo triangular para probetas cilíndricas .....	33
6.2.8. Amarradera .....	34
6.2.9. Sistema de sujeción para probetas prismáticas .....	34
<b>6.3. Soporte fabricado .....</b>	<b>36</b>
6.3.1. Base.....	36
6.3.2. Soportes.....	37
6.3.3. Sistema de sujeción.....	38
<b>6.4. Ejemplo medido .....</b>	<b>38</b>
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>8. REFERENCIAS.....</b>	<b>41</b>
<b>9. APÉNDICE .....</b>	<b>42</b>
9.1. Anexo 1. Manual de usuario .....	42
9.2. Anexo 2. Plantilla de informe .....	48

# 1. DESCRIPCIÓN

Todos los materiales tienen unas características que los describen. Conocer sus propiedades es necesario si se quiere utilizar de una forma segura algún material para realizar cualquier estructura con él. Uno de los parámetros que se pueden tener en cuenta es el módulo de elasticidad dinámico, el cual caracteriza el comportamiento elástico de los materiales.

En el caso de la construcción, los objetos construidos pueden ser estructuras de uso diario, o uso artístico, y tener en cuenta el módulo de elasticidad es necesario para evitar que se pueda producir alguna anomalía no deseada que provoque algún accidente, la pérdida de un edificio emblemático o también, realizar alguna restauración sin hacer ningún daño al resto de la estructura.

En el instituto tecnológico de la construcción se mide este parámetro para diversos materiales, como pueden ser el hormigón o piedra natural con diferentes composiciones de otros materiales. En este proyecto se ha planteado la medida del módulo de elasticidad dinámico mediante el uso de un programa realizado en “Labview”. El sistema consta de una parte interior, que es lo que se realiza en el programa, y de una parte exterior, que consta de un vibrador, un amplificador, un osciloscopio, un soporte y un acelerómetro.

El programa controla un generador de funciones digital, el cual genera una señal. Esta señal es amplificada y se encarga del funcionamiento del vibrador. La vibración está en contacto con la probeta, y esta señal vibratoria se propaga por ella. El soporte sujeta la probeta para que la medida sea correcta y el acelerómetro lee la señal y la comunica al osciloscopio. El osciloscopio pasa la señal al programa, el cual realiza las fórmulas para calcular el valor deseado, según las especificaciones del usuario.

## 2. OBJETIVOS

- **Diseñar un soporte para mayor sujeción de las probetas a medir.**

El sistema actual para la sujeción de las probetas, que permite que estas estén en contacto con una maquina que emite vibración, no ofrece un correcto aislamiento y soporte. Se pretende diseñar un nuevo soporte que sujete de forma más precisa las probetas y aisle el sistema de la mesa de trabajo. De esta forma, la sujeción será más compacta y la señal medida será más exacta.

- **Realizar un sistema informático que sea capaz de medir la frecuencia de resonancia de diversas probetas.**

Mediante el programa “Labview” se realizará un programa que sea capaz de emitir señales de varias frecuencias para controlar el vibrador. Esto hará que el sistema vibre y con un acelerómetro se mida la frecuencia de resonancia. El programa ha de ser capaz de identificar dicha frecuencia de la manera más correcta posible.

- **Calcular el modulo de elasticidad dinámico a partir de las frecuencias obtenidas.**

Una vez obtenida la frecuencia de resonancia para la probeta medida, el programa ha de ser capaz de utilizar la formula adecuada para el tipo de probeta y calcular correctamente el módulo de elasticidad dinámico.

- **Realizar un interfaz de usuario que permita la visualización de la señal obtenida y emita un informe con las diferentes medidas obtenidas.**

El usuario será capaz de introducir las características de las probetas que esta midiendo, y será capaz de controlar el osciloscopio que esta en contacto con el sistema de medida. También, podrá visualizar la señal a medida que se va obteniendo. Al finalizar las medidas, se emitirá un informe que resuma las características del ensayo realizado.

### 3. LUGAR DE TRABAJO

El proyecto se ha llevado a cabo mediante el convenio entre la Universidad Politécnica de Valencia y AIDICO, Instituto Tecnológico de la Construcción el cual tiene como finalidad optimizar la capacidad de innovación, calidad, seguridad y sostenibilidad de las empresas para potenciar su competitividad en mercados nacionales e internacionales.

Concretamente se ha trabajado en el área de seguridad y tecnologías de la construcción, donde se realizan ensayos para poder caracterizar los elementos de la construcción. Las técnicas y metodologías que se optimizan y desarrollan en esta área son:

- **Ensayos No Destructivos** aplicados al **Diagnóstico de materiales y elementos estructurales** pertenecientes al **Patrimonio histórico-construido**: auscultación sónica, inspección ultrasónica, exploración por georradar, termografía infrarroja, microscopía electrónica y óptica.
- **Ensayos cuasi-no destructivos** aplicados a la **caracterización de la mecánica** de obras de fábrica: penetrómetro de taladro, técnica de gato-plano.
- **Monitorización estructural y ambiental** para la evaluación de **cuadros fisurativos y patologías** aparecidas en otros elementos o presentes en las **cimentaciones**.
- **Análisis estructural estático y dinámico** apoyado por modelos de **elementos finitos y simulación numérica**.
- **Evaluación histórico-artística** basada en estudios concretos del **monumento** con **valor patrimonial** que incorporan: inventariado, catalogación, histórico de intervenciones, impacto de las nuevas intervenciones y uso y estudios arquitectónicos y decorativos.

## 4. ESTADO DEL ARTE

Para realizar un ensayo en el que se quiere determinar el módulo de elasticidad dinámico mediante la medida de la frecuencia de resonancia fundamental de una forma válida, hay que hacerlo según se indica en la norma UNE-EN 14146, para el caso de piedra natural. El programa realizado se basa en dicha norma, siendo la base de la que se ha partido para elegir las diversas variables, las opciones que permite, o el informe que se muestra posteriormente.

En la norma se especifican los métodos que hay que seguir para determinar la frecuencia de resonancia fundamental de la piedra natural y el cálculo del módulo de elasticidad dinámico. A continuación se detallará como se realiza el ensayo según la norma, y posteriormente se verán los diferentes cambios que se han añadido para mejorar la realización del ensayo y que el programa realice todas las medidas de una forma adecuada.

### 4.1. Equipo necesario

Existen dos métodos para medir la resonancia fundamental, dependiendo del método utilizado para hacer vibrar la probeta sometida a análisis. Uno de los métodos está basado en la excitación continua, el otro está basado en la excitación instantánea. Ambos métodos consisten en conseguir que una probeta de piedra vibre utilizando vibraciones de torsión, de flexión o longitudinales y, a continuación se determina la correspondiente frecuencia de resonancia fundamental. En el programa se utiliza el método de vibración continuo, por esto se verá la parte de la norma que hace referencia a este método de medida.

Para realizar el ensayo de excitación continua, la norma dice que es necesario disponer del siguiente equipo:

- Un generador de frecuencia variable, con un intervalo de frecuencia mínimo de 20 kHz.
- Un transductor emisor y un transductor receptor que se deben poner en contacto con la probeta. La frecuencia de resonancia natural del transductor tiene que ser como mínimo el doble de la frecuencia de resonancia fundamental presumible de la probeta
- Un dispositivo que se utilice para registrar o indicar el inicio de la resonancia de la probeta.

- Un sistema que mida o calcule la frecuencia de resonancia fundamental de la probeta
- Una superficie de trabajo aislada de vibraciones externas
- Soportes para las probetas fabricados de un metal rígido

El sistema disponible en el laboratorio de ensayo consta de algunos de los elementos anteriores, de forma que los cálculos obtenidos disponen de un error mayor al deseado. Se dispone del generador de frecuencia, el cual está conectado a un amplificador. Este a su vez, está conectado con un vibrador, el cual hace el trabajo de transductor emisor. También se dispone de un acelerómetro que sería el transductor receptor.

Para registrar o indicar el inicio de la resonancia de la probeta, se dispone de un osciloscopio, y se apunta el valor de forma manual. En el cual también se observa la frecuencia de resonancia. El problema estaría en que el sistema no está aislado de vibraciones externas y que los soportes, a pesar de cumplir las características que describe la norma, no sujetan las probetas, por lo que al emitir las vibraciones sobre las mismas, se desplazan y distorsionan las medidas.

Mediante la excitación aplicada a las probetas se pueden medir diversos modos fundamentales. Cada uno de los modos, como son el de la vibración longitudinal, el de la vibración de torsión y el de la vibración de flexión, se miden variando la posición de los soportes inferiores y de los transductores respecto a la zona de contacto con la probeta. En las siguientes imágenes se puede observar como se colocarían los elementos en el sistema de medida para cada uno de los modos fundamentales para los tipos de vibración.

También se dispone de un prisma de base cuadrada fabricado de duraluminio para verificar el correcto funcionamiento del sistema de medida. Comparando la frecuencia de resonancia fundamental longitudinal medida, con la frecuencia de resonancia fundamental longitudinal certificada del prisma.

## 4.2. Procedimiento

Para realizar el ensayo lo primero es preparar las probetas, estas deben tener forma prismática o cilíndrica. La longitud de los prismas cilíndricos o de los prismas de base cuadrada o rectangular debe ser como mínimo el doble de la mayor dimensión de la base. Si la piedra muestra planos de asintropía (por ejemplo, estatificaciones, exfoliaciones), se tienen que preparar las probetas con el eje longitudinal paralelo o bien perpendicular a dichos planos. No importa si la probeta está seca o húmeda, pero su condición y la temperatura se deben registrar en el informe.

Una vez se tiene unas probetas adecuadas, hay que medir sus dimensiones geométricas. Después se colocan los transductores y se evalúa la correspondiente frecuencia de resonancia fundamental utilizando el modo de vibración elegido.

### 4.3. Cálculo del módulo de elasticidad dinámico

Para realizar el cálculo del módulo de elasticidad dinámico son necesarias una serie de fórmulas. Estas fórmulas se aplican a las diferentes probetas, distinguiendo entre probetas estándar y probetas de una forma general. Además, las diferentes fórmulas son las que posteriormente estarán implementadas en el programa para calcular el valor deseado en cada caso.

Las probetas estándar son en caso de probetas prismáticas, probetas de longitud  $4b$ , siendo “ $b$ ” el tamaño de uno de los lados de la base. En el caso de las probetas cilíndricas, incluiremos en probetas estándar las que tienen una longitud  $4d$  o  $3d$ , siendo  $d$  el diámetro de circunferencia que forma una de las caras.

En este apartado se van a ver las diferentes fórmulas que son necesarias para cada uno de los cálculos que se quieren realizar. En dichas fórmulas, se utilizan unas variables que para su mejor entendimiento se van a explicar a continuación: En mm tenemos,  $b$  anchura de una probeta prismática,  $d$  diámetro de una probeta cilíndrica,  $h$  altura de la probeta prismática,  $l$  longitud de la probeta. En Hz,  $F_L$  frecuencia de resonancia fundamental longitudinal,  $F_F$  frecuencia de resonancia fundamental de flexión,  $F_T$  frecuencia de resonancia fundamental de torsión.  $\rho$  es la densidad aparente de la probeta en  $\text{kg m}^{-3}$  y  $i$  es el radio de giro de la sección de la probeta, también en mm.

#### 4.3.1. Cálculo de los módulos de elasticidad dinámicos mediante la frecuencia de resonancia

El módulo de elasticidad dinámico longitudinal, calculado a partir de la frecuencia de resonancia fundamental en vibración longitudinal  $F_L$ , viene dado por la siguiente ecuación:

$$Ed_L = 4 \times 10^{-6} \times l^2 \times F_L^2 \times \rho \times T \text{ (en MPa)}$$

Para poder despejar la variable deseada, es necesario saber que  $T$  es un factor de corrección que depende de  $i$  y de  $v$ , siendo  $i$ :

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

En esta fórmula, **A** es el área de la superficie de la sección transversal de la probeta, e **I** depende de la forma de las probetas, como se observa en las siguientes formulas, siendo la primera la correspondiente a probetas de base rectangular, la segunda se utiliza para probetas de base cuadrada y la tercera para probetas cilíndricas.

$$I = \frac{bh^3}{12}, I = \frac{b^4}{12}, I = \frac{\pi d^4}{64}$$

Una vez obtenida la *i*, y sabiendo que la *v* corresponde al coeficiente de Poisson, tendremos la siguiente fórmula donde podemos calcular el valor de T.

$$T = 1 + \frac{\pi^2 \times v^2 \times i^2}{l^2}$$

Cuando se esta realizando el mismo ensayo pero lo que se mide es el módulo de una probeta estándar, viniendo *l* expresada en metros, el valor de T se puede considerar igual a la unidad, y por lo tanto la fórmula a utilizar quedaría de la siguiente forma:

$$Ed_L = 4 \times 10^{-6} \times l^2 \times F_L^2 \times \rho \quad (\text{en MPa})$$

Para el caso del cálculo del módulo de elasticidad dinámico de flexión, calculado a partir de la frecuencia de resonancia fundamental en vibración de flexión  $F_F$ , viene dado por la siguiente ecuación:

$$Ed_F = 4 \times 10^{-6} \frac{\pi^2 l^4}{(4,73^4) i^2} F_F^2 \times \rho \times C \quad (\text{en MPa})$$

En esta, C es un factor que depende de *i* y de *v*, el cual observamos a continuación:

$$C = \frac{1}{2} + \frac{(4,73)^2}{2} \times \frac{i^2}{l^2} \left[ 1 + \frac{6}{5} \times 2(1+v) \right] + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{(4,73)^2}{2} \times \frac{i^2}{l^2} \left[ 1 + \frac{6}{5} \times 2(1+v) \right] + \frac{(4,73)^4}{2} \times \frac{i^4}{l^4} \left[ 1 - \frac{6}{5} \times 2(1+v) \right]^2}$$

Si la probeta que se quiere medir es una probeta estándar, la fórmula se puede simplificar dependiendo del tipo de probeta que se tenga. Para una probeta prismática de base cuadrada, se utilizaría la siguiente fórmula:

$$Ed_F = 15,136 \times 10^{-6} \times l^2 \times F_F^2 \times \rho \times C \quad (\text{en MPa})$$

Sin embargo, para una probeta cilíndrica estándar con  $l = 3 \cdot d$ , se utilizaría esta fórmula:

$$Ed_F = 11,358 \times 10^{-6} \times l^2 \times F_F^2 \times \rho \times C \quad (\text{en MPa})$$

En el caso que la probeta sea cilíndrica estándar con  $l = 4 \cdot d$ , obtendríamos el módulo deseado de esta forma:

$$Ed_F = 20,190 \times 10^{-6} \times l^2 \times F_F \times \rho \times C \quad (\text{en Mpa})$$

En estos tres casos anteriores  $l$  ha de estar expresada en metros.

Por último, para el cálculo del módulo de elasticidad dinámico de torsión, calculado a partir de la frecuencia de resonancia fundamental en torsión  $F_T$ , se utiliza la siguiente fórmula:

$$Ed_T = 4 \times 10^{-6} \times l^2 \times F_T^2 \times \rho \times R \quad (\text{en Mpa})$$

En esta ecuación observamos la variable **R**, la cual es un factor de corrección que viene dado por esta fórmula:

$$R = \frac{\frac{h}{b} + \frac{b}{h}}{4 \frac{b}{h} - 2,52 \left(\frac{b}{h}\right)^2 + 0,21 \left(\frac{b}{h}\right)^6}$$

Esto es para el caso de probetas prismáticas, para el caso de probetas cilíndricas el valor de **R** es igual a la unidad.

Cuando se trata de probetas estándar,  $R=1$  para probetas cilíndricas y  $R=1,183$  para probetas prismáticas de base cuadrada.

## 5. MATERIAL DISPONIBLE

El material del que se dispone para la realización del proyecto consta de los siguientes elementos:

- Osciloscopio Handyscope hs3
- Vibrador de la serie v400
- Amplificador pa500/1000L-ce
- Acondicionador de señal
- Acelerómetro
- Labview 7.1

### 5.1. Osciloscopio Handyscope hs3

El Handyscope HS3 es un instrumento de medición controlado por ordenador de gran alcance de 2 canales que da vuelta a su ordenador en un analizador de espectro, un osciloscopio, un multímetro, una grabadora de transitoria o un generador de forma de onda arbitraria. Este instrumento de medida de gran alcance y compacto puede solucionar casi cualquier parte de la medida.

El Handyscope HS3 ofrece una resolución de 12 bits seleccionable por el usuario, también de 14 bits o de 16 bits (14 bits eficaz con DB de SNR 95), 200 mV – 80 V de rango en la escala de entrada, longitud de registro de 128K muestras por canal y una frecuencia del muestreo de hasta 100 megaciclos en ambos canales simultáneamente (100 megaciclos solamente en la resolución de 8 bits).

El AWG integrado funciona independientemente del sistema de medición del Handyscope HS3. Tiene un reloj del muestreo de 50 megaciclos, memoria para la forma de onda de las muestras de 256K, una resolución de salida de 14 bits y  $\pm 12$  V de gama de salida. El AWG permite que se genere las señales de la prueba para las medidas en cualquier forma que se desee. Varias formas de la señal del patrón están disponibles y es posible regenerar señales de medidas anteriores.

Conectado con el USB rápido 2.0 (velocidad, 480 Mbit/s), el Handyscope HS3 no requiere una fuente de alimentación eléctrica externa, por lo tanto el Handyscope HS3 se conecta y está listo para utilizarse.

Algunas especificaciones dominantes:

- 2 canales de entrada
- Resolución de 12, 14 o 16 pedacitos, seleccionable por el usuario
- 200 milivoltio - 80 gamas completas de la entrada de V
- Exactitud del 0.2%
- Longitud de registro de 128 muestras K por el canal
- Frecuencia del muestreo hasta muestreo de 100 megaciclos en todos los canales

## 5.2. Vibrador de la serie v400 – Ling Dynamic Systems

Los vibradores de la serie V400 son transductores de banda ancha de frecuencias electrodinámica de compresión capaz de producir un vector de fuerza de 196 N sinusoidal cuando la fuerza se estabiliza. También son adecuados como utilidades no sísmicas y son ampliamente utilizados en centros docentes y de investigación para investigar el comportamiento dinámico de las estructuras y materiales. Otras aplicaciones incluyen las pruebas a fatiga y de resonancia, utilizados como transductores de velocidad o actuadores de alta velocidad y varios propósitos médicos.



Imagen 1. Vibrodina.

### 5.3. Amplificador pa500/1000L-ce

Equipo que recibe una señal eléctrica y amplifica su intensidad. Este equipo es necesario para ampliar la señal que se transmite al equipo de vibración, porque los diferentes materiales que se quieren medir dentro del entorno de la construcción, varían mucho en cuanto a la atenuación de la vibración que producen, y por tanto mediante este amplificador se regula la intensidad con la que se golpean las probetas.

### 5.4. Acondicionador de señal

Los transductores son dispositivos que convierten fenómenos físicos como temperatura, carga, presión o luz a señales eléctricas como voltaje y resistencia. Las características de los transductores definen muchos de los requerimientos de acondicionamiento de señales. Los acondicionadores incluyen filtros de ruido para mejorar la calidad de la señal. Además incluyen amplificadores de instrumentación de alta ganancia para aumentar el nivel de la señal.

### 5.5. Acelerómetro

El acelerómetro es uno de los transductores más versátiles, siendo el más común el piezoeléctrico por compresión. Este se basa en que, cuando se comprime un retículo cristalino piezoeléctrico, se produce una carga eléctrica proporcional a la fuerza aplicada.

Mediante el acelerómetro, se puede detectar el movimiento vibratorio que se ejerce sobre la superficie donde está colocado. Cuando el conjunto es sometido a vibración, el disco piezoeléctrico se ve sometido a una fuerza variable, proporcional a la aceleración de la masa. Debido al efecto piezoeléctrico se desarrolla un potencial variable que será proporcional a la aceleración. Dicho potencial variable se puede registrar sobre un osciloscopio o voltímetro.

### 5.6. Labview 7.1

Para el desarrollo del programa se ha necesitado un ordenador con el programa Labview, en este entorno de trabajo se programa utilizando el lenguaje G. Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y estaban basados en simular un controlador de cualquier instrumento, pero ha ido evolucionando hasta permitir prácticamente cualquier opción de programación.

Al estar pensado en principio para el control de instrumentos, dispone de un apartado de creación del interfaz donde fácilmente se introducen botones, interruptores,

señalizadores y otros elementos que se encuentran en los equipos electrónicos. Además, al ser un programa bastante utilizado por los ingenieros para la programación, los equipos suelen tener una fácil comunicación para poder automatizarlos.

Los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener ya pre-diseñados una gran cantidad de bloques, se le facilita al usuario la creación del proyecto. Cada VI consta de dos partes diferenciadas:

- Panel Frontal: El Panel Frontal es la interfaz con el usuario, la utilizamos para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando. Los usuarios podrán observar los datos del programa actualizados en tiempo real. En esta interfaz se definen los controles e indicadores.
- Diagrama de Bloques: es el programa propiamente dicho, donde se define su funcionalidad, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan.

## 6. DESARROLLO

En este apartado se explicaran los diferentes componentes que engloba el sistema utilizado para la medida, como se controla cada componente, y las diferentes partes que tiene el programa mediante la explicación del funcionamiento en Labview.

El programa realizado se encarga de determinar el módulo de elasticidad dinámico. A partir del sistema que se conecta para realizar este método de ensayo, en lugar de ser una persona la que toma los datos y calcula el resultado, pasa a realizar este cometido el programa implementado. Conectando el osciloscopio digital al puerto USB, se lee la frecuencia de resonancia fundamental y se aplican las formulas pertinentes para los diferentes tipos de probeta, de medida, o de frecuencias.

### 6.1. Programa

El programa realizado en Labview consta de un fichero principal y varios subficheros a los que se acceden en determinados puntos del programa. El archivo principal se denomina “Ed\_def\_\*.vi” el cual tiene la función de captar las acciones del usuario en el interfaz principal y dirigir el funcionamiento del programa hacia una acción u otra. En este proceso principal se accede a “osge\_\*.vi” y a “informe\_\*.vi”. El primer subv citado se encarga del control del osciloscopio digital, mientras que el segundo recoge la información de las probetas medidas y estructura el informe del ensayo realizado. Además, también tienen su función otros subprogramas como “intens\_\*.vi”, que realiza un gráfico de intensidades del barrido, y “rellinf\_\*.vi”, el cual se encuentra dentro de “informe\_\*.vi” y maneja el interfaz con los campos a rellenar que se piden en el informe. En el anexo 1 se adjunta un manual de usuario donde se explica el programa para el manejo desde el interfaz.

#### 6.1.1. “Ed\_def\_\*.vi”

Este fichero de Labview corresponde al fichero principal del cual parte el programa. Es el que controla todo el flujo de la información que se transmite y se encarga de llamar a otros subprogramas. Este archivo de Labview está formado principalmente por cuatro zonas que realizan distintas funciones. La primera se encuentra a la izquierda, dentro de un bucle While, y en ella se encontrarían las variables de características de las probetas, además de los botones de control del flujo del programa y también el código que se encarga de borrar las medidas no deseadas. La segunda se encarga de manejar el subprograma que esta en contacto con el osciloscopio. Esta se encuentra en la parte inferior dentro de la estructura case central. La tercera se encarga de las diferentes formulas que

realizan el cálculo del modulo de elasticidad y está en el centro, dentro de una estructura case. Y la cuarta está en la parte superior, y es la zona de comunicación con el “subvi” que realiza el informe.

#### **6.1.1.1. Variables, controles y borrado de medidas.**

En la primera zona, se encuentran la mayoría de las variables del programa. Con ellas, se leen las características de la probeta que se quiere medir y se pasan al resto de módulos del programa. Pero para que esto ocurra, el camino que sigue el funcionamiento del programa ha de avanzar. Existen diversas formas en la que se puede salir del bucle y pasar a realizar otras acciones.

La primera de ellas es mediante el botón “Medir”, el cual conduce el programa hacia la medida con el osciloscopio y posteriormente al cálculo de las diversas fórmulas.

La segunda sería pulsando “Recalcular”, lo cual hace que se vuelvan a calcular las fórmulas, usando la ultima medida disponible que se tenia y sin volver a realizar la medida con el osciloscopio. Esto sirve para poder corregir algún dato erróneo que se haya podido dar sin necesidad de volver a obtener la medida de la frecuencia.

Para obtener un informe de las probetas que se van midiendo, con el botón “Informe”, se abre el subvi correspondiente para poder rellenar el informe con los datos del experimento.

Por último, con el botón “Salir” se cierra la conexión con el osciloscopio y se finaliza el funcionamiento del programa.

Según la opción elegida se pasa una variable control que dependiendo de su valor, indica el camino a seguir y el código que se realiza. Si pasamos a la zona donde se trata el control del osciloscopio, tenemos un bucle “for” que hace tantas iteraciones como medidas se van a realizar. Esto se obtiene partiendo desde la frecuencia mínima, hasta la frecuencia más próxima a la máxima que se permite incrementando cada medida en los pasos elegidos.

Dentro de esta zona, se pasa a utilizar el subvi “osge\_\*.vi”, el cual se encarga de emitir una señal hacia el osciloscopio, y en medir la señal de vuelta después de realizar cada medida. Para que se visualice correctamente el transcurso de dichas medidas, se ha introducido una barra donde se observa el avance, la cual esta ajustada para que cuando se acabe la medida se llegue al final, encendiéndose en este caso un indicador.

Si hay algún problema y se quiere parar el programa sin que acabe de realizar las medidas, existe el botón “Stop”, el cual le indica a “osge\_\*.vi” que se quiere detener el

osciloscopio, y le pasa la señal de control con el valor correspondiente. Con esto, dentro del subvi se cierra la conexión con el osciloscopio y con ello se detiene el programa. También está el botón “Cancelar”, el cual evita que en las siguientes iteraciones del “for” no se realice una medida con el osciloscopio y se cancele el barrido que se estaba realizando, no contando posteriormente esta medida para el informe.

Al finalizar la medida sin haber sido cancelada o detenida, se muestra en los arrays que se observan en el interfaz de usuario los valores leídos, y mirando la máxima amplitud en el array correspondiente, y con el array de las frecuencias, se obtiene cual es la frecuencia que estábamos buscando.

Cada medida tiene un número adjudicado, con el cual se distingue entre una probeta medida y otra. Mediante el botón “Borrar” se pueden eliminar los datos de la medida correspondiente al número que tiene al lado. En el programa está implementado este aspecto de la siguiente forma, se puede borrar la medida deseada, no pudiendo recuperarla una vez borrada, por lo que es importante no equivocarse con el número. No es necesario que se borre la última medida, puede borrarse cualquiera, pero las medidas nuevas se añaden desde el último número existente.

#### **6.1.1.2. Comunicación con subprograma que controla el osciloscopio**

Una vez se han visto los diferentes caminos posibles a partir de las opciones que se permiten en la primera parte del código del programa que se ha explicado, vamos a centrarnos en las otras partes donde se engloban las distintas funciones que realiza el programa.

En la parte inferior del diagrama de bloques en el programa principal [Imagen a2], se encuentra el código que se encarga de ir llamando al subprograma “osge\_\*.vi” cada vez que se quiere realizar una lectura para diferentes frecuencias.

En esta parte, se realiza el barrido elegido mediante las variables correspondientes, y se repite cada vez un proceso en el que se va calculando la frecuencia correcta para emitir la señal de salida del osciloscopio y obteniendo la entrada. El avance del bucle se ha adecuado para poder ser mostrado correctamente en el interfaz mediante una barra de estado o “slide”. Al finalizar, se enciende la luz virtual que corresponde a la variable “final” e indica que ha finalizado el proceso.

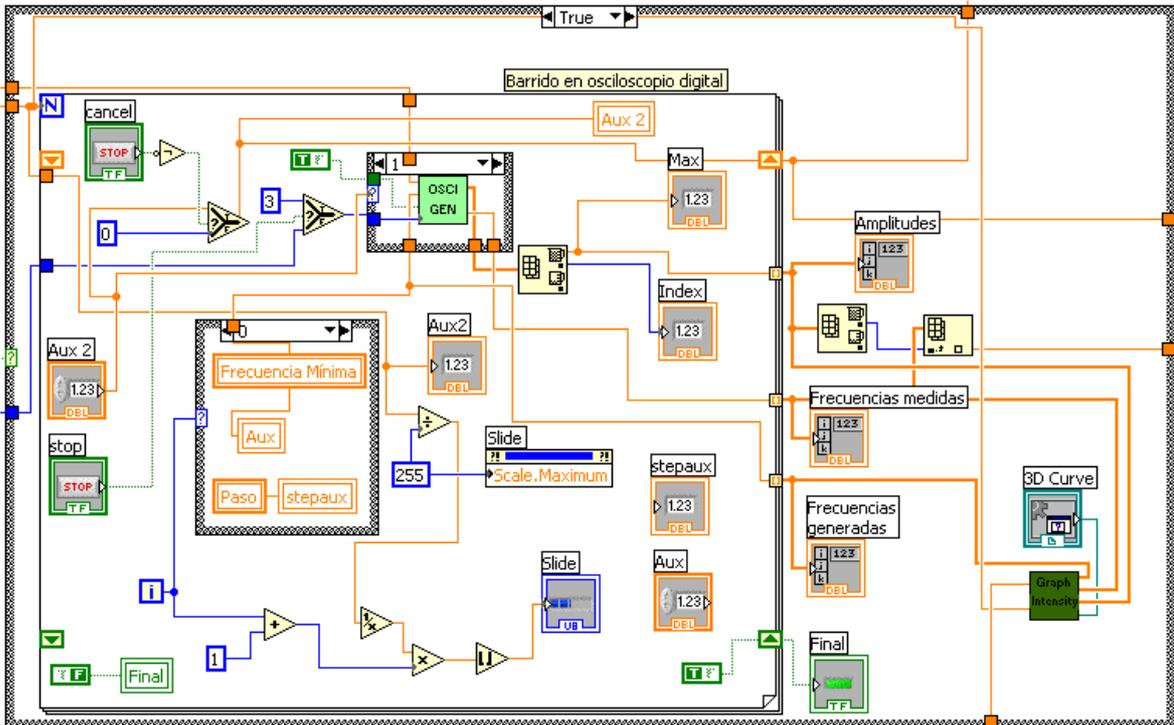


Imagen a2. Parte del código encargada de controlar las medidas con el osciloscopio digital.

A partir de los datos leídos, se va calculando el máximo de cada señal, la frecuencia que se ha obtenido y la frecuencia que se ha generado, y se guarda en tres vectores. A partir de esos vectores que disponen de la información una vez ha terminado el barrido, se busca la mayor amplitud para sacar la frecuencia fundamental del material medido.

También en esta parte, se realiza un gráfico que ayuda a visualizar que el máximo tomado es el correcto y los mismos datos se facilitan al subprograma “intens\_\*.vi” el cual realiza otro tipo de gráfico para la visualización.

### 6.1.1.3. Funciones para el cálculo de los diferentes módulos elásticos

Una vez tenemos completas todas las variables necesarias, y antes de ir guardando los valores medidos, ha de calcularse el módulo que se ha decidido medir a través de la interfaz de usuario. Cada módulo tiene una fórmula diferente, la cual también se simplifica si la probeta que se está midiendo tiene unas dimensiones estándar, según la norma correspondiente. Por todo ello, en esta parte del código, esta compuesta por una serie de estructuras de casos, las cuales, usando las diferentes opciones de elección que se le han dado al usuario, llegan hasta la fórmula específica del caso que se está tratando.

Primero, se distingue entre tres casos, la medida del módulo longitudinal, la del módulo de torsión o la del de flexión. Dentro de estos casos, se distinguen entre varios casos más, dependiendo del tipo de probeta que se está midiendo. En total hay ocho casos

distintos con sus respectivas fórmulas, que calculan en cada caso el módulo que toca y pasan el resultado a la última parte del programa principal.

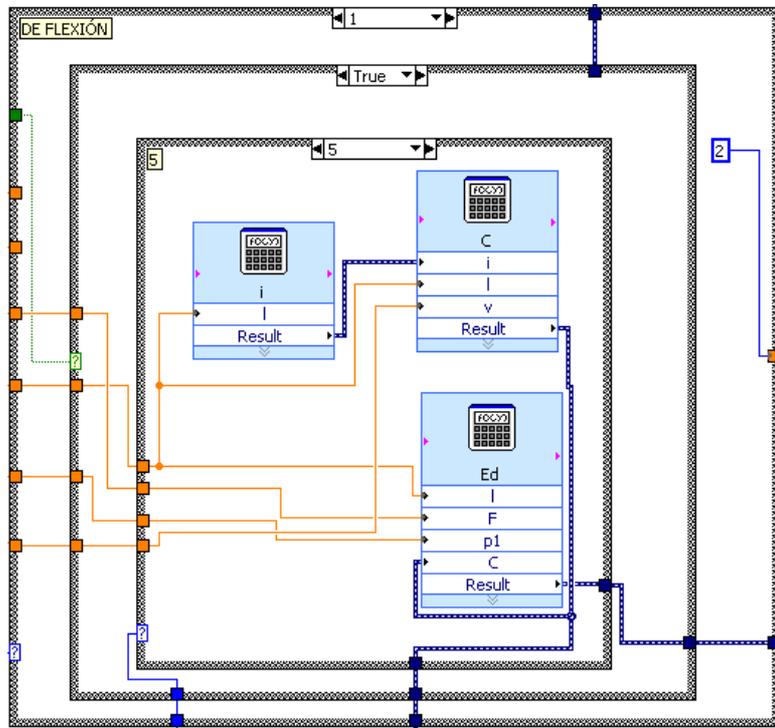


Figura a3. Casos para el cálculo de los diferentes módulos dinámicos.

#### 6.1.1.4. Llamada al subprograma que se encarga de realizar el informe

Al finalizar el flujo de cada iteración que se produce en el bucle principal, se va almacenando la información en formato de texto. Esto se realiza en un subprograma llamado “informe\_\*.vi”, en el cual se va guardando la información de cada medida. Cuando se termina el ensayo y se indica en el interfaz que se desea realizar el informe, con toda la información que se ha ido guardando, y abriéndose un nuevo interfaz para completar la que falta, se compone el informe y se guarda como un documento.

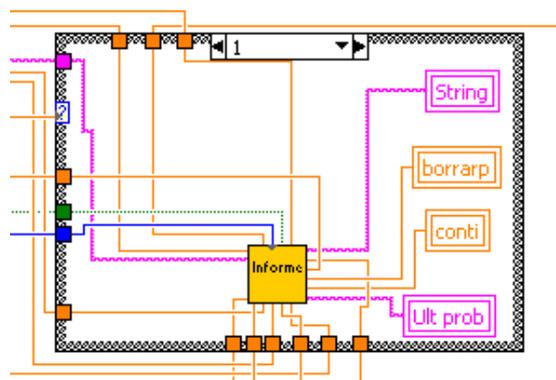


Figura a4. Llamada al subprograma que se encarga de guardar los datos medidos.

La parte del código explicada anteriormente, [Figura a4] se encuentra dentro de una estructura de casos, donde se accede cada vez que se realiza una medida, pero en caso de que se cancele la medida, o se pare el programa, el caso que se realiza no pasa por el subprograma y no guarda la información.

### **6.1.2. “osge\_\*.vi”**

En este subvi, se controla la comunicación con el osciloscopio digital, de forma que cada vez que se accede a él, el generador empieza a emitir la señal sinusoidal deseada y espera a la respuesta que lee el osciloscopio. Tanto la parte de generación de la señal, como la de su lectura, se realizan con el osciloscopio digital, que tiene dos canales de entrada y uno de salida.

Para la realización de este archivo, se partió del driver para labview que se nos facilitó en el cd de instalación del osciloscopio. Este únicamente disponía de la opción de recibir una señal y en nuestro caso, no funcionaba correctamente. Consistía en tres partes principales, la primera en la que se inicializaban las variables y se establecía la comunicación con el equipo, la segunda esperaba a que se activara el trigger de entrada para leer la señal y mostrarla, y la última cerraba la comunicación de forma correcta, para evitar posibles futuros errores. Antes de explicar el programa actual, se va a describir como funcionaba el programa del cual se partió.

En la primera parte, la de inicialización, primero se inicializaban los vectores donde se va a guardar la señal obtenida, tras esto, se pasaba a leer la información del osciloscopio digital. En esta zona del programa, se leen las variables iniciales utilizando las funciones en lenguaje c para la programación del osciloscopio. Para poder comunicarse con dicho equipo y poder pasarle las funciones, labview dispone de unos módulos llamados “Call Library Funcion Node”. Utilizando dichos módulos, e introduciendo la función de forma correcta en cada uno de ellos, el programa puede acceder y leer las diferentes variables que se precisan para configurar el sistema y asegurarse de que valores son los que se le pueden pasar.

Llegados a este punto del programa, se obtenían varios aspectos para el correcto funcionamiento del osciloscopio, como el tamaño del vector de lectura, el número de serie del osciloscopio, los diferentes valores de sensibilidad que pueden elegirse para variar la escala de lectura, el nivel en el que se activa el trigger para empezar a leer la señal, y algunas otras variables.

En la segunda parte, además de esperar a la señal que entraba por el canal elegido como disparador, se disponía de una estructura de eventos [Figura b1], la cual esperaba por

si se producía algún cambio en la configuración del osciloscopio mediante los controladores que puede editar el usuario, y comunicarlo de forma adecuada mediante los módulos de llamada a librerías.

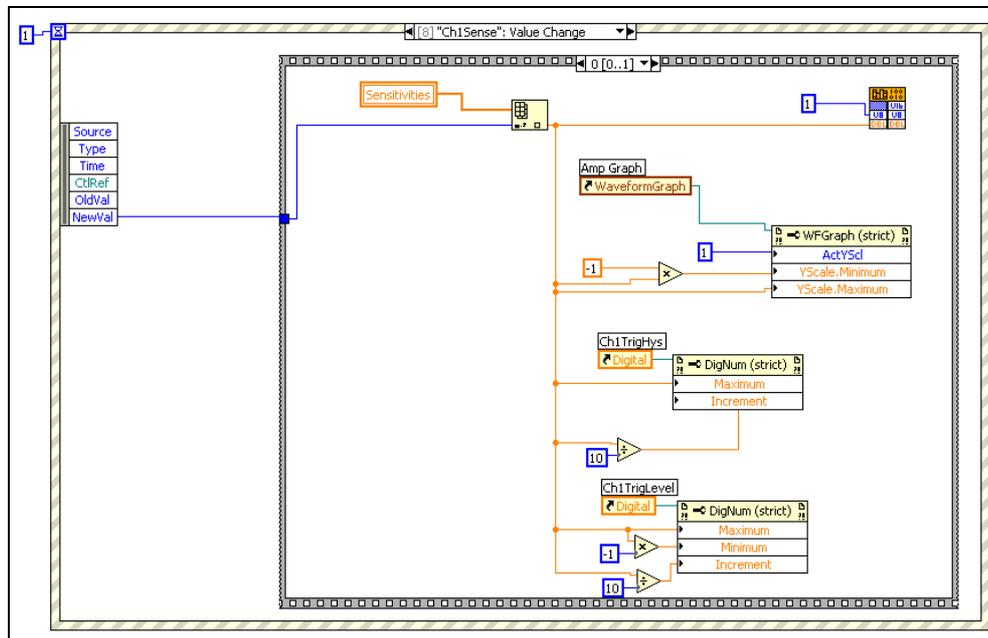


Figura b1. Caso para el cambio de la sensibilidad en el canal uno en la estructura de eventos.

Como se ha citado, en esta parte se esperaba a que se active el disparador y se empiece a leer la señal. Primero, cuando se activaba el interruptor para empezar a leer la señal, se entraba en un bucle en el que solo se salía si se activaba el disparador y se empezaba a leer. Se salía del bucle y se empezaba a leer la señal, guardándose en los vectores correspondientes y mostrándose en la gráfica visible en el interfaz. Una vez terminado el tiempo de lectura, limitado por el tamaño del vector donde se escribe la señal, y de la frecuencia de muestreo elegida, se pasaba a la última parte del programa.

En la tercera y última parte, simplemente se llamaba a la función para abandonar la comunicación con el osciloscopio y se apagaban los indicadores visuales que hay en la parte que observa el usuario.

En nuestro programa, se realizaron una serie de cambios para que funcionara de la forma que se deseaba. Como el programa ha pasado a ser un subvi llamado por otro programa principal, se ha añadido una variable que controla el flujo de la información y del funcionamiento del programa. De esta forma, mediante la variable “Control”, se lee que parte quiere el programa principal que se realice, porque la parte de inicialización y la parte de finalizar el programa solo han de realizarse una vez. Para ello, se añadieron unas estructuras de casos, que leen que valor tiene la variable de control y permiten o no realizar el código que tienen en su interior.

La primera parte que se ha explicado anteriormente, no funcionaba de forma correcta, y se empezó cambiando la inicialización de la sensibilidad para que empezara funcionando el programa que se nos había facilitado. Después, se observó que la mayoría de variables se leían del osciloscopio, pero en nuestro caso no era interesante, porque al estar pensado para centrarse en un tipo de señal en concreto, era más interesante pasarle al osciloscopio digital los valores que nos permitían leer de forma correcta la señal que el acelerómetro nos devolvía por las vibraciones. Por tanto, se ha cambiado y ahora principalmente se inicializa con los valores mas adecuados.

En la segunda parte es donde más se ha modificado el programa. Primeramente, se ha añadido toda la funcionalidad del generador de funciones, que el programa no poseía, ya que solo servía para leer una señal. De forma que al entrar en esta zona del código, se empieza a emitir la señal que configura con las variables que obtiene desde el programa principal.

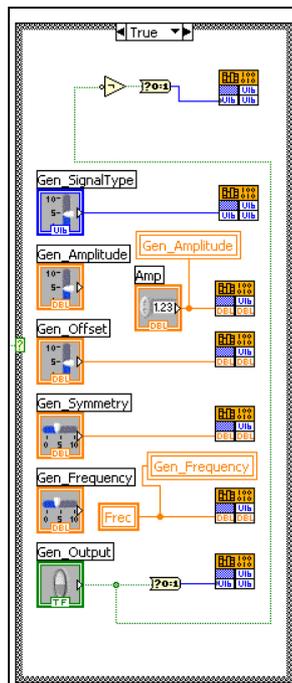


Figura b2. Comunicación con el osciloscopio para configurar el generador de funciones.

En la parte de entrada de la señal, se ha añadido la llamada a la función que genera la señal, en la zona donde se esperaba a que se disparara el trigger, para sincronizar los dos procesos. Una vez que se sale del bucle de espera, se ha cambiado la forma de obtener la señal para trabajar en vectores directamente. De esta forma, se nos permite realizar la FFT con los módulos disponibles y obtener la frecuencia que se lee, que es la que interesa para aplicar luego a las fórmulas del programa principal. Además, también se ha añadido otro gráfico para visualizar las diferentes frecuencias que se van obteniendo, y el usuario pueda ir visualizando como avanza el barrido que se le realiza a las diferentes probetas.

Otro aspecto que se ha añadido, sirve para controlar la sensibilidad de lectura de la señal, esto es necesario porque cuando no se esta cerca de alguno de los módulos buscados, la señal que se lee con el acelerómetro es muy baja y tiene mucho ruido. El osciloscopio, cuando lee esta señal, puede dar tanto cero, como el valor máximo de la sensibilidad que se le haya introducido, por esto, el control lo que realiza, es una división para que estos valores altos que en realidad no lo son, sean muy bajos, y no hagan que se realice un mal cálculo de cual es la frecuencia de mayor amplitud, que es lo que se busca en el programa. Y además, a menores frecuencias la vibrodina trasmite unos golpes a las probetas que varían mucho la amplitud, y también ha sido necesario añadir un control para variar la sensibilidad en estos casos.

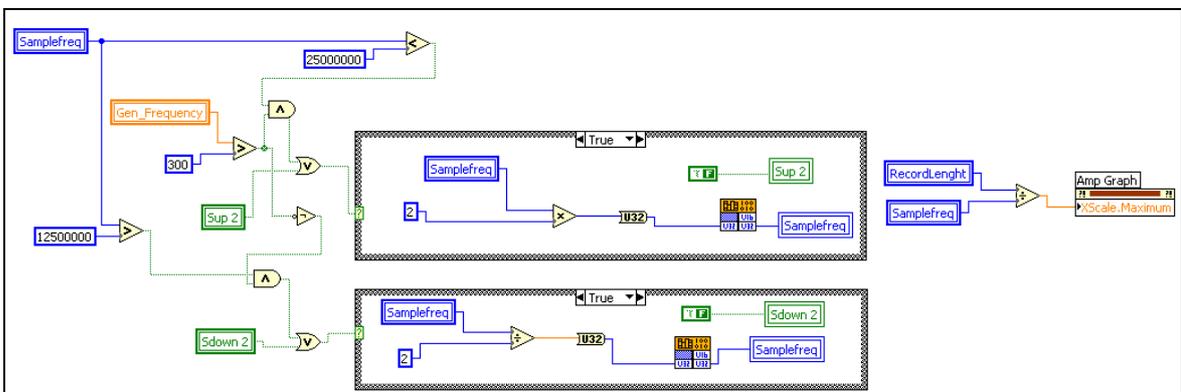


Figura b3. Código para el ajuste de sensibilidad.

En la última parte de este subprograma, solo se ha añadido el control del flujo para que se cierre la conexión con el osciloscopio solo una vez, cuando el programa principal le comunique que el usuario ya ha terminado de utilizarlo.

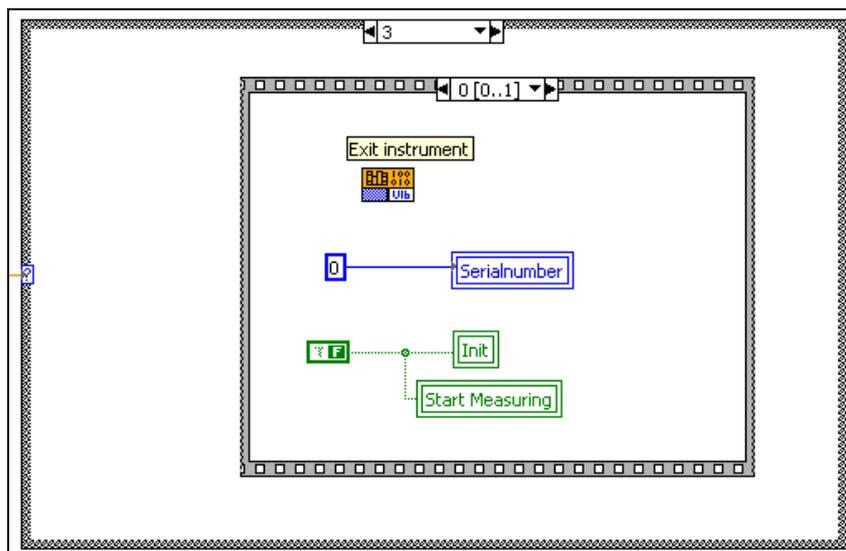


Figura b4. Cierre de conexión con osciloscopio digital.

### 6.1.3. "Intens.vi"

Este subprograma simplemente muestra un gráfico de intensidades para visualizar de forma más sencilla cuales han sido las frecuencias con mayor amplitud, para así, poder elegir en que zona ha de realizarse un barrido más preciso que el que se ha realizado previamente. De esta forma, se aumenta la precisión en el valor de frecuencia que se está buscando.

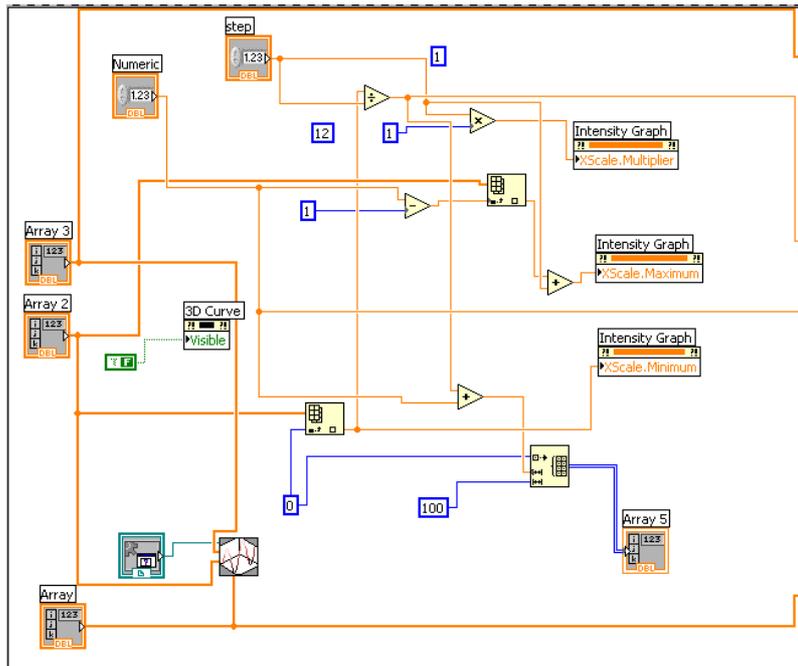


Figura c1. Primera parte de "intens.vi".

Básicamente recoge las variables que se le pasan por entrada al subvi y realiza una serie de cálculos para adecuar los valores de frecuencia y amplitud a la forma de mostrar los datos del gráfico de intensidades.

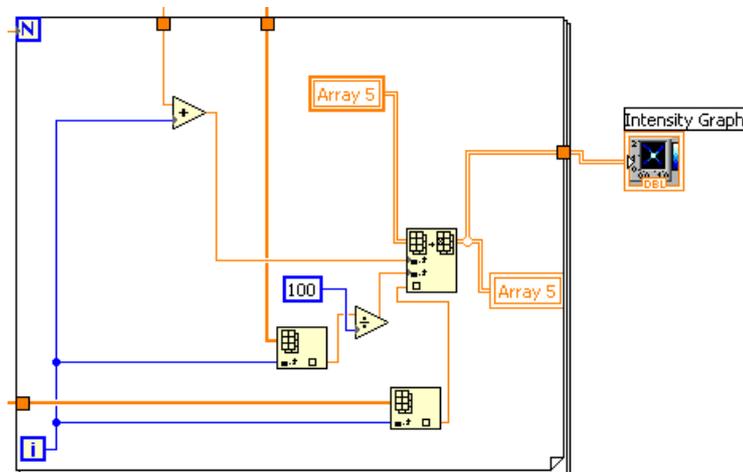


Figura c2. Segunda parte de "intens.vi".

En este gráfico se muestra por un lado, la frecuencia que generamos con el osciloscopio en cada punto del barrido, respecto a la frecuencia que nos ha devuelto el acelerómetro y se ha leído por la entrada del osciloscopio. En el punto correspondiente a las dos frecuencias, se observa en un color cada vez mas claro, el aumento en la amplitud y por lo tanto, los puntos más claros corresponderán a los posibles picos en el espectro de frecuencias.

#### **6.1.4. “Informe.vi”**

Una vez finalizadas las diferentes medidas en tantas probetas como se haya querido, ha de realizarse, si se quiere, el informe del ensayo. Para ello se ha creado este subprograma que se encarga precisamente de recopilar todos los datos necesarios y guardar un documento de texto con el informe.

El programa principal siempre entra a este subprograma cada vez que realiza una medida y calcula su módulo mediante las fórmulas que se han implementado. Pero no siempre ha de realizarse el informe, solo cuando se pulse el botón correspondiente, por ello, este programa también utiliza la variable “Control” para desviar el flujo del programa por los diferentes caminos posibles.

Así pues, a partir del control que se le pasa, el subprograma tiene tres diferentes caminos que realiza cada vez que se le llama. El primero, al inicializar la configuración y tomando la primera medida, en el cual se añade la primera medida y se guarda en un string que se le devuelve al programa principal para que vaya mostrando los valores que vamos tomando. El segundo se realiza las siguientes veces que se mida una probeta, y el único cambio que se produce es que en la parte de arriba del string de la probeta que se ha medido, al no ser ya la primera, se añade el string de las probetas medidas anteriormente. Y el último camino que se sigue, es el que si realiza el informe. A este camino se accede cuando el programa principal pasa el valor del control que corresponde con el indicador de que el usuario ha elegido realizar el informe mediante el botón correspondiente.

Tanto el camino de toma de datos de la primera medida, como el de las posteriores medidas, realiza una parte del código de forma similar. En esta zona del bloque de diagramas, se van leyendo los diferentes valores de cada información necesaria para cada probeta, y se van pasando del tipo en el que estaban a string. De esta forma, todos los valores pasan a ser de tipo texto, al igual que los nuevos valores añadidos, correspondientes a las cabeceras que nos dicen que es cada valor del informe. También hay que elegir las cabeceras correctas, debido a que no todas las probetas son de la misma forma, o no todas las medidas son de la misma frecuencia y módulo. Mediante pequeñas estructuras de casos, se selecciona si es una probeta cilíndrica, o prismática, o si se ha

medido el módulo longitudinal, de torsión o de flexión, y con ello se añaden las cabeceras que corresponden.

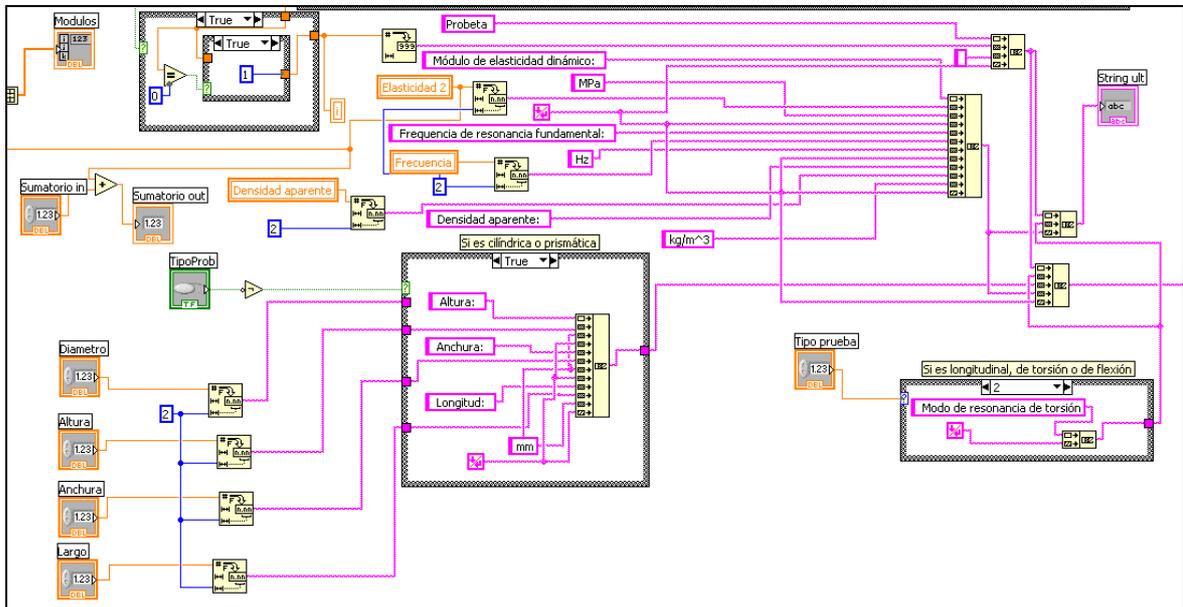


Figura d1. Concatenación de diferentes strings para cada probeta.

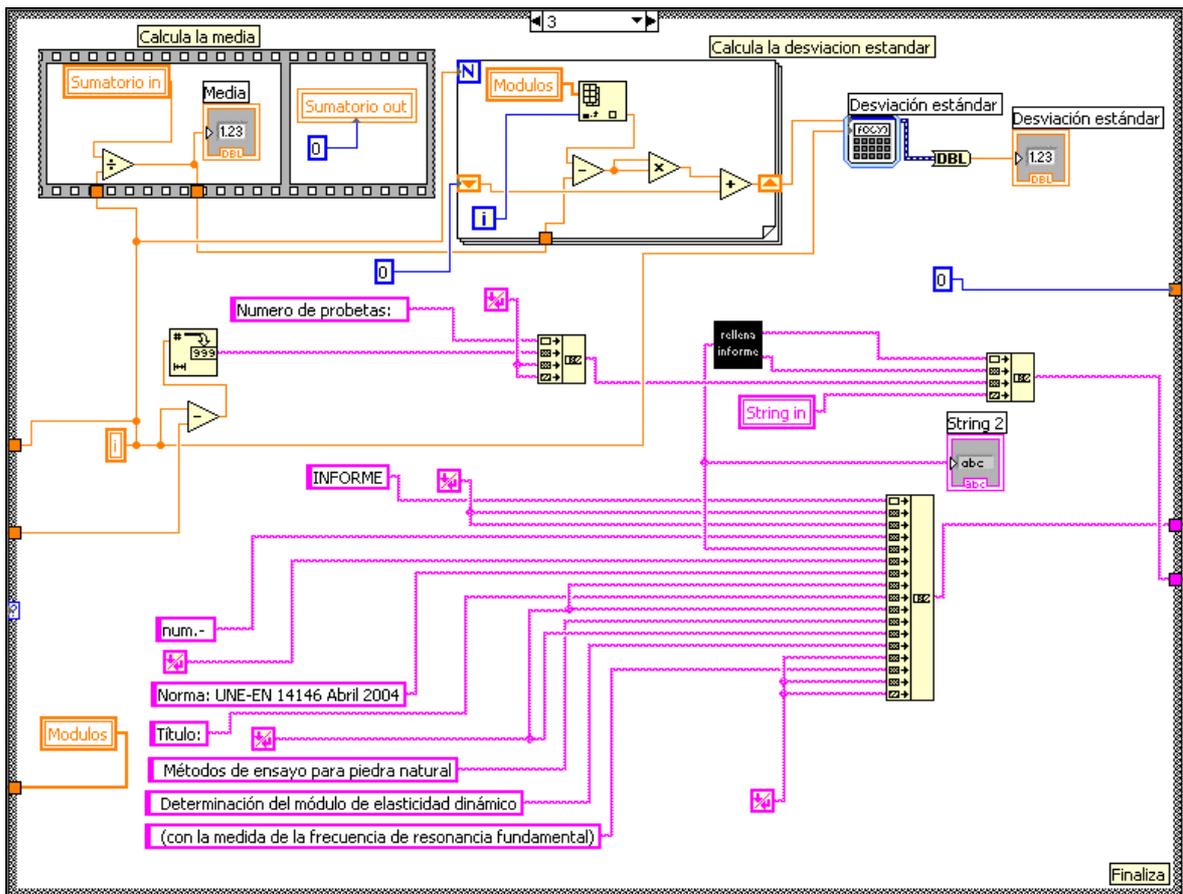


Figura d2. Montaje de la cabecera principal del informe.

Una vez se han convertido las variables a string, y se han elegido las cabeceras correspondientes al tipo de probeta y medida, se van concatenando los diferentes vectores de forma correcta, para que la matriz de vectores que se va formando tenga el orden deseado.

Por último, se va a explicar el caso en el que si se quiera realizar el informe. En este caso, se obtienen los puntos del informe que no se han rellenado con el subinforme de cada probeta. Como se observa [Figura d2], se rellena la cabecera principal del futuro archivo de texto llamando a otro subvi denominado “rellinf\_\*.vi”, el cual abre un dialogo con el usuario para que rellene los aspectos que no han podido ser completados con los datos ya disponibles y facilitar que se completen todos los puntos que pide la norma. También se calculan la media y la desviación estándar de todas las probetas que se recogen en el informe.

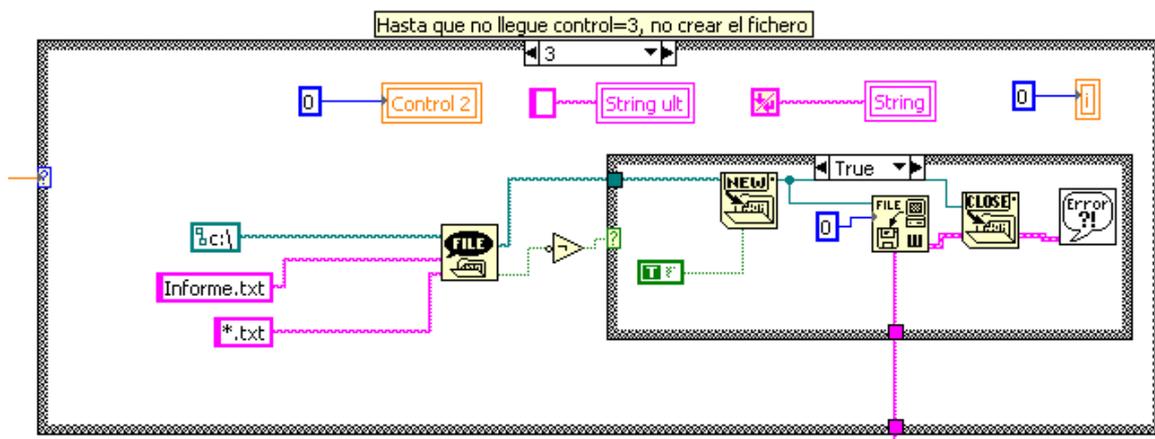


Figura d3. Creación del fichero en el que se guarda el informe.

Tras esto, se llega finalmente a la parte del código donde se pasa el string que se ha ido completando a un archivo de texto con el nombre que elija el usuario. En el caso por defecto o que el usuario cancele el dialogo, el archivo se llama “informe.txt”, en otro caso, tomara el valor que se le haya dado. Además, la matriz de vectores de tipo texto se borrará y el control volverá a su estado inicial, para poder realizar un nuevo informe sin necesidad de cerrar el programa principal.

### 6.1.5. “rellinf\_\*.vi”

Cuando se tiene toda la información disponible y se quiere realizar el informe, desde el subvi anterior se llama a este subproceso. Al acceder a el, se muestra su interfaz al usuario, la cual consta de una serie de vectores de tipo texto que han de ser rellenados. Estos vectores están relacionados con cada uno de los campos que requiere el informe que

se observa en la norma. En el cual está la información necesaria para realizar un correcto informe.

Este programa simplemente recoge la información de todos los vectores y los va concatenando para devolverle al programa anterior dos salidas estructuradas siguiendo como base el informe que se recoge en la norma UNE-EN 14146.

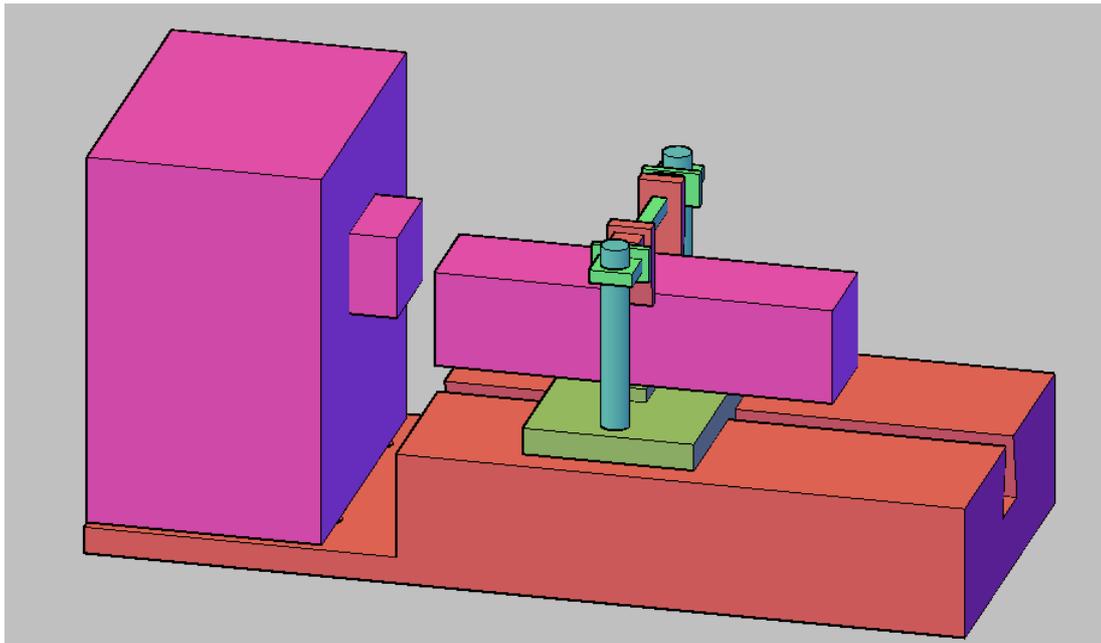
## **6.2. Soporte diseñado**

Se necesitaba que las probetas estuvieran bien sujetas y no se perdiera vibración emitida por la vibrodina, era necesario crear un soporte con dichas funcionalidades. Para ello, se realizó el diseño de dicho soporte, el cual se facilitó a una empresa que se encargaba de la fabricación asistida por computador, donde fue construido posteriormente. En este apartado, se explicará el diseño realizado con Autocad, el cual sirvió posteriormente para la construcción del soporte definitivo.

El soporte diseñado consta de ocho piezas distintas. Las cuales son, la base, una ampliación de la base para probetas más grandes, un soporte con apoyo rectangular para probetas prismáticas, un soporte de base rectangular para probetas cilíndricas, un soporte con base triangular para probetas prismáticas, un soporte con base triangular para probetas cilíndricas, una amarradera para probetas cilíndricas y un sistema de sujeción para probetas prismáticas.

### **6.2.1. Descripción general**

Las piezas que se han diseñado sirven en conjunto para realizar la medida del módulo de elasticidad dinámico, formando un sistema de sujeción para probetas de diversos tamaños. Para ello, se dispone de una base donde la vibrodina ha de permanecer estable y aislada. El resto de partes diseñadas, se podrán intercambiar para mejorar las posibilidades de sujeción que permitirá el soporte de las diferentes probetas de dimensiones y formas elegidas.



**Imagen 1. Muestra global del sistema**

En la imagen 1, se observa una aproximación a lo que posteriormente será el soporte final. En ella puede verse, la pieza base, un soporte y el sistema de sujeción de probetas prismáticas. En morado observamos una aproximación de donde iría la vibrodina y de una probeta. Los objetos morados no forman parte del diseño, pero muestran los elementos para los que se realiza el soporte.

El sistema de sujeción ha de tener la posibilidad de cerrarse o abrirse, y de subir y bajar, para agarrar la probeta de forma correcta. La vibrodina estará en contacto con la probeta para transmitirle su vibración. Por tanto, el soporte diseñado ha de estar lo más unido posible para que no altere la medida.

### **6.2.2. Base**

Esta pieza consta de una base de unos 400 mm unida a una extensión de 250 mm por 220 mm donde posteriormente se encontrará la vibrodina. Los orificios que se muestran, con un diámetro de 19.82 mm son para introducir varios tornillos que fijarán la vibrodina a la base. Estos entrarán unos 10 mm en la base. Además hay que tener en cuenta los 25.4 mm que mide la base de la vibrodina, en total 35.4 mm sin contar la cabeza del tornillo.

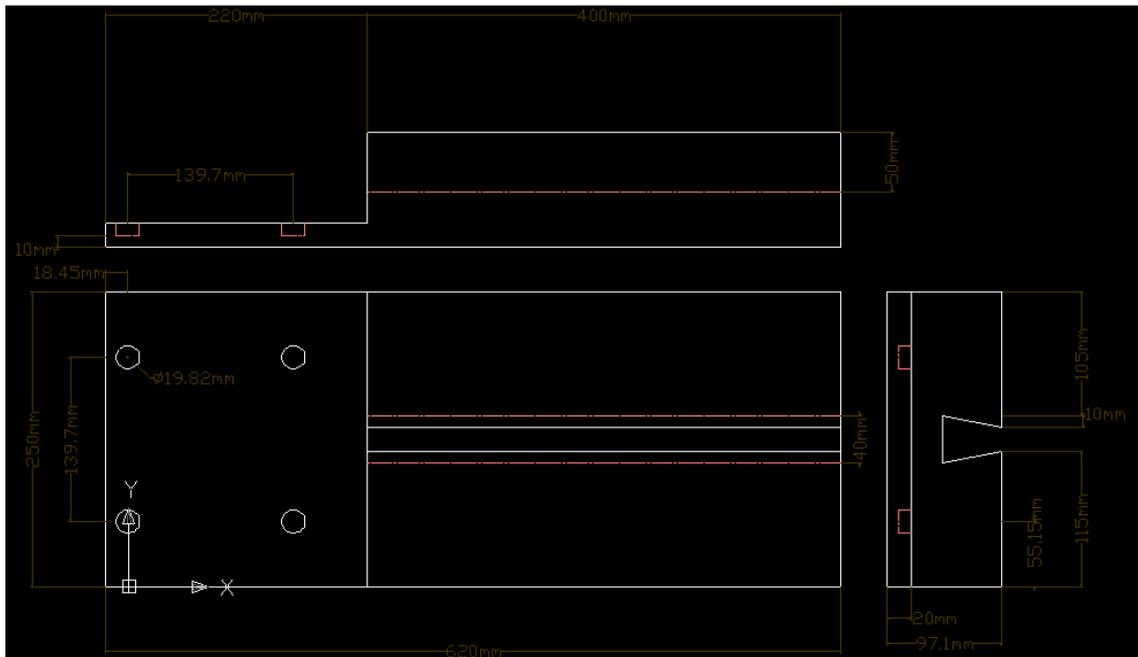


Figura 1. Base - base.dwg

En la parte de la base más alta, hay un carril por donde posteriormente se introducirán los soportes para las probetas. Como se puede observar en la figura 2. De esta forma, los soportes han de poder deslizarse por el carril de la base, moviéndose lo mínimo posible cuando no se desea su movimiento, y así evitar que afecte la vibración que pueda ocasionarse.

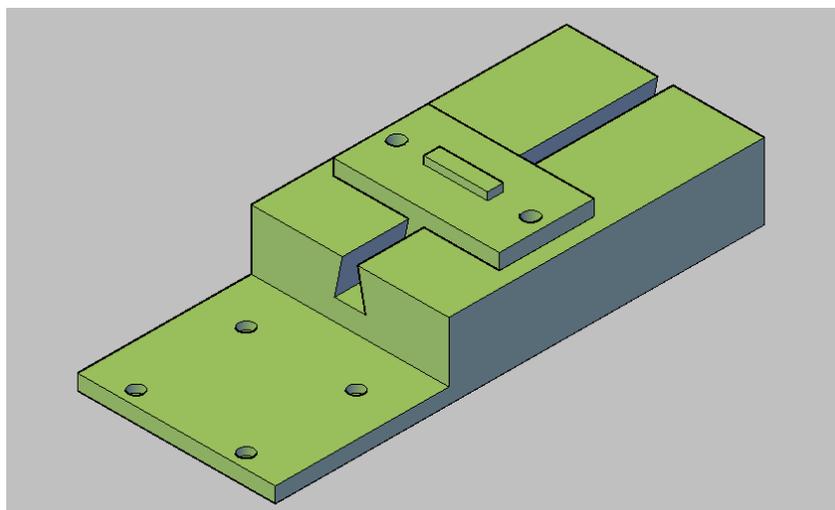


Figura 2. Base y soporte 3D – base3D.dwg

### 6.2.3. Ampliación de la base

La ampliación de la base es sencillamente un prisma que tiene cuatro orificios de diámetro 19.82 mm. Estos orificios son para introducir unos tornillos que partirán de la base de la vibrodina, pasaran por la ampliación y acabaran en los orificios de igual

diámetro de la base. Taparé una entrada del carril de la base, pero se pondrán los soportes por el otro lado. Su función es la de levantar la vibrodina y poder llegar a probetas más grandes.

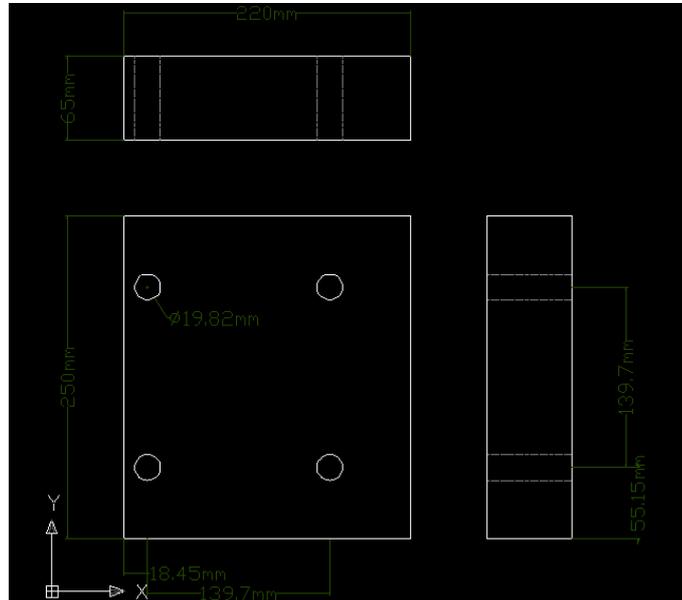


Figura 3. Ampliación de la base – amp.dwg

Se necesitarán cuatro tornillos de 35.4 mm más los 65 mm de la ampliación, que en total medirán 100,4 mm sin contar la cabeza del tornillo.

#### 6.2.4. Soporte con apoyo rectangular para probetas prismáticas

Este es uno de los soportes que se introducirán por el carril de la base. En la parte inferior tiene una forma igual que la del carril, para introducirlo por él. La parte de arriba consta de dos orificios de 15 mm de profundidad y de radio 20 mm donde luego se encajará el sistema de amarre que más tarde se explicará.

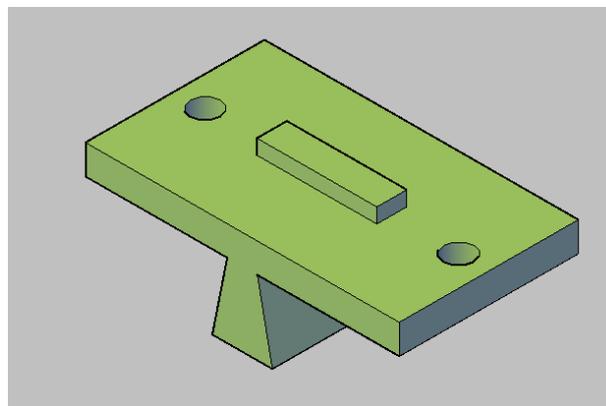


Figura 4. Soporte con apoyo rectangular 3D – priscu3D.dwg

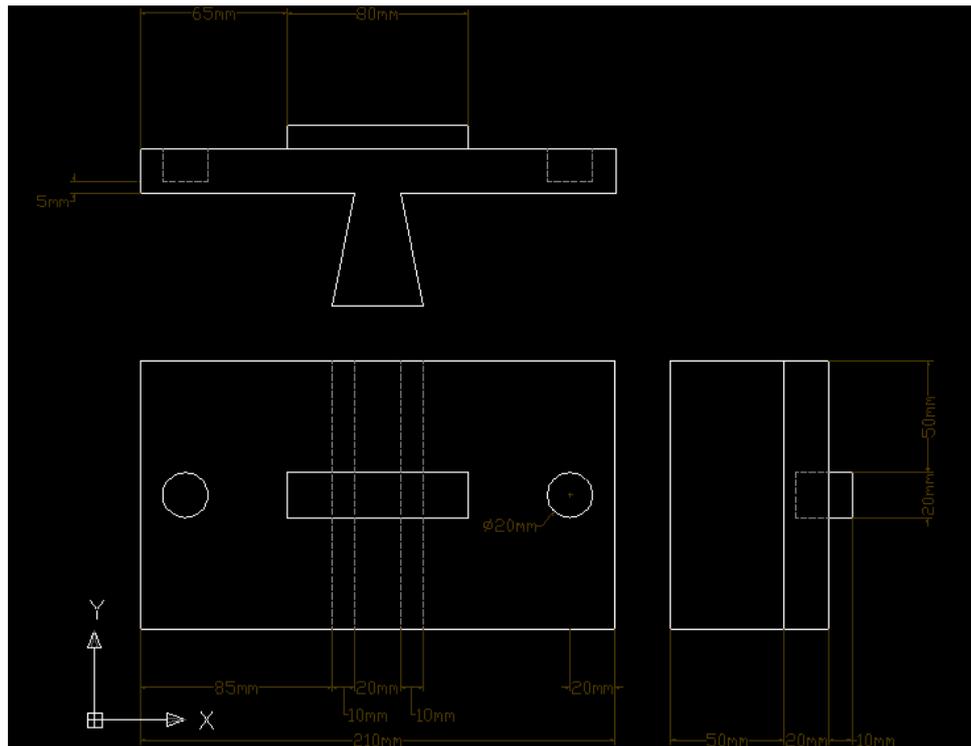


Figura 5. Soporte con apoyo rectangular – priscu.dwg

En la parte central hay una elevación de forma rectangular donde se apoyará la probeta prismática. En la figura 4 se puede observar como quedaría esta pieza.

### 6.2.5. Soporte con apoyo rectangular para probetas cilíndricas

Este soporte es igual que el anterior, solo que en lugar de juntarse con el sistema de sujeción para probetas prismáticas, formará una sola pieza con el amarre circular para las probetas cilíndricas. De forma que los orificios para el sistema de sujeción se cambiarían por la mejor forma de unir este soporte con el sistema que se decida para rodear la pieza cilíndrica.

### 6.2.6. Soporte con apoyo triangular para probetas prismáticas

En este caso, el soporte es muy parecido al que tiene el apoyo rectangular, pero la probeta solo se apoya en una línea. Tiene los orificios para los tornillos del sistema de sujeción de probetas prismáticas y la figura para moverse por el carril de la base. Pero cambia la elevación central, pasando a ser de la forma que se observa en la figura 7.

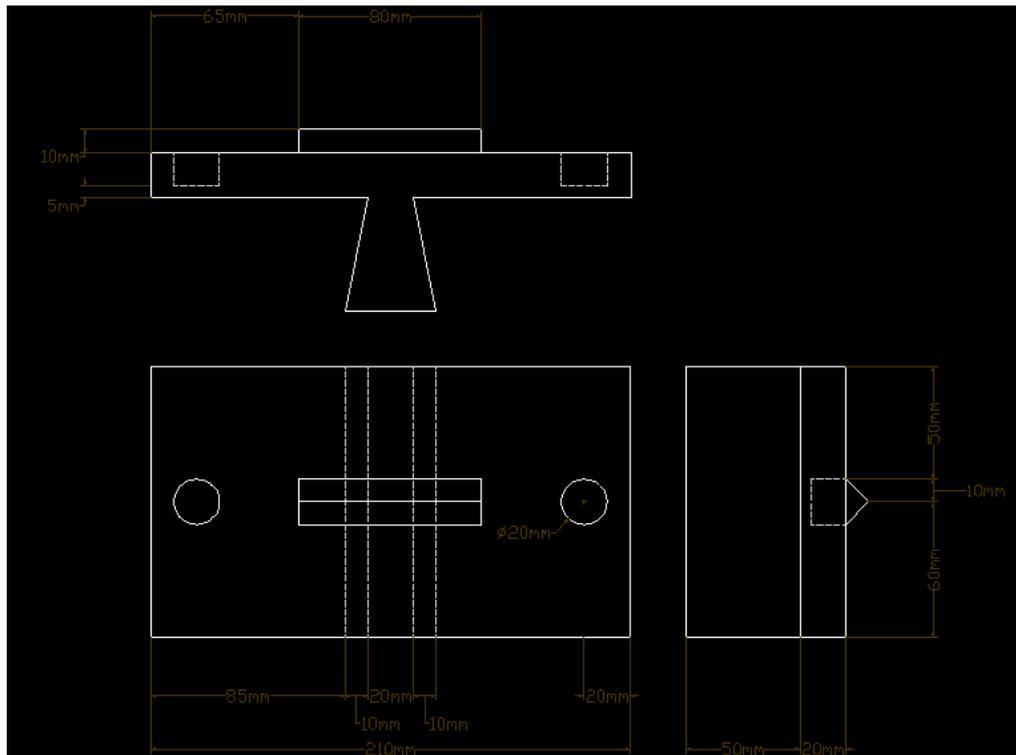


Figura 6. Soporte con apoyo triangular – cilcu.dwg

Se necesitan dos piezas para que la probeta se apoye en dos soportes, uno al principio y otro al final.

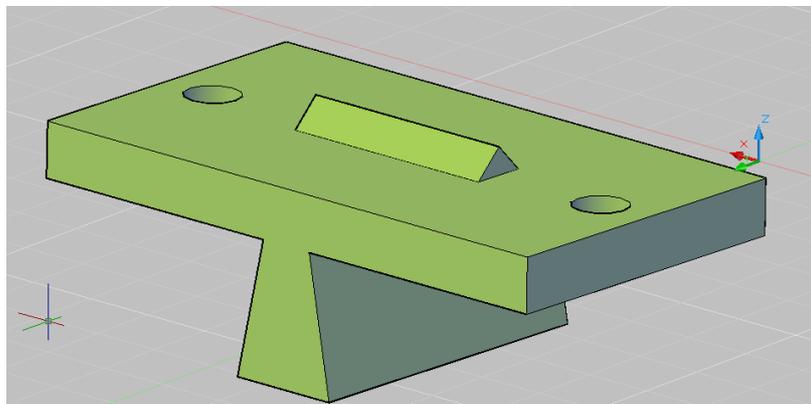


Figura 7. Soporte con apoyo triangular 3D – cilcu3D.dwg

### 6.2.7. Soporte con apoyo triangular para probetas cilíndricas

Este soporte es igual que el anterior, solo que en lugar de juntarse con el sistema de sujeción para probetas prismáticas, formará una sola pieza con el amarre circular para las probetas cilíndricas. De forma que los orificios para el sistema de sujeción se cambiarían por la mejor forma de unir este soporte con el sistema que se decida para rodear la pieza cilíndrica.

### 6.2.8. Amarradera

La amarradera ha de servir para sujetar probetas cilíndricas de varios diámetros. El mínimo diámetro es de 75 mm, mientras que el máximo es de 200 mm de diámetro. Se pretende que la amarradera sujete la probeta en todo su contorno y se pueda ajustar para los distintos diámetros.

La amarradera estará sujeta a los soportes correspondientes de apoyo rectangular y triangular, necesitando dos para los dos soportes triangulares y una para el soporte rectangular.

### 6.2.9. Sistema de sujeción para probetas prismáticas

Esta es la pieza más complicada del diseño. Se trata de un sistema que sujetará las probetas prismáticas, pero al ser estas de diferentes tamaños, hay algunas partes de la pieza que han de ser móviles para que se pueda ajustar y sujetar bien la probeta deseada.

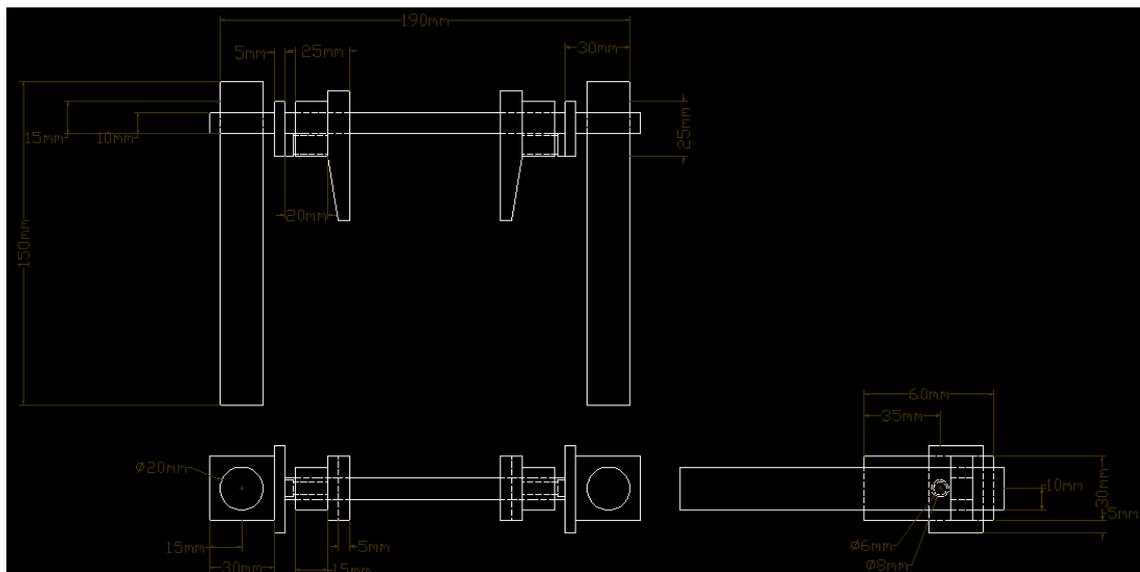


Figura 8. Sistema de sujeción para probetas prismáticas – sop.dwg

Como se observa, esta pieza tiene mayor complejidad que las anteriores. Consta de unos cilindros de 150 mm de largo que corresponden a los tornillos que estarán unidos a los soportes, como se ha explicado anteriormente. En el diseño falta añadir un dispositivo que permita al resto de pieza, moverse hacia arriba y hacia abajo desplazándose por los tornillos.

Esta es una de las partes móviles, la posibilidad de subir o bajar, las otras partes móviles tienen un funcionamiento parecido. Son dos mecanismos que se encuentran simétricamente en la pieza y su finalidad es moverse hacia dentro o hacia fuera, para así

sujetar la probeta por los lados. Son unas piezas de 25 mm por 60 mm que se desplazan gracias a un tornillo que tienen a un lado. El tornillo está sujeto a la pieza y se puede rodar para desplazar verticalmente este mecanismo.

De esta forma, el sistema de sujeción se puede mover hacia arriba o abajo, o cerrar y abrir sus soportes, y así poder sujetar la probeta prismática por tres de sus caras, dejando la cara inferior sujeta con el soporte al cual está unida la pieza y en el que se apoya la probeta.

En la figura 9 observamos el aspecto aproximado que tendría la pieza. Los objetos azules corresponden a los tornillos, hay cuatro en total. La parte verde es la pieza que se mueve por los tornillos grandes hacia abajo o hacia arriba. Las partes rojas, son los mecanismos simétricos que se cierran o se abren, ayudados por los tornillos que se observan y que están sujetos a la pieza verde.

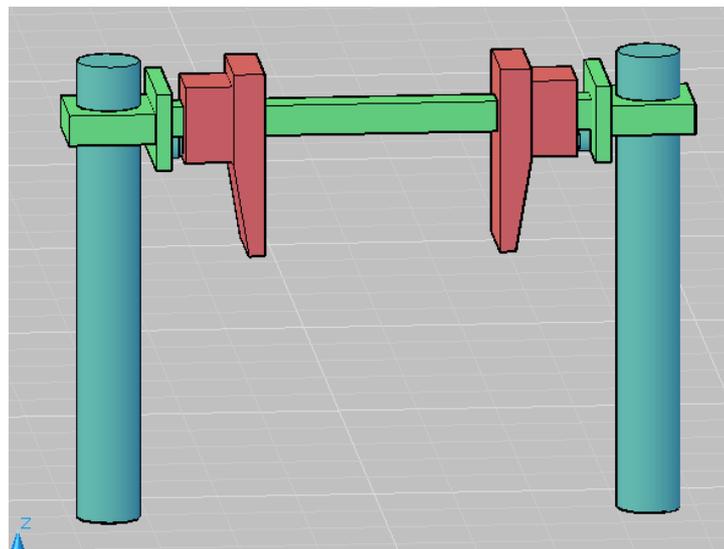


Figura 9. Sistema de sujeción móvil 3D – sop3D.dwg

La pieza debería de poder abrirse más de 70 mm de una parte roja a la otra y cerrarse hasta menos de 40 mm. Por otro lado, la parte verde entre las rojas, debería de poder subir hasta más de 75 mm y bajar hasta menos de 40mm.

La pieza como se ha dicho anteriormente, está unida mediante los tornillos grandes, que se ven de color azul (en la figura 9), a los soportes para probetas prismáticas. En la figura 10 se observa como sería el diseño al juntar las dos piezas. El soporte en blanco y el sistema de sujeción en verde.

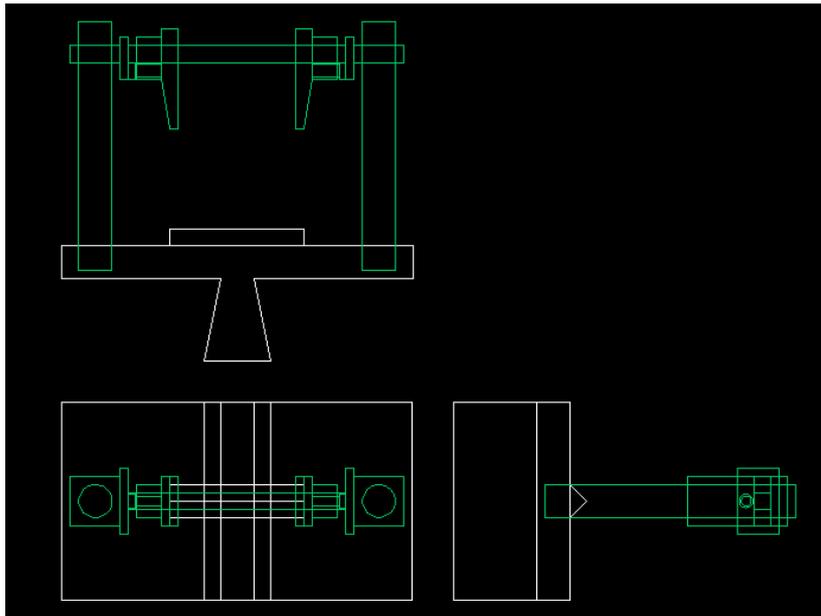


Figura 10. Sistema de sujecion y soporte – cilcusop.dwg

### 6.3. Soporte fabricado

El soporte diseñado, a la hora de ser fabricado, se varió notablemente con tal de mejorar su propósito y de reducir los costes de su producción. En este apartado vamos a ver los principales cambios que se han dado respecto al soporte realizado mediante Autocad.

Además de la forma final que tiene el soporte, el principal cambio ha sido añadir varios apoyos inferiores para varios tamaños. Quitando de esta forma la necesidad de la ampliación de la base y facilitando que se centre el punto donde la vibrodina golpea a la probeta y le transmite la vibración.

#### 6.3.1. Base

Para empezar, la base se cambió reduciendo el material necesario para su construcción. Se pasó de un bloque sólido, a una plancha inferior, donde estará la vibrodina, y una plancha superior, donde se introducen los soportes variables que sujetan a las diferentes probetas. La base se separa de la mesa de trabajo mediante cuatro patas con goma, para aislar el soporte de las vibraciones producidas por el refrigerador de la vibrodina.

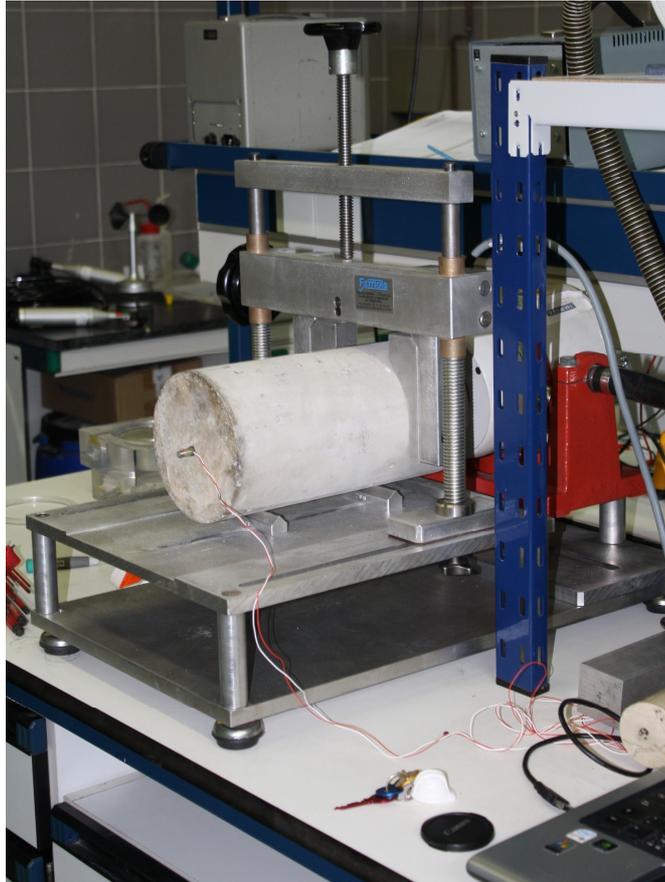


Figura 11. Soporte real construido para la sujeción de probetas con probeta cilíndrica de 200 mm de diámetro.

La vibrodina se eleva con cuatro pilares que están sujetos a una base propia que puede desplazarse hacia los lados. De esta forma se pueden alcanzar los bordes de las probetas para los diferentes tipos de medidas que se quieren poder realizar.

Cuatro pilares más levantan la placa donde se van poniendo los diferentes apoyos y el sistema de sujeción. Esta placa tiene unas ranuras por donde se pueden desplazar el resto de elementos, para centrar las probetas que tienen diferentes medidas.

### 6.3.2. Soportes

Los soportes han aumentado en número, en lugar de tener uno rectangular y dos triangulares por tipo de probeta, se tienen los tres para diferentes tamaños de probetas.

Estos soportes se cambian de forma rápida cada vez que se va a cambiar a otro tamaño y se coloca de la forma correspondiente. Los hay de varios tamaños, siendo para una probeta de 40 mm de alto el más grande y para una probeta de 200 mm de alto el más pequeño.

### 6.3.3. Sistema de sujeción

Esta pieza del soporte no ha variado mucho respecto al diseño original. Los mecanismos para su movimiento se han colocado en otras zonas más cómodas, pero se puede adecuar al tamaño de la probeta cerrándose para sujetarla mejor. Para el cambio de probetas prismáticas a probetas cilíndricas, se han creado unas extensiones con diversas formas que han de cambiarse según el tipo de probeta.

Con todo esto, se ha pasado de tener un sistema en el que se iba añadiendo a los diferentes soportes inferiores de las probetas, a uno que siempre está en la base. Aunque si hay que cambiar parte si se quiere medir probetas de tipos diferentes o de una gran diferencia de tamaño.

### 6.4. Ejemplo medido

En este apartado se va a realizar un informe sobre un ejemplo en el que se midió una serie de probetas y se siguió el procedimiento de medidas tal y como se pedía en el ensayo. Los componentes a medir eran los siguientes:

6 Probetas 300x50x50 mm de granito Negro Zimbabwe

1 patrón duraluminio 300x50x50 mm

Para realizar el ensayo que se nos pedía, utilizamos un sistema automatizado mediante Labview, el cual envía el barrido de frecuencias deseado al sistema de medida y luego recibe la señal del receptor y muestra la frecuencia de resonancia deseada.

El programa recoge mediante variables los datos necesarios para la medida. En este caso, por ser la frecuencia de resonancia, solo se necesitaba introducir la frecuencia inicial del barrido, la frecuencia final, la cantidad en que se va aumentando la frecuencia a cada paso y la amplitud de la señal.

Una vez generada la señal, mediante el osciloscopio Handyscope HS3 conectado a la computadora. Esta pasa al amplificador para adecuar la señal al vibrador, el cual hace el papel de emisor en el sistema y realiza la excitación continua. En el lado del receptor, un acelerómetro recoge las vibraciones producidas y la señal vuelve, pasando por un atenuador, al osciloscopio digital.

El ordenador lee la señal del osciloscopio, y detecta de todo el barrido, cual es la frecuencia que se corresponde a la de mayor magnitud y por tanto correspondiente a la frecuencia de resonancia fundamental.

Las diferentes probetas, se han ido introduciendo en un soporte de aluminio regulable para el cálculo de su frecuencia. Este soporte inmoviliza la probeta para que no se pierda la vibración producida en la parte del emisor y varíe la amplitud en que se pasa la señal a través de ellas.

Datos obtenidos:

Durante todo el ensayo, la temperatura fue la siguiente:

TEMPERATURA DURANTE EL ENSAYO (°C)	
máxima	24
mínima	21,2

Los datos obtenidos de la realización del ensayo son los siguientes:

		FRECUENCIA DE RESONANCIA (Hz)
NEGRO ZIMBABWE	01	8833,43
	02	8821,43
	03	8851,29
	04	8833,32
	05	8898,74
	06	8821,54
PATRÓN DURALUMINIO	PINACAL	8338,9
	PROPIO	8749,83

En ellos se puede observar que los valores para las probetas de granito negro zimbabwe de la frecuencia de resonancia longitudinal oscilan entre los 8821 Hz y los 8899 Hz. En cambio, los dos patrones de duraluminio tienen una frecuencia de resonancia menor.

Con las diversas medidas a las probetas, se obtuvo el módulo elástico longitudinal de cada probeta. En el caso de los duraluminios, los resultados fueron los siguientes:

Ed <sub>L</sub> (Mpa)	74738,9	76621,0
Coefficiente de Poisson	0,18	0,180
Factor de corrección	1,000737	1,000682203

Las probetas de granito dieron los siguientes resultados:

Ed <sub>L</sub> (Mpa)	86500,5	87278,6	88101,3	87648,9	89222,1	87617,9
Coefficiente de Poisson	0,17	0,341	0,408	0,214	0,432	0,359
Factor de corrección	1,00068	1,00271	1,00387	1,00107	1,00421	1,00294

## 7. CONCLUSIONES

Con el sistema anterior de medida se realizaba el ensayo siguiendo la norma de una forma similar, pero el tiempo que se dedicaba a cada probeta era bastante elevado. Además, el sistema de soporte no era lo bastante repetible para cada medida, debido a que por las vibraciones introducidas en las probetas producían un movimiento que alejaba el punto de contacto y no se obtenía un valor real.

El nuevo sistema realizado en este proyecto es más rápido, permitiendo realizar mas aproximaciones al valor real que se esta buscando. Su automatismo permite que el experimentador pueda realizar otros propósitos mientras el sistema realiza el barrido que busca la mayor frecuencia para el cálculo del módulo de cada caso.

Por otro lado, el soporte se ha mejorado para facilitar la sujeción de los diferentes tipos de probetas. En el proceso de su obtención, se ha visto que cuando se diseña un prototipo, hay que tener muchos aspectos en cuenta, y que algunos factores que limitan hacen que se pierda en precisión. No obstante, el soporte final conseguido ha sido el más próximo a lo deseado respetando las limitaciones que el mundo real impone.

Como conclusión por tanto, podemos decir que los objetivos principales que se buscaban se han cumplido, el sistema se ha automatizado para una mayor comodidad en el cálculo de los módulos deseados, teniendo un soporte que permite flexibilidad para cada uno de las formas de colocar las probetas. Obteniendo un soporte real y mejorando el objetivo de tener simplemente su diseño. El interfaz permite medir la frecuencia de resonancia y calcula los módulos, tal y como se buscaba. Y por último, se han añadido una serie de mejoras en la configuración y varias gráficas centradas en la correcta visualización de todo el procedimiento del cual consiste el ensayo.

## 8. REFERENCIAS

- [1] Hoffmann, Christoph M. : *Geometric and solid modeling* : An introduction; San Mateo, California : Morgan Kaufmann, cop. 1989
- [2] Norma: *UNE-EN 14146*
- [3] <http://www.ni.com/products/esa/>
- [4] <http://www.tiepie.com>
- [5] Tiepie Engineering, *Programmer's Manual*, Tiepie DLL's
- [6] Patricia Martínez - Marcelo Azuaga: *Medición del módulo de elasticidad de Young*; Laboratorio IV - Dpto. de Física - UBA 1997

## 9. APÉNDICE

### 9.1. Anexo 1. Manual de usuario

El programa Ed\_def obtiene los diferentes módulos de elasticidad dinámicos que se obtienen siguiendo la norma UNE-EN 14146. Para realizar estos ensayos mediante el programa, es necesario disponer de los siguientes elementos:

- Osciloscopio Handyscope hs3
- Vibrador de la serie v400
- Amplificador pa500/1000L-ce
- Acondicionador de señal
- Acelerómetro
- Soporte para probetas

Para empezar se va a explicar el correcto montaje de los elementos anteriores y posteriormente se pasará a mostrar el uso adecuado del interfaz del programa y en que consisten los diferentes aspectos que se encuentran en él.

#### **-Montaje de los componentes**

Primero, es necesario tener instalado en el ordenador que se quiera utilizar el Labview 7.1 o posterior, para poder abrir los archivos necesarios para el ensayo. A este computador, se conecta el osciloscopio digital y se cerciora que se encuentren los drivers necesarios que requiere el programa. Entre ellos el “hs3.dll”.

Posteriormente, se conectará el amplificador del equipo vibrador al canal de salida del osciloscopio. El amplificador ha de cambiarse a voltaje. Esto se realiza pulsando el botón “control” y cuando este preparado, pulsando el boton “select” hasta que el led luminoso esté en voltaje. A partir de este punto, se puede regular la amplitud mediante la rueda que controla la ganancia. Se prefiere regular la ganancia mediante dicha rueda, y dejar la amplitud del programa a 1, para así al mover la rueda de ganancia que aumente de unidad en unidad.

La vibrodina se coloca en el soporte, y se conecta según la norma en el punto deseado. Al otro lado de la probeta, y también en la posición que indica la norma, se coloca el acelerómetro que medirá las variaciones de posición de la superficie medida. El acelerómetro se conecta al atenuador, para mejorar la señal obtenida, y este equipo se conecta al canal uno del osciloscopio digital.

## - Interfaz de usuario

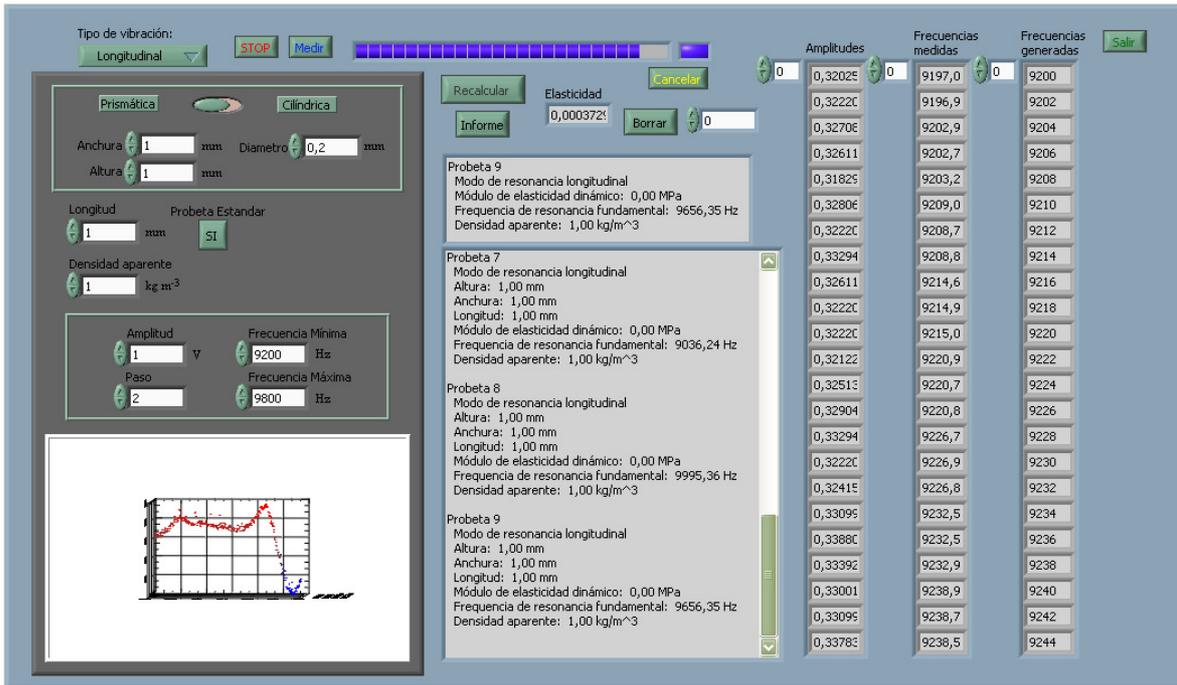


Imagen z1. Interfaz principal – Ed\_def\_\*.vi

Una vez se tienen todos los elementos conectados, se abre el programa principal, el cual a su vez, abrirá el programa que controla el osciloscopio. Este subprograma que abre, se conectará con el hs3 para comprobar que se comunica de forma correcta. Si esto no ocurre así, el programa se detendrá. En el programa principal, se tienen tres partes principales.

En la parte izquierda, se observan los diferentes indicadores para definir las variables que se van a utilizar en el cálculo del módulo, así como los controles que indican que ensayo se esta realizando en cada caso. También, se encuentra una gráfica 3D donde tras cada medida, se puede observar la correcta elección del mayor valor de la amplitud.

Tras elegir el tipo de vibración que se quiere medir en el próximo barrido de frecuencias que se va a realizar, mediante la lista de opciones correspondiente, ha de pasarse a definir la probeta de la cual disponemos. Para comenzar se selecciona si la probeta es prismática o cilíndrica, y entonces se podrán editar o la anchura y la altura, para prismática, o el diámetro, para cilíndrica, poniendo sus valores en mm. Después, se puede pulsar el botón de probeta estándar, para así poder realizar la medida con desconocimiento de algunas de las características, al tratarse de una probeta estándar con las fórmulas simplificadas.

Una vez introducidos los datos de la probeta, necesarios para el cálculo del módulo, se pasa a introducir el barrido en frecuencias que se quiere realizar. La amplitud, como se

ha citado antes, es mejor dejarla a 1 V, aunque permite introducir hasta 12 V que es el límite permisible con el osciloscopio digital. La frecuencia mínima ha de ser introducida antes que la frecuencia máxima, ya que esta última no permite que se introduzca un valor menor que el del límite inferior del barrido. Las frecuencias pueden ir desde 1 Hz hasta 10000 Hz. Y la variable Paso, es la que indica de cuando son los diferentes saltos que se van dando desde una frecuencia hasta otra.

En la parte central se muestra información sobre la probeta que se acaba de medir, así como la de las demás que se han ido midiendo y que posteriormente se van a introducir en el informe.

En la parte derecha del interfaz se observan tres arrays donde aparecen los resultados obtenidos de la última medida realizada. En el primer array aparecen las amplitudes medidas, en el segundo aparecen las frecuencias que se han obtenido mediante el osciloscopio y el último son las frecuencias que se han generado desde el programa.

Una vez vistas las variables y los indicadores del interfaz, las cuales el usuario podrá modificar y posteriormente ver que valores obtiene. Vamos a explicar cuales son las diferentes opciones que permiten realizar los diferentes botones que tiene el programa.

El botón principal, que realiza el propósito del programa, el cual es el ensayo a la probeta que se encuentra colocada en el soporte, es el que se encarga de medir. El botón  conduce el flujo del programa hacia la parte que se encarga de realizar la medida. La barra que se encuentra a su lado, empezará a llenarse, dependiendo de los intervalos que se le hayan introducido. Las medidas puede ir observándose en el programa “osge\_\*.vi”, el cual se explicará mas adelante.

Hay ocasiones en la que por algún error, no se han introducido correctamente los valores para el cálculo del módulo deseado, y la medida ha llevado bastante tiempo de llevarse a cabo. Para estos casos, se dispone del botón , donde utilizando la frecuencia obtenida anteriormente, se vuelve a calcular el módulo sin necesidad de volver a realizar la medida.

En el caso de que a mitad del barrido se desee parar por algún motivo, y que esa medida no se añada, se tiene el botón , el cual cancela el proceso de medida sin guardar ningún dato, y se puede volver a realizar otra medida.

Para borrar alguna de las probetas que se han introducido a la matriz que posteriormente se guardará en el informe, se utiliza el botón . Al lado de este botón, hay una variable donde ha de introducirse el número de probeta que se desea borrar y

después darle al botón. Esto hará que desaparezcan los datos guardados de dicha probeta y no se tengan en cuenta para el informe final.

Con el botón **Informe** se abre la interfaz que ha de rellenarse para completar los datos del informe, y que más tarde se explicará. Y completando esos pasos se realizará el informe, y se borrarán las medidas realizadas hasta ese punto para tomar nuevas para otro informe.

En caso de algún problema no deseado, se ha introducido en el interfaz un botón de emergencia para parar el programa. Este botón es el **STOP**, el cual detiene el programa y lo cierra, perdiendo todos los datos, pero deteniendo todo el proceso para evitar cualquier peligro.

Por último tenemos el botón **Salir**, que se utiliza para cerrar el programa de forma correcta una vez acabada su utilización. Este botón hace que se cierre la conexión con el osciloscopio y cierra el programa.

### - Control del osciloscopio

Al abrir el programa, además del programa principal, también se abre otro interfaz donde se puede visualizar la señal que va obteniendo el osciloscopio digital. Mientras el programa va realizando el barrido que se le ha configurado y la barra de progreso va avanzando. Cambiando a este interfaz se puede comprobar que el sensor esta leyendo de forma correcta o que la ganancia que le hemos dado al amplificador no satura la señal obtenida.

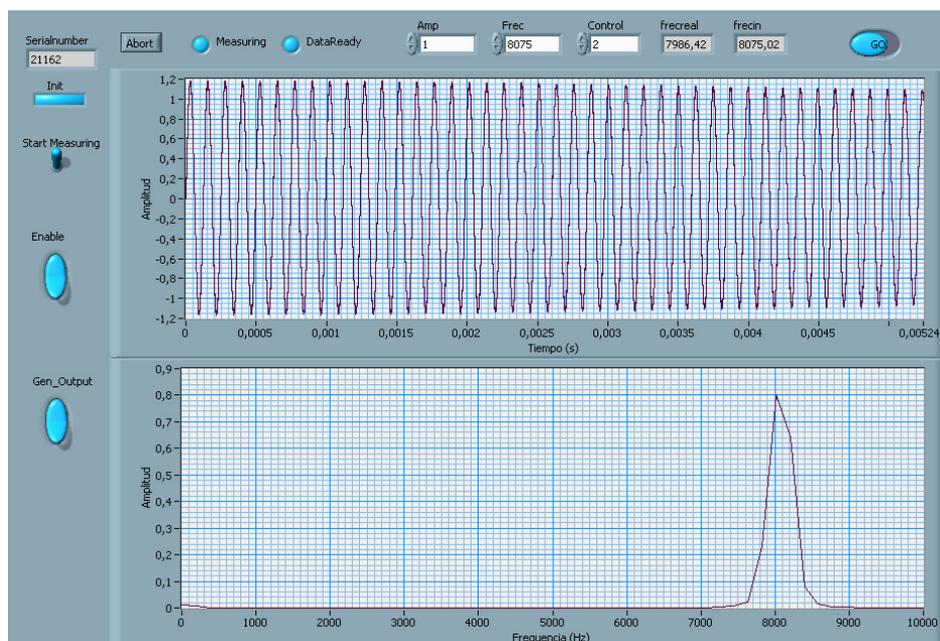


Imagen z2. Control del osciloscopio – osge\_\*.vi

En este interfaz, tenemos la posibilidad de parar la emisión de la señal sinusoidal generada (“Gen\_Output”), así como la de parar la medida que se esta tomando, mediante el botón de desplazamiento “go”. Los valores de configuración pueden cambiarse, pero se aconseja no hacerlo debido a que la configuración existente es la que se ha deducido más adecuada a base de realizar diversas medidas. Además, el programa esta pensado para que una vez se haya elegido el barrido e introducido los datos necesarios para el informe, se pulse el botón para medir y esto ocurra de forma correcta sin necesidad de configurar nada más.

En la parte de arriba se observa una gráfica con la señal de entrada en el canal uno del osciloscopio, esta señal puede verse con mucho ruido cuando el barrido se encuentra en unas frecuencias bastante alejadas de alguna de las frecuencias de resonancia de los módulos característicos. En la parte de abajo tenemos otra gráfica que muestra la transformada de Fourier de la señal de entrada, mostrando los picos en las frecuencias que se observan en el espectro de frecuencias.

Las diferentes variables que se muestran corresponden a la amplitud, la frecuencia a la que se esta emitiendo, la variable de control del programa, y dos resultados de diferentes formas de medir la frecuencia mediante los módulos disponibles en Labview. Siendo “frecin” la más aproximada al resultado que se busca.

### - Grafico de intensidades

Cuando se realiza un barrido mediante el programa y el proceso finaliza, la barra de estado llega a su final y se enciende un indicador led. Además, se abre una nueva interfaz en la que simplemente se muestra un gráfico de intensidades que ayuda a visualizar como ha sido el resultado y en que puntos hay picos con mayor amplitud. Este gráfico complementa el gráfico 3D del interfaz principal.

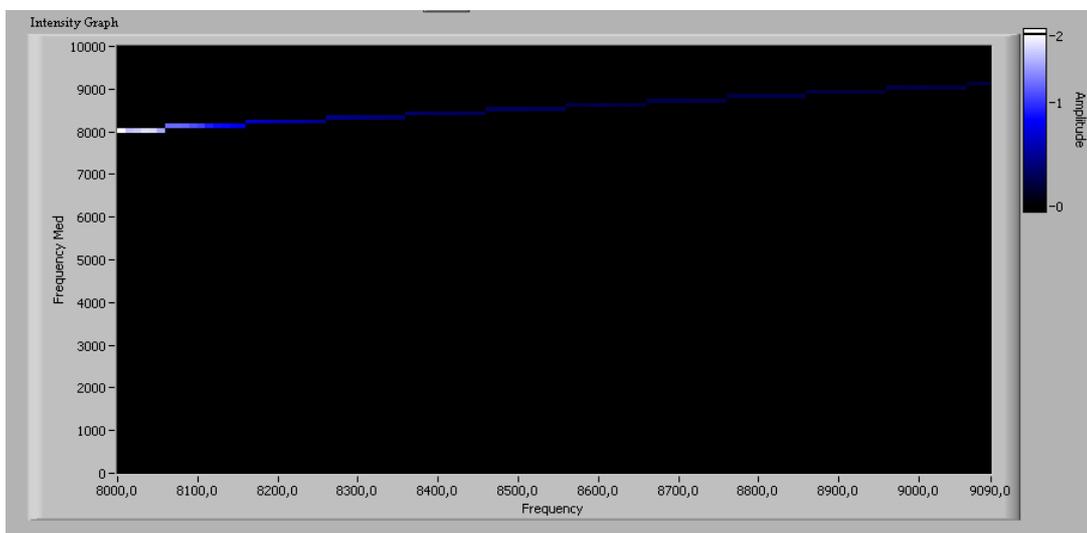


Imagen z3. Grafico de intensidades – Intens.vi

## - Informe final

Al pulsar el botón para realizar el informe en el interfaz principal, se abre una ventana donde aparecen cada uno de los campos que aun no disponen de información y que es necesario cumplimentar por parte del usuario que realiza el ensayo. No obstante, los campos pueden dejarse sin completar aunque el informe no estaría completo tal y como dice la norma.

Numero	Fecha de realización del ensayo
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nombre del laboratorio de ensayo	Temperatura al realizar el ensayo
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Dirección del laboratorio de ensayo	Estado de las probetas
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Dirección donde se llevó a cabo el ensayo	Acabado superficial de las probetas
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nombre del cliente	Dirección de cualquier plano de asintropía existente
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Dirección del cliente	Orientación del eje longitudinal de las probetas con respecto a los planos de anistropía
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nombre del suministrador	Nombre petrográfico de la piedra
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nombre de la persona u organización que llevó a cabo el muestreo	Nombre comercial de la piedra
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fecha de entrada de las muestras o de las probetas	País de extracción de la piedra
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Fecha de preparación de las probetas	Región de extracción de la piedra
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Imagen z4. Dialogo para completar el informe – rellinf\_\*.vi

## 9.2. Anexo 2. Plantilla de informe

### INFORME

num.-

Norma: UNE-EN 14146 Abril 2004

Título:

Métodos de ensayo para piedra natural  
Determinación del módulo de elasticidad dinámico  
(con la medida de la frecuencia de resonancia fundamental)

Nombre y dirección del laboratorio de ensayo:

Dirección donde se llevó a cabo el ensayo:

Nombre del Cliente:

Dirección del Cliente:

Nombre petrográfico de la piedra:

Nombre comercial de la piedra:

País de extracción:

Región de extracción:

Nombre de suministración:

Dirección del plano de anisotropía:

Nombre de la persona u organización que llevó a cabo el ensayo:

Acabado superficial de las probetas:

Fecha de entrada de las muestras o de las probetas:

Fecha de preparación de las probetas:

Fecha de preparación de realización del ensayo:

Orientación del eje longitudinal de las probetas con respecto a los planos de anisotropía:

Estado de las probetas:

Temperatura en el momento de realizar el ensayo: ° C

Numero de probetas: 0

16/05/2010