

**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**  
**Escuela Politécnica Superior**

**Grado en Ingeniería en Tecnologías de  
Telecomunicación**



**Trabajo Fin de Grado**

**Automatización de procesos de calibración de ensayos  
de inmunidad conducida**

Adrián Eslava Espejo

2022



**UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**  
Escuela Politécnica Superior

**Grado en Ingeniería en Tecnologías de  
Telecomunicación**

**Trabajo Fin de Grado**

**Automatización de procesos de calibración de ensayos  
de inmunidad conducida.**

Autor: D. Adrián Eslava Espejo

Tutor: D. F. Javier Dongil Moreno

Cotutor: D. Luciano Boquete Vázquez

**Tribunal:**

Presidente: Dña. Cristina Losada Gutiérrez

Vocal 1º: D. Felipe Espinosa Zapata

Vocal 2º: D. F. Javier Dongil Moreno

Calificación: .....

Fecha: .....



## Agradecimientos,

A mis padres, Isaías y M<sup>a</sup> del Mar, es inefable el apoyo, facilidades y compromiso que siempre me habéis cedido para poder crecer como persona y desarrollarme en los estudios que tanto he deseado. Incondicionalmente en lo bueno, aún más presentes en los momentos malos, siempre habéis conseguido que encuentre el sentido al seguido del punto del fin.

A toda mi familia, por los ánimos y consejos cedidos que tanto me han ayudado en todo el recorrido.

A mis amigos de Guadalajara, Cuenca y Valencia, la nobleza que nos une siempre me ha ayudado a desconectar y a seguir adelante, os llevo en mi corazón, sois todos un ejemplo a seguir en la vida. En especial, a José, tu lealtad como amigo, ha demostrado estar por encima de todas las cosas, gracias por ser el confidente que una persona como yo necesita cuando requiere que le escuchen.

A mi amigo y compañero Pablo, por haberme acompañado en el trayecto de esta experiencia, por ser el complemento necesario para poder llegar a ser lo que somos, por tus consejos y ánimos que has sabido aportar en los momentos precisos. Siempre estás ahí, mano a mano.

A todos los trabajadores y compañeros del Centro de Alta Tecnología y Homologación de la Universidad de Alcalá por cederme su sabiduría y experiencia a la hora de formarme, en especial a Javier Dongil, mi tutor, tu constancia, compromiso, implicación y apoyo hacen de ti un gran profesional.



## Índice general:

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	3
1.1. Introducción a la compatibilidad electromagnética .....	7
1.2. Ensayos de compatibilidad electromagnética –EMC .....	8
1.2.1. Ensayo de ondas de choque .....	11
1.3. Descripción del entorno de trabajo y de los equipos vinculados al proceso de calibración .....	14
1.3.1. Generador de ondas combinadas <i>COMPACT NX7</i> .....	15
1.3.2. Red de acoplo/desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	18
1.3.3. Osciloscopio RTO 1022 .....	21
1.4. Procedimientos de calibración .....	26
1.5. Configuración de calibración de equipos de ondas de choque .....	27
2. APLICACIÓN SOFTWARE .....	30
2.1. Presentación del software .....	30
2.2. Descripción de la interfaz de usuario .....	33
2.2.1. Fase 1 (menú principal): “Búsqueda, conexión de dispositivos y selección del tipo de calibración” .....	33
2.2.2. Fase 2 (menús secundarios): “Programación, lanzamiento de la calibración, recogida de datos y volcado en Excel” .....	38
2.3. Descripción programática .....	44
2.3.1. Fase 1 (menú principal): “Búsqueda, conexión de dispositivos y selección del tipo de calibración en el diagrama de bloques” .....	47
2.3.2. Fase 2 (menús secundarios): “Programación, lanzamiento de la calibración, recogida de datos y volcado de estos a Excel en el diagrama de bloques” .....	53
3. CONCLUSIONES .....	65
4. TRABAJOS FUTUROS .....	66
5. ANEXOS .....	67
5.1. Pliego de condiciones .....	67

5.2.	Planificación de la interfaz de usuario .....	68
5.2.1.	Calibración del generador <i>COMPACT NX7</i> .....	68
5.2.2.	Calibración de la red de acoplo/desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	70
5.2.3.	Calibración del módulo 50121 de la red de acoplo/desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	73
5.3.	Presupuesto .....	74
5.4.	Manual de usuario.....	75
5.4.1.	Premisas previas a la instalación .....	75
5.4.2.	Indicaciones y ajustes previos a tener en cuenta en la calibración.....	76
5.4.3.	INSTALACIÓN DEL SOFTWARE “Calibración de ondas de choque” .....	77
6.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	95

## Índice de figuras:

Figura 1: Modelo simplificado de compatibilidad electromagnética.....	8
Figura 2: Familias de ensayo de EMC.....	9
Figura 3: Representación gráfica de los límites para los puertos de alimentación CA de equipos multimedia. (Extraído de UNE-EN 55032:2016).....	10
Figura 4: Pulso normalizado (1,2/50 $\mu$ s) de tensión de ondas de choque en circuito abierto. Polarización positiva. ....	11
Figura 5: Pulso normalizado (8/20 $\mu$ s) de corriente de ondas de choque en cortocircuito. Polarización positiva. ....	12
Figura 6: Ejemplo de red de acoplo / desacoplo propuesto en la UNE-EN 61000-4-5 para un acoplamiento capacitivo en líneas de alimentación. Introducido por el autor: camino de propagación de la onda de choque y camino de propagación de la tensión residual de la onda de choque. ....	13
Figura 7: Entorno de ensayo del laboratorio de EMC del CATECHOM para el ensayo de ondas de choque. ....	15
Figura 8: Vista general del generador de ondas combinadas <i>COMPACT NX7</i> .....	16
Figura 9: Panel frontal del generador de ondas combinadas <i>COMPACT NX7</i> .....	16
Figura 10: Red de acoplo/desacoplo interna del generador <i>COMPACT NX7</i> . (a) Acoplamiento línea – neutro. (b) Acoplamiento línea – tierra y neutro – tierra.....	17
Figura 11: Panel trasero del generador <i>COMPACT NX7</i> . ....	17
Figura 12: Panel frontal de la red de acoplo/desacoplo <i>COUPLING NX7</i> . ....	19
Figura 13: Redes de acoplo para equipos de entorno ferroviario. ....	20
Figura 14: Panel trasero de la red de acoplo/desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	21
Figura 15: Vista general del osciloscopio R&S RTO 1022.....	22
Figura 16: Panel frontal del osciloscopio R&S RTO 1022.....	22
Figura 17: Posibilidad de configuración de sondas de medición utilizadas en el <i>setup</i> .....	23
Figura 18: Posibilidad de configuración de los parámetros de las sondas utilizadas para que el osciloscopio lo tenga en cuenta. ....	24
Figura 19: Tipos de medidas ofrecidas por el osciloscopio R&S RTO 1022. ....	24
Figura 20: Posibilidades de configuración de los niveles de referencia para cada una de las medidas ofrecidas por el osciloscopio R&S RTO 1022. ....	25
Figura 21: Posibilidades de configuración del <i>trigger</i> ofrecidas por el osciloscopio R&S RTO 1022. ....	26
Figura 22: Diagrama de bloques. Representación de la disposición de conexión entre equipos. ....	28

Figura 23: Configuración de calibración de equipos de ondas de choque. ....	28
Figura 24: Vista general de la sonda <i>MD 210 HIGH VOLTAGE DIFFERENTIAL PROBE</i> . ....	29
Figura 25: Vista general de la sonda <i>PEARSON CURRENT MONITOR 411</i> . ....	29
Figura 26: Flujo del proceso del programa. Se muestra la navegación entre los diferentes menús mediante las acciones que llevan a cabo los tránsitos provocados por acciones (pulsaciones de botones por parte del usuario, alcances de <i>time-out</i> , etc.) representadas por flechas. ....	32
Figura 27: Pestaña “Buscar dispositivos” del menú principal. Se muestra el aspecto que adquiere por defecto al abrir la aplicación. ....	34
Figura 28: Pestaña “Buscar dispositivos” del menú principal. Se muestra el aspecto que adquiere cuando no se encuentra la CDN <i>COUPLING NX7</i> por parte del ordenador. Aparece un panel informativo con ayuda específica en caso de que se quiera conectar la CDN <i>COUPLING NX7</i> y el ordenador no la haya reconocido. ....	35
Figura 29: Pestaña “Conectar Dispositivos” del menú principal. Se muestra el aspecto que adquiere en caso de haber encontrado el <i>COMPACT NX7</i> , la CDN <i>COUPLING NX7</i> y el osciloscopio con efecto de haberse conectado de manera remota al ordenador por parte del usuario (haberse seleccionado el botón “Compact NX + CDN NX” y haberse pulsado el botón de “CONCETAR / DESCONECTAR”), mostrando el estado remoto mediante el <i>led</i> indicativo. ....	37
Figura 30: Pestaña “Tipo de calibración” del menú principal. Se muestra el aspecto que adquiere cuando en la pestaña “Seleccionar dispositivos” el usuario ha conectado de manera remota el <i>COMPACT NX7</i> , la CDN <i>COUPLING NX7</i> y el osciloscopio. ....	38
Figura 31: Menú destinado a la calibración interna de ondas de choque del generador de ondas combinadas compacto <i>COMPACT NX7</i> . ....	39
Figura 32: Menú destinado a la calibración interna de ondas de choque de la CDN <i>COUPLING NX7</i> . ....	39
Figura 33: Menú destinado a la calibración interna de ondas de choque del módulo 50121 interno de la CDN <i>COUPLING NX7</i> . ....	40
Figura 34: Panel informativo disponible en el menú de calibración interna de la CDN <i>COUPLING NX7</i> . ....	41
Figura 35: Elementos del menú de calibración interna de la CDN <i>COUPLING NX7</i> destinado a la elección del archivo Excel donde se desean guardar los archivos. Se muestra el aspecto previo a dicha elección por parte del usuario. (Botón informativo en color anaranjado). ....	41
Figura 36: Elementos del menú de calibración interna de la CDN <i>COUPLING NX7</i> destinado a la elección del archivo Excel donde se desean guardar los archivos. Se muestra el aspecto una vez elegida la ruta. ....	41
Figura 37: Ejemplo de habilitación automática de la botonería. ....	42
Figura 38: Ejemplo de la función de autoselección. ....	43
Figura 39: Ejemplo de ventana emergente que muestra información al usuario comentando en qué acoplo debe conectar la sonda y en qué modo antes de continuar con el ensayo. ....	44

Figura 40: Ventana emergente lanzada al finalizar completamente el proceso de calibración ofreciendo al usuario la posibilidad de continuar en el menú actual o volver al menú principal. ....	44
Figura 41: Ejemplo de ventana emergente con información de errores cuando algo no se ha ejecutado de manera correcta. ....	44
Figura 42: Representación del diagrama de flujo de datos seguido por el código desarrollado referente al menú principal. En verde se representa la llamada al <i>SubVI</i> correspondiente a la opción elegida del usuario, pudiendo ser “menú_surge_generador_3.vi”, “menú_surge_CDN_v0.5.vi” o “menú_surge_CDN_50121_03”.....	45
Figura 43: Representación del diagrama de flujo de datos seguido por el código desarrollado referente a los menús secundarios desarrollados en los <i>SubVI</i> “menú_surge_generador_3.vi”, “menú_surge_CDN_v0.5.vi” o “menú_surge_CDN_50121_03”. ....	46
Figura 44: <i>Case Structure</i> destinado a la gestión de las pestañas que componen el menú principal, en el interior de cada uno de los “cases” se encuentra el código desarrollado que gestiona cada una de ellas. ...	47
Figura 45: Variable tipo <i>String</i> que recoge los estados del indicador del panel frontal. ....	47
Figura 46: Ejemplo de cómo se realizan las funciones descritas.....	48
Figura 47: Ejemplo de uso de la estructura “ <i>flat sequence</i> ” del menú principal. ....	48
Figura 48: Código destinado a la búsqueda de COM en el ordenador. ....	49
Figura 49: Código para asociar la dirección de los dispositivos encontrados a cada puerto de lectura del ordenador.....	49
Figura 50: Código destinado a activar las variables booleanas indicativas de cada uno de los dispositivos para saber si se han encontrado o no. ....	49
Figura 51: Ejemplo de activación de variables booleanas mediante referencia de variables locales.....	50
Figura 52: Código destinado a dar visualización en el panel frontal al indicador informativo con ayuda específica cuando no se ha encontrado la CDN COUPLING NX7.....	50
Figura 53: Ejemplo de código que devuelve al estado inicial las variables determinadas.....	50
Figura 54: Ejemplo de código destinado a la conexión remota de un dispositivo con el ordenador. ....	51
Figura 55: Ejemplo de código destinado a desconectar de modo remoto un dispositivo devolviéndolo a modo local. ....	52
Figura 56: Código destinado para mostrar los botones que abren cada uno de los menús secundarios en la pestaña “Tipo calibración” del menú principal. ....	52
Figura 57: Código destinado a devolver a modo local el osciloscopio y a abrir el menú secundario destinado a la calibración interna para ondas de choque del generador compacto <i>COMPACT NX7</i> . ....	53
Figura 58: Código destinado a la lectura de la ubicación final del archivo Excel elegido por el usuario...54	54
Figura 59: Código destinado a la habilitación y deshabilitación del botón “INICIAR TEST” del panel frontal. ....	54

Figura 60: Ejemplo de creación de un array de tipo booleano. ....	55
Figura 61: Ejemplo de creación de un array de tipo String. ....	55
Figura 62: Ejemplo de código destinado al lanzamiento de una ventana emergente.....	56
Figura 63: Código destinado al lanzamiento de la ventana emergente final.....	56
Figura 64: SubVI “CDN_osci_excel_1.vi”, desarrollado para preparar el Excel donde se guardarán los resultados.....	57
Figura 65: Composición interna del bloque “CDN_osci_excel_1.vi”.....	57
Figura 66: SubVI “ConfigOsciloscopio_v1.vi” destinado a la configuración de la ventana de adquisición. Este bloque se encuentra en el interior del SubVI “lanza_choque_cdn.vi”.....	60
Figura 67: Código destinado a la problemática surgida en los niveles de referencia de medida del parámetro “Tiempo de frente”.....	61
Figura 68: Bloque destinado a realizar la adquisición de la medida en el osciloscopio de referencia.....	61
Figura 69: Bloque destinado a la recogida de la medida tomada por el osciloscopio y volcado de esta al archivo de Excel correspondiente.....	63
Figura 70: Aspecto del documento Excel donde se guardan los resultados. Las hojas hacen referencia al parámetro de calibración, las columnas a los valores de pico de la onda de choque recogidos por el osciloscopio y las filas a los acoplamientos. ....	64
Figura 71: Pestaña de partida para la calibración del generador <i>COMPACT NX7</i> .....	68
Figura 72: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para los parámetros de calibración valor de pico, tiempo de frente y tiempo 50 % del generador <i>COMPACT NX7</i> .....	68
Figura 73: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración de la impedancia del generador <i>COMPACT NX7</i> . ....	69
Figura 74: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración sobreimpulso/subimpulso del generador <i>COMPACT NX7</i> .....	69
Figura 75: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de tensión residual del generador <i>COMPACT NX7</i> . ....	70
Figura 76: Pestaña de partida para la calibración de la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	70
Figura 77: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para los parámetros de calibración valor de pico, tiempo de frente y tiempo 50 % de la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	71
Figura 78: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración de la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	71
Figura 79: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración sobreimpulso/subimpulso de la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	72
Figura 80: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de tensión residual de la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> . ....	72

Figura 81: Pestaña de partida para la calibración del módulo 50121 de la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	73
Figura 82: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para los parámetros de calibración valor de pico, tiempo de frente y tiempo 50 % del módulo 50121 de la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	73
Figura 83: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración del módulo 50121 de la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> .....	74
Figura 84: Directorio con ubicación del instalador. ....	77
Figura 85: Ventana de inicio de proceso de instalación. ....	77
Figura 86: Ventana destinada a la elección del directorio destino de instalación.....	78
Figura 87: Sumario de instalación. ....	78
Figura 88: Estado del proceso de la instalación.....	79
Figura 89: Ventana mostrada al finalizar la instalación. ....	79
Figura 90: Ubicación del botón de <i>LabVIEW</i> “Run”.....	79
Figura 91: Botón de <i>LabVIEW</i> destinado a parar un proceso en ejecución. ....	80
Figura 92: Pestaña “Buscar Dispositivos” del menú principal. ....	80
Figura 93: Pestaña “Buscar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación de no haberse encontrado ningún dispositivo.....	81
Figura 94: Pestaña “Buscar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación de no haberse encontrado la CDN <i>COUPLING NX7</i> .....	82
Figura 95: Pestaña “Buscar Dispositivos” del menú principal. Se indica la siguiente pestaña que hay que pulsar. ....	82
Figura 96: Pestaña “Conectar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación haberse encontrado el <i>COMPACT NX7</i> , la CDN <i>COUPLING NX7</i> y el osciloscopio. ....	83
Figura 97: Pestaña “Conectar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación de haberse encontrado el <i>COMPACT NX7</i> , la CDN <i>COUPLING NX7</i> y el osciloscopio. Se indica cómo conectar estos dispositivos de manera remota al ordenador. ....	83
Figura 98: Pestaña “Conectar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación de haberse conectado de manera remota al ordenador el <i>COMPACT NX7</i> , la CDN <i>COUPLING NX7</i> y el osciloscopio. Se indica la ubicación de la siguiente pestaña que hay que pulsar para continuar con el proceso. ....	84
Figura 99: Pestaña “Tipo de Calibración” del menú principal. Aspecto requerido en la situación haberse conectado de manera remota el <i>COMPACT NX7</i> , la CDN <i>COUPLING NX7</i> y el osciloscopio. ....	84
Figura 100: Menú de calibración de ondas de choque para el generador <i>COMPACT NX7</i> . ....	85

Figura 101: Menú de calibración de ondas de choque para la red de acoplo y desacoplo <i>COUPLING NX7</i> . .....	86
Figura 102: Menú de calibración de ondas de choque para el módulo 50121 de la CDN <i>COUPLING NX7</i> . .....	86
Figura 103: Menú de calibración de ondas de choque para la CDN <i>COUPLING NX7</i> . Se muestra el aspecto una vez seleccionado la ubicación del Excel sin confirmar la ruta. ....	87
Figura 104: Menú destinado a la calibración interna de ondas de choque de la CDN <i>COUPLING NX7</i> ...	88
Figura 105: Panel informativo disponible en el menú de calibración interna de la CDN <i>COUPLING NX7</i> . .....	89
Figura 106: Elementos del menú de calibración interna de la CDN <i>COUPLING NX7</i> destinado a la elección del archivo Excel donde se desean guardar los archivos. Se muestra el aspecto previo a dicha elección por parte del usuario. (Botón informativo en color anaranjado). ....	89
Figura 107: Elementos del menú de calibración interna de la CDN <i>COUPLING NX7</i> destinado a la elección del archivo Excel donde se desean guardar los archivos. Se muestra el aspecto una vez elegida la ruta. ....	89
Figura 108: Ejemplo de habilitación automática de la botonería. ....	90
Figura 109: Ejemplo de la función de autoselección. ....	91
Figura 110: Ejemplo de ventana emergente que muestra información al usuario comentando en qué acoplo debe conectar la sonda y en qué modo antes de continuar con el ensayo. ....	92
Figura 111: Ventana emergente lanzada al finalizar completamente el proceso de calibración ofreciendo al usuario la posibilidad de continuar en el menú actual o volver al menú principal. ....	92
Figura 112: Ejemplo de ventana emergente con información de errores cuando algo no se ha ejecutado de manera correcta. ....	92
Figura 113: Ejemplo de ventana emergente que muestra información al usuario comentando en qué acoplo debe conectar la sonda y en qué modo antes de continuar con el ensayo. ....	93
Figura 114: Ejemplo de ventana emergente que muestra información al usuario con el estado de finalización del proceso. ....	93
Figura 115: Ejemplo de volcado de datos en Excel. En este caso se muestran los valores obtenidos en el lanzamiento de un ensayo de medida del parámetro “Valor de pico”, para tensiones de 4000 V y -4000 V por el acoplo N-PE en modo circuito abierto. ....	94

## Listado de acrónimos

A	Amperios
AC	Corriente alterna
CATECHOM	Centro de Alta Tecnología y Homologación
CDN	<i>Coupling / Decoupling Networks</i> – CDN. Red de acoplo / desacoplo
CE	Conformidad Europea
DC	Corriente continua
EMC	<i>Electromagnetic Compatibility</i>
EMI	<i>Electromagnetic Interferences</i> - Interferencias Electromagnéticas
ENAC	Entidad Nacional de Acreditación
ESE	Equipo sometido a ensayo
TFG	Trabajo de Fin de Grado
V	Voltios

## **RESUMEN**

El proyecto se enfoca en el desarrollo de una aplicación para automatizar el proceso de calibración del generador de impulsos compacto *COMPACT NX7*, que junto a la red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7* son empleados para realizar ensayos de inmunidad conducida en el laboratorio de ensayos de compatibilidad electromagnética del Centro de Alta Tecnología y Homologación -CATECHOM- de la Universidad de Alcalá.

A través de estos equipos se provocan perturbaciones eléctricas transitorias en forma de ondas de choque sobre equipos eléctricos y electrónicos.

Mediante la aplicación desarrollada, el usuario puede realizar la configuración de los parámetros de calibración necesarios, establecer la comunicación con los equipos que intervienen en este proceso y recoger los datos necesarios para, posteriormente, proceder a su tratamiento. Con todo ello, se consigue un proceso de calibración semi-autónomo que asegura un procedimiento más eficiente, debido a que el tiempo de calibración se reduce drásticamente respecto a su realización de manera manual, y, por el mismo motivo, más efectivo, ya que los errores del técnico de calibración son minimizados siendo prácticamente nulos.

Para este fin, la aplicación presenta una serie de funciones inteligentes basadas en el *know-how* adquirido en el desarrollo del proyecto que, además de guiar al técnico de calibración en el proceso, imposibilitan la selección de parámetros incorrectos, configuraciones de calibración innecesarias, etc.

## **ABSTRACT**

The project focuses on the development of an application to automate the calibration process of the Compact NX7 compact pulse generator, which together with the Coupling NX7 coupling/uncoupling network are used to carry out conducted immunity tests in the electromagnetic compatibility testing laboratory of the Centre for High Technology and Homologation -CATECHOM- in the University of Alcala.

These devices are used to induce transient electrical disturbances in the form of shock waves on electrical and electronic equipment.

By means of the application developed, the user can configure the necessary calibration parameters, communicate with the equipment involved in this process and collect the necessary data for further processing. With all this, a semi-autonomous calibration process is achieved that ensures a more efficient procedure, due to the fact that the calibration time is drastically reduced compared to manual calibration, and, for the same reason, more effective as the errors made by the calibration technician are minimized, being practically void.

To this end, the application presents a series of intelligent functions based on the know-how acquired in the development of the project which, in addition to guiding the calibration technician in the process, make it impossible to select incorrect parameters, unnecessary calibration configurations, etc.

## 1. INTRODUCCIÓN

Atendiendo a un punto de vista funcional, la necesidad de evitar problemas de interferencias electromagnéticas entre equipos convivientes en un mismo entorno hace nacer la creación de los ensayos de compatibilidad electromagnética (*ElectroMagnetic Compatibiliy - EMC*) a los que se someten a equipos eléctricos y electrónicos antes de su puesta en el mercado. Mediante la realización de estos ensayos se asegura que un equipo es capaz de funcionar sin que se vea afectado por otros equipos (ensayos de inmunidad) y que, a su vez, los niveles de interferencia que el equipo sometido a ensayo produce están acotados para hacer que el resto de equipos no se vean alterados por su operación (ensayos de emisión).

Desde un punto de vista regulatorio, a través de los ensayos de *EMC* se persigue la evaluación del cumplimiento de los requisitos esenciales de la Directiva Europea de *EMC* (2014/30/UE) y, más concretamente, de las normas armonizadas de esta Directiva que le sean de aplicación al equipo ensayado. Con ello, si estos requisitos se cumplen, se podrá realizar el marcado CE del equipo, permitiéndose su comercialización legal dentro del espacio europeo. Todos estos conceptos quedan descritos de manera más detallada en el apartado 1.2.

Son diversos los dispositivos y equipos que se utilizan en la realización de estos ensayos, y es por ello que para que se efectúen de una manera correcta se deben hacer calibraciones de una manera periódica.

La necesidad de la realización de calibraciones de los equipos que intervienen en los ensayos está íntimamente relacionada con la confiabilidad de los resultados de los ensayos que con ellos se realizan. En aras de conocer el estado de las magnitudes y parámetros que intervienen en el proceso de ensayo es imprescindible, por lo tanto, conocer la exactitud y la precisión de dichos parámetros a través de la calibración periódica.

Por otro lado, complementando esta necesidad de confiabilidad, ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) entidad designada por el Gobierno para operar en España como único Organismo Nacional de Acreditación, exige que los laboratorios que alcanzan la condición de acreditados, y el laboratorio de compatibilidad electromagnética del CATECHOM lo es, tengan los equipos que intervienen en los ensayos atendiendo a lo descrito en la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 y en el documento Criterios Generales de Acreditación, emitido por ENAC.

Todos estos aspectos relacionados con la calibración serán tratados en el apartado 1.4.

La calibración de los dispositivos que intervienen en los ensayos anteriormente citados actualmente es un trabajo largo y manual. Entre otros inconvenientes, esto provoca una alta necesidad de recursos humanos y la aparición de potenciales errores en el proceso.

Por ello, la propuesta del autor, conocedor del esfuerzo que supone este proceso, propone el desarrollo de una aplicación que lo automatice y presente de una manera más sencilla, intuitiva e inteligente las tareas que se llevan a cabo por el técnico de laboratorio. Con ello, se reducirá drásticamente el tiempo del proceso y se minimizarán los errores potenciales que se pueden cometer debidos al técnico (configuración de la medida, recopilación de resultados, etc.).

En el apartado 1.3 se describe de manera general el CATECHOM y de manera detallada los equipos específicos involucrados en los ensayos de inmunidad conducida que son objeto del presente TFG.

Para llevar a cabo el desarrollo de una aplicación de esta índole, donde se necesita establecer conexión remota con diversos equipos mediante un ordenador y producir una recogida final de datos en un documento EXCEL, surge la búsqueda de una herramienta que contenga las capacidades requeridas para ello y permita la programación correcta.

Entre los diversos lenguajes y entornos dedicados al desarrollo de aplicaciones, son varios los programas existentes en el mercado, como por ejemplo, *Visual Basic*, *C/C++*, *PASCAL*, *LabWindows/CVI*, *MyopenLab* y muchos otros diseñados para el desarrollo y el diseño de aplicaciones, siendo unos más adecuados que otros dependiendo de la funcionalidad, el origen y el diseño del proyecto que se quiera efectuar.

Se decide utilizar la herramienta *LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)*, creada por *National Instruments (NI)* del cual el autor no tenía conocimiento previo, demostrándose finalmente la correcta elección del lenguaje de programación a la hora de desarrollar este proyecto.

*LabVIEW* es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico (Lenguaje G) pensado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño [1]. Es un software de ingeniería de sistemas para aplicaciones que, entre sus diversas funcionalidades, requieren pruebas, medidas y control con acceso rápido a hardware y sistemas de adquisición de datos como es el caso que se presenta. Por lo tanto, es una plataforma más que adecuada para construir sistemas de pruebas automatizadas.

La principal razón por la que se decide elegir esta plataforma de desarrollo es que existen drivers específicos para uno de los equipos contemplados en el proceso de calibración (osciloscopio *R&S RTO 1022*), utilizado en el CATECHOM para la recogida de datos en los ensayos que van a proceder en la verificación de una correcta calibración del generador compacto *COMPACT NX7* y la red de acoplo *COUPLING NX7*. Además, este entorno permite llevar una conexión mediante protocolo Ethernet con todos ellos.

Otras razones por las que se decide utilizar esta herramienta son las que se detallan a continuación:

- Facilidad y reducción de complejidad a través de una programación de tipo G presentando una interfaz gráfica a tiempo real íntimamente relacionada con el código desarrollado.
- Sencillez a la hora de proceder a la integración *hardware* para aplicaciones de ingeniería, facilitando la adquisición de datos desde el *hardware* de NI y de terceros.
- Capacidad de creación gráfica de interfaces de usuario debido a numerosas herramientas de presentación, botones, indicadores y controles que serían complicados de realizar en otros entornos de programación alargando muy considerablemente el tiempo de desarrollo y reduciendo la originalidad de presentación de la aplicación.
- Existencia de bloques desarrollados por terceros que pueden ser útiles en otros proyectos.
- Rapidez, potencia y con multitud de librerías.
- Múltiples facilidades para el manejo de interfaces de comunicaciones (puerto serie, puerto paralelo, *GPIB*, *PXI*, *VXI*, *TCP/IP*, *Irda*, *Bluetooth*, *USB*, etc).
- Compatibilidad de actuación con otros lenguajes y aplicaciones (*DLL*: *librerías de funciones*, *.NET*, *ActiveX*, *Multisim*, *Matlab/Simulink*, *AutoCAD*, *SolidWorks*, etc.).

Finalmente, hay que mencionar que los resultados de la calibración deben recogerse en un fichero Excel de manera adecuada para posteriormente ser procesados y elaborar un certificado de calibración. *LabVIEW* permite una correcta comunicación con Microsoft Excel proporcionando diversas funciones relacionadas con ello.

Por todo lo anterior, se puede concluir que la elección de *LabVIEW* como herramienta software es correcta para este TFG ya que cubre todos los puntos clave y además permite una programación gráfica y amable, acortando considerablemente los tiempos de desarrollo.

El objetivo fundamental de este TFG, es el diseño e implementación de una aplicación que facilite el proceso de calibración de los equipos que intervienen en los ensayos de inmunidad de ondas de choque realizados en el CATECHOM con el que se pretende

alcanzar el máximo nivel de automatización posible con el fin de discriminar errores y recortar tiempos de este largo proceso.

Para poder alcanzar esta meta, los retos impuestos a conseguir han sido:

- Estudio y aprendizaje del manejo del entorno LabVIEW por parte del autor, ya que no tenía conocimiento previo de esta herramienta de trabajo.
- Estudio y profundización del uso de la instrumentación empleada en este tipo de ensayos.
- Afianzamiento de conocimientos de ensayos de EMC.
- Desarrollar el código de programación destinado a la correcta comunicación mediante protocolo Ethernet entre el generador de ondas combinadas COMPACT NX7, la red de acoplo y desacoplo COUPLING NX7, el osciloscopio R&S RTO 1022 y el ordenador.
- Recogida de las medidas por la instrumentación utilizada automatizando la configuración de la ventana de adquisición de datos adecuada a cada uno de los parámetros que se desean calibrar con el fin de obtener la máxima resolución, lo que conlleva resultados más exactos y fiables.
- Volcado de los datos de medida adquiridos por el osciloscopio a un archivo EXCEL creado para este fin, para su posterior tratamiento y revisión teniendo en cuenta los criterios de aceptación establecidos.

En todo momento se ha tenido en cuenta el objetivo de desarrollo con un diseño final que sea muy intuitivo para el usuario, con diversas funciones de seguridad, funciones de guiado de uso en tiempo real y capacidad de comunicación entre los equipos intervinientes.

Con la creación de este software, se pretende rebajar la responsabilidad del técnico de laboratorio a la hora de configurar calibraciones de estos dispositivos, disminuir su presencialidad y vigía en este proceso y reducir los errores sistemáticos que se pueden cometer por despistes.

Para ello, se dota al software desarrollado con funciones inteligentes como son el autorrelleno, la autoselección, el guiado mediante mensajes, etc. para crear una experiencia más amena, segura y fiable al usuario.

Este documento está dividido en diferentes apartados, agrupando los siguientes bloques de información:

- INTRODUCCIÓN. Se presenta un estudio referente al entorno de la compatibilidad electromagnética y al proceso de calibración de ondas de choque.
- APLICACIÓN SOFTWARE: Información sobre el código desarrollado de la aplicación, así como la descripción de la interfaz de usuario y las funciones implementadas.
- CONCLUSIONES: Evaluación final de los resultados obtenidos.
- TRABAJOS FUTUROS: Posibilidades en ampliaciones y adaptaciones del software en supuestos escenarios futuros posibles.
- ANEXOS: Documentos con información ampliada adicionales.

### **1.1. Introducción a la compatibilidad electromagnética**

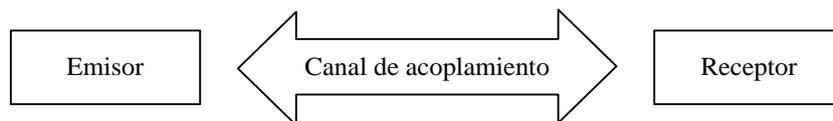
Es notable el gran incremento de equipos eléctricos y electromagnéticos que se ha producido en la actualidad, cada vez son más los existentes y los que están en vías de desarrollo para tener finalmente una puesta a punto de comercialización en un futuro. Todos estos productos y dispositivos, cuando están en funcionamiento emiten ondas que pueden intervenir en otros dispositivos del sistema o del entorno en el que se encuentran. Por este motivo, al aumentar la demanda, se incrementa considerablemente la posibilidad de interferir en el funcionamiento correcto del resto de dispositivos. Estas perturbaciones o interferencias, se producen tanto de forma radiada como conducida debido a las características electromagnéticas de los terminales conectados. Son producidas por las corrientes y las tensiones que los equipos ponen en circulación creando campos electromagnéticos (EM) que pueden llegar a afectar considerablemente a otros equipos produciendo fuerzas no deseadas en los electrones de conducción de manera inducida.

A la transferencia de energía electromagnética entre dos equipos se le denomina interferencia electromagnética (*Electromagnetic Interference - EMI*).

Para describir el concepto de compatibilidad electromagnética se expone el caso concreto de una vivienda. En este entorno existen distintos equipos eléctricos/electrónicos (frigorífico, televisión, microondas) conectados a la red doméstica que se utilizan de manera simultánea y que deben ser capaces de funcionar correctamente sin provocar entre ellos interferencias. Si esta premisa se cumple, se puede decir que son compatibles electromagnéticamente.

El modelo simplificado de esquema de compatibilidad electromagnética se muestra en la Figura 1. Está formado por tres elementos:

- Emisor: equipo fuente o generador de perturbaciones o interferencias.
- Canal de acoplamiento: medio de propagación de las perturbaciones o interferencias. Puede ser un conductor (interferencia conducida) o el aire (interferencia radiada)
- Receptor: equipo sumidero de perturbaciones o interferencias.



**Figura 1: Modelo simplificado de compatibilidad electromagnética**

Cabe destacar que, debido a la bidireccionalidad del canal de acoplamiento, cuando la interferencia sigue el camino emisor-receptor se está evaluando el fenómeno de emisión, mientras que cuando la vía de propagación es receptor-emisor el caso de estudio será el fenómeno de inmunidad o susceptibilidad. En este caso el receptor se convierte en emisor y el emisor hace las veces de receptor. Es decir, atendiendo al teorema de reciprocidad de antenas, todos los equipos interfieren y son interferidos.

## **1.2. Ensayos de compatibilidad electromagnética –EMC**

Debido a la necesidad de evitar problemas de compatibilidad electromagnética entre equipos, se hace necesario que estos se sometan a ensayos para determinar el grado de cumplimiento de los requisitos definidos por las autoridades competentes.

La Directiva 2014/30/UE de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética (refundición), es la Directiva europea encargada de regular la fabricación, funcionamiento y comercialización de los equipos que puedan verse afectados por las perturbaciones electromagnéticas, o ser causantes de las mismas.

La Directiva de compatibilidad electromagnética armoniza los requisitos esenciales en los países de la Unión Europea para el diseño y fabricación de estos aparatos, con el objetivo de crear un marco legislativo común en el territorio europeo.

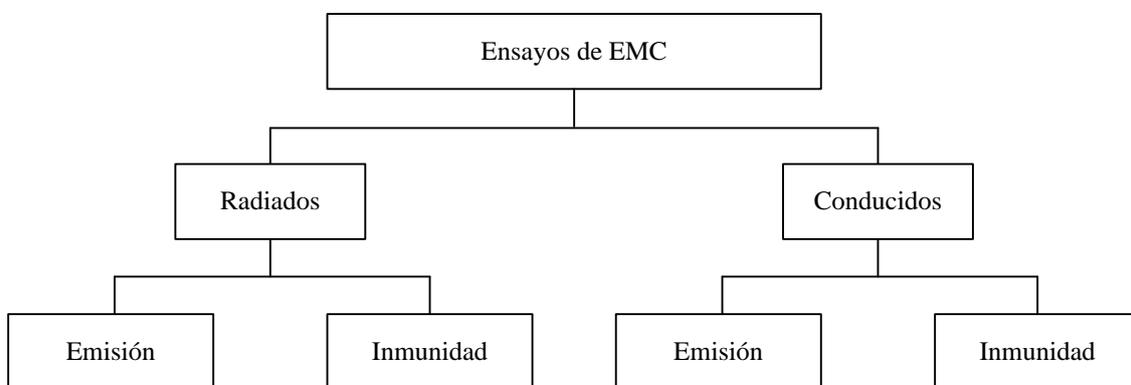
El Real Decreto 186/2016 de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos, no es más que la adaptación a la normativa española de la directiva europea. En él se detallan los aspectos básicos que deben cumplir los equipos para su comercialización en España, así como las

obligaciones de los fabricantes o las sanciones en caso de no cumplir con los preceptos de la ley.

Los requisitos esenciales de la citada Directiva hacen mención de manera cualitativa tanto a requerimientos de emisión como de inmunidad. En los primeros se determina que el nivel de emisión no debe ser tal que otros dispositivos vean alterado su correcto funcionamiento. En los requerimientos de inmunidad se fija que el equipo debe tener un grado de susceptibilidad adecuado para que su modo de operación no se vea afectado por las interferencias electromagnéticas que provocan otros equipos.

Dichas interferencias pueden catalogarse como conducidas y radiadas, como anteriormente se ha mencionado. Esta distinción atiende al camino de propagación de la interferencia. Así, las interferencias radiadas tienen como canal de propagación el aire, mientras que las interferencias conducidas se propagan a través de los conductores eléctricos.

Atendiendo a los requerimientos que han de cumplir los equipos (emisión e inmunidad/susceptibilidad) y al canal de propagación de la interferencia (radiado y conducido) surge el esquema de la Figura 2 en el que quedan recogidos todas las familias de ensayos de EMC.



**Figura 2: Familias de ensayo de EMC.**

Anteriormente se ha citado que los requisitos esenciales se describen de manera totalmente cualitativa. Esta incertidumbre a la hora de evaluar estos requisitos se concreta en las normas armonizadas de la Directiva de EMC. En estas normas se describen cuantitativamente los parámetros a observar y medir durante los ensayos.

Para hacer más comprensible esta ambigüedad y su resolución, se presenta el siguiente caso: Supongamos que se necesita evaluar la emisión conducida por el puerto de alimentación de un equipo multimedia.

Uno de los requisitos esenciales de la Directiva de EMC dice lo siguiente:

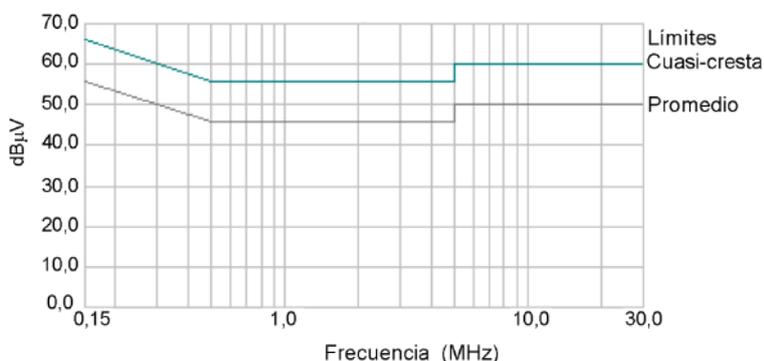
*“El diseño y la fabricación de los equipos, habida cuenta de los avances más recientes, garantizarán que las perturbaciones electromagnéticas generadas queden limitadas a un nivel que permita a los equipos de radio y de telecomunicaciones u otros equipos funcionar con el fin para el que han sido previstos”.*

Si se analiza este requisito, es evidente que trata de un requerimiento de la emisión electromagnética de los equipos, pero quedan sin responder multitud de cuestiones: ¿cuáles son los límites de las emisiones?, ¿en qué rango de frecuencias se deben medir estas perturbaciones?, ¿cómo se realiza la medida en niveles (medidas promedio, de pico, ...), etc.

La respuesta a estas cuestiones se encuentra en la norma armonizada de la directiva de EMC UNE-EN 55032:2016. *Compatibilidad electromagnética de equipos multimedia. Requisitos de emisión.*

Tal como se puede observar en la Figura 3, para el caso planteado:

- Se debe determinar la medida de emisión en dB $\mu$ V.
- El rango de frecuencias queda acotado entre 150 kHz y 30 MHz.
- Se deben realizar tanto medidas en promedio como en cuasi-pico.
- Se establecen los límites para los dos tipos de medida. Si el equipo emitiese perturbaciones a una frecuencia 15 MHz, para cumplir con los requisitos esenciales, deberían ser inferiores a 50 dB $\mu$ V en la medida de promedio y a 60 dB $\mu$ V en la medida de cuasi-pico.



**Figura 3: Representación gráfica de los límites para los puertos de alimentación CA de equipos multimedia. (Extraído de UNE-EN 55032:2016).**

### 1.2.1. Ensayo de ondas de choque

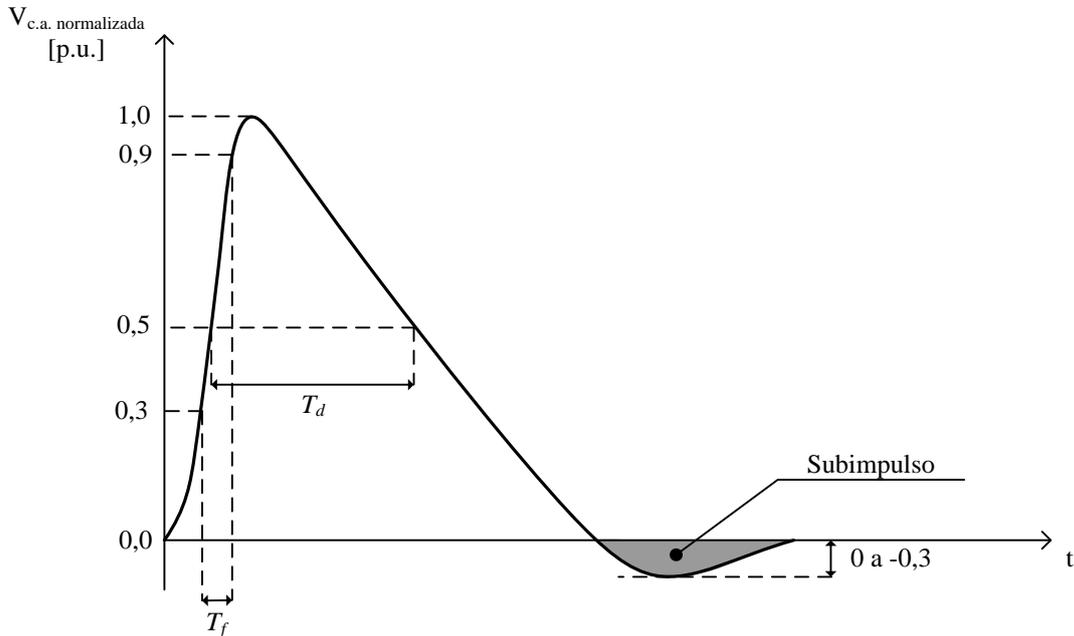
Una vez descritos de manera general los ensayos de EMC, a continuación, se exponen los aspectos más relevantes del ensayo objeto del presente TFG.

El ensayo de ondas de choque permite determinar el grado de inmunidad de los equipos frente a las perturbaciones provocadas por la caída de rayos. Este fenómeno atmosférico provoca unas sobretensiones transitorias sobre las líneas eléctricas (alimentación, comunicaciones, etc.) que pueden llegar a deteriorar la funcionalidad o, en el peor de los casos, destruir el equipo.

Por su tipología, atendiendo a lo descrito anteriormente, este ensayo se ubica dentro de la familia de ensayos de inmunidad conducida.

Todas las características de este ensayo quedan descritas en la norma UNE-EN 61000-4-5 [2].

Las citadas perturbaciones quedan determinadas a través de tensiones transitorias (véase Figura 4) que tiene su equivalencia en corrientes transitorias (véase Figura 5) en función de si la generación se realiza en circuito abierto o en cortocircuito, respectivamente, en el punto de aplicación.

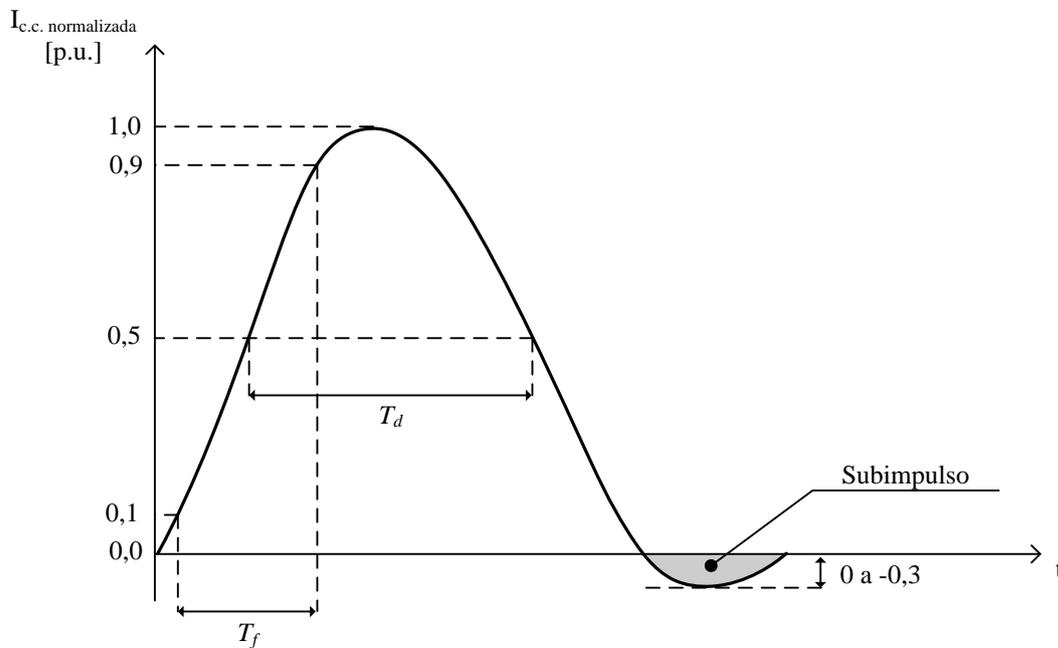


**Figura 4: Pulso normalizado (1,2/50  $\mu$ s) de tensión de ondas de choque en circuito abierto. Polarización positiva.**

Ambas perturbaciones quedan determinadas por los siguientes parámetros:

- Valor de cresta: Nivel de tensión o corriente máximo requerido.

- Duración del frente ( $T_f$ ): es el intervalo del tiempo de subida (polarización positiva) o bajada (polarización negativa) comprendido desde que la tensión alcanza el 30 % de su valor de cresta hasta el 90 % del mismo valor. En el caso del pulso de corriente este intervalo queda definido desde el 10 % al 90 % de su valor de cresta.
- Duración ( $T_d$ ): Intervalo de tiempo comprendido entre el instante en que la onda de choque alcanza el 50 % de su valor de cresta y después cae al 50 % de su valor de cresta.
- Subimpulso: efecto indeseado por el que la onda de choque no alcanza un valor nulo únicamente con valores positivos. En el caso de polarización negativa se produce sobreimpulso.



**Figura 5: Pulso normalizado (8/20  $\mu$ s) de corriente de ondas de choque en cortocircuito. Polarización positiva.**

Tanto la Figura 4 como la Figura 5 están normalizadas respecto al valor de cresta requerido. El valor de cresta de tensión quedará definido en función del tipo de equipo a ensayar debiendo estar comprendido entre los 0,5 kV y los 7 kV.

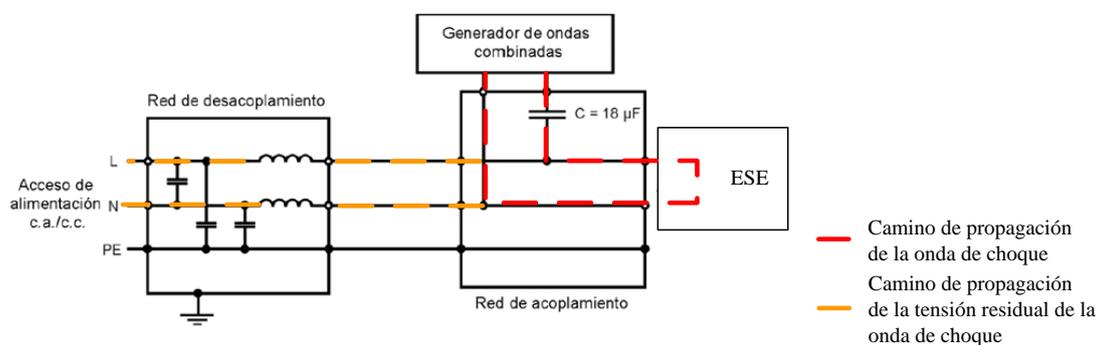
El valor de cresta de la corriente dependerá del valor de cresta de la tensión y de la impedancia de salida del equipo empleado para la generación de la onda de choque.

Como anteriormente se ha citado, las ondas de choque se han de introducir sobre las líneas eléctricas. Pongamos por caso que se requiere realizar un ensayo de esta índole sobre un equipo que se alimenta a través de la red (230 V<sub>ac</sub>). Si se aplicara directamente la perturbación sobre los cables de alimentación sin ningún medio adicional no se

garantizaría que la onda de choque afectara únicamente al ESE (Equipo Sometido a Ensayo) ya que a la misma red de alimentación están conectados multitud de equipos. Este hecho acarrearía que no se puede asegurar que el ensayo se está realizando de manera correcta y, lo que es peor, que alguno de los equipos conectados a la misma red de alimentación se podrían dañar e, incluso, destruir.

Por todo ello, para la realización de estos ensayos se emplean unos equipos que se denominan redes de acoplo/desacoplo (*Coupling / Decoupling Networks - CDN*). Estos equipos están implementados mediante componentes pasivos disponiendo de dos etapas (véase Figura 6):

- Red de acoplo: circuito eléctrico entre el generador de la onda de choque y el ESE con una impedancia de salida adecuada para garantizar una correcta transferencia de energía.
- Red de desacoplo: circuito eléctrico con el propósito de prevenir que las ondas de choque aplicadas al ESE afecten a otros dispositivos, equipos o sistemas que no están sometidos a ensayos. Están compuestas, básicamente, por filtros paso bajo.



**Figura 6: Ejemplo de red de acoplo / desacoplo propuesto en la UNE-EN 61000-4-5 para un acoplamiento capacitivo en líneas de alimentación. Introducido por el autor: camino de propagación de la onda de choque y camino de propagación de la tensión residual de la onda de choque.**

Las redes de desacoplo no son totalmente efectivas. Tal como se puede ver en la Figura 6, aun introduciéndolas en el entorno de ensayo, parte de la onda de choque circulará hacia la red de alimentación. Obviamente, los niveles medidos en los terminales de acceso de alimentación serán drásticamente inferiores a los de la onda de choque como tal, pero no serán nulos. Esto lleva a introducir un nuevo parámetro que deberá ser considerado en el proceso de calibración que es la tensión residual de la onda de choque.

Por tanto, los parámetros a considerar en el proceso de calibración del proceso de ensayo de ondas de choque son:

- Valor de cresta de tensión (circuito abierto).
- Valor de cresta de corriente (cortocircuito).
- Duración de frente de tensión (circuito abierto) y de corriente (cortocircuito).
- Duración de pulso de tensión (circuito abierto) y de corriente (cortocircuito).
- Subimpulso (polaridad positiva) de tensión (circuito abierto) y de corriente (cortocircuito).
- Sobreimpulso (polaridad negativa) de tensión (circuito abierto) y de corriente (cortocircuito).
- Impedancia de salida del generador.
- Tensión residual de la onda de choque.

### **1.3. Descripción del entorno de trabajo y de los equipos vinculados al proceso de calibración**

El Centro de Alta Tecnología y Homologación (CATECHOM) es un centro de apoyo a la investigación ubicado en edificio Politécnico de la Universidad de Alcalá.

Las actividades que en él se realizan abarcan diferentes campos:

- Ensayos de medida de antenas.
- Ensayos de seguridad eléctrica.
- Ensayos ambientales climáticos.
- Ensayos de compatibilidad electromagnética EMC.

El CATECHOM cuenta con un Sistema de Gestión de Calidad implantado que cumple con los requisitos de la norma [3], que se aplica a todas las secciones del centro. El laboratorio de EMC consiguió la condición de laboratorio acreditado en el año 2007 por ENAC.

Este TFG se ha desarrollado para dar servicio al laboratorio de ensayos de EMC.

En lo referente al ensayo objeto de este TFG, el entorno de ensayo del laboratorio de EMC del CATECHOM se muestra en la Figura 7. Está compuesto por los siguientes equipos y elementos:

- Generador de ondas combinadas *COMPACT NX7* de *AmetekCTS*.

- Red de acoplo desacoplo *COUPLING NX7* de *Ametek CTS*.
- Osciloscopio *RTO 1022* de *Rohde & Schwarz*.
- Mesa de prueba.



**Figura 7: Entorno de ensayo del laboratorio de EMC del CATECHOM para el ensayo de ondas de choque.**

En los siguientes apartados se da una descripción detallada de estos equipos de cara a los ensayos de ondas de choque y al proceso de calibración desarrollado para este ensayo. Esta información ha sido obtenida de los documentos de sus manuales de usuario [4], [5] y [6].

### **1.3.1. Generador de ondas combinadas *COMPACT NX7***

El generador de ondas combinadas *COMPACT NX7*, es un comprobador versátil para abordar los requisitos de transitorios y fallos de alimentación recogidas en las normas internacionales y comerciales. Con él se pueden realizar tanto pruebas de inmunidad previas a la conformidad como pruebas de conformidad total y el marcado CE. Cuenta con una red de acoplo/desacoplo (CDN) interna monofásica, pero además muestra compatibilidad de control con una CDN externa trifásica para aumentar sus posibilidades de ensayo a equipos trifásicos automáticamente de hasta 200 A por fase.

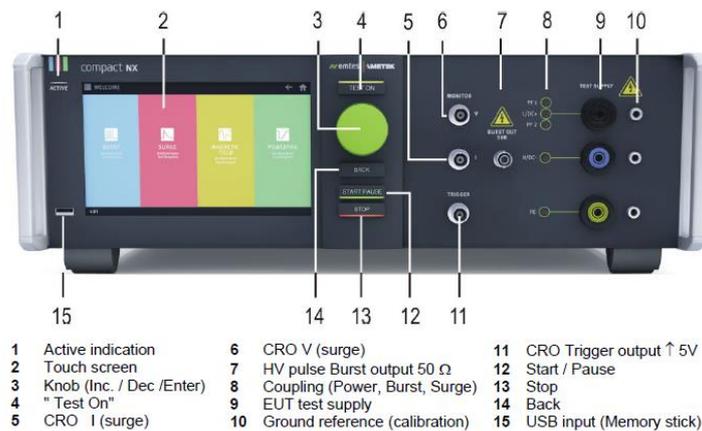


**Figura 8: Vista general del generador de ondas combinadas COMPACT NX7**

El generador cuenta con un panel frontal desde el que se pueden programar manualmente distintos tipos y parámetros de ensayo y los bornes sobre los que se realizarán los acoplamientos de las ondas de choque (véase Figura 9, número 9): línea (DC+), neutro (DC-) y tierra de protección (*Protective Earth - PE*).

Por tanto, los acoplamientos, se crean entre duplas combinando todos estos puntos:

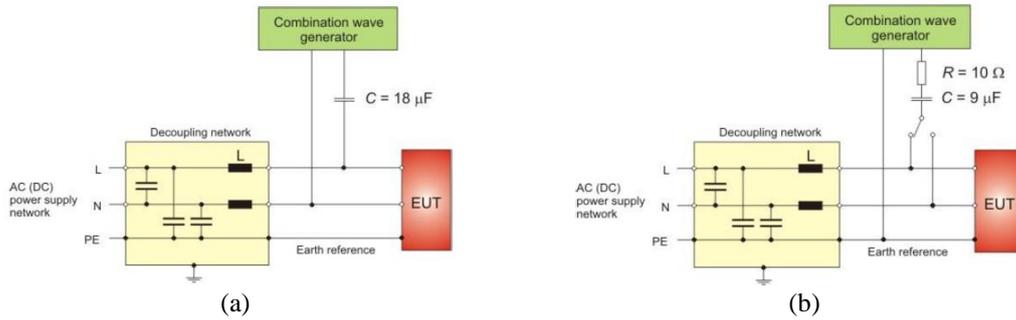
- Acoplamiento entre líneas: línea – neutro.
- Acoplamientos a tierra: línea – tierra y neutro – tierra.



**Figura 9: Panel frontal del generador de ondas combinadas COMPACT NX7**

La impedancia de salida del generador está formada por una resistencia de 2  $\Omega$ .

El generador dispone de una red de acoplo/desacoplo interna conforme a los requerimientos de [2].



**Figura 10: Red de acoplo/desacoplo interna del generador COMPACT NX7. (a) Acoplamiento línea – neutro. (b) Acoplamiento línea – tierra y neutro – tierra.**

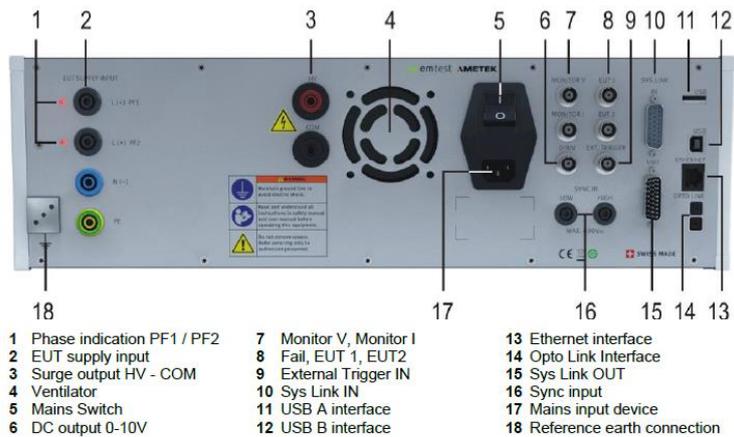
Tal como se puede ver en la Figura 10, la red de acoplo varía en función del tipo de acoplamiento. En la Tabla 1 se muestran las redes de acoplo que se emplean en función del tipo de acoplamiento configurado.

**Tabla 1: Red de acoplo interna del generador COMPACT NX7 en función del tipo de acoplamiento de la onda de choque.**

Tipo de acoplamiento	Red de acoplo	
	$R [\Omega]$ (1)	$C [\mu F]$
Línea – neutro	2	18
Línea – tierra	12	9
Neutro – tierra	12	9

(1) Se ha considerado la resistencia de salida del generador como parte de la red de acoplo.

En la Figura 11 se muestra el panel trasero del generador. Los terminales identificados con el número 2, línea (DC+), neutro (DC-) y tierra de protección (PE), son los que se emplean para introducir la alimentación del ESE sobre la que se acoplará la onda de choque.



**Figura 11: Panel trasero del generador COMPACT NX7.**

Teóricamente sobre estos terminales no debería aparecer la perturbación, pero, tal como se describió en el apartado 1.2.1, debido al comportamiento no ideal de la red de desacoplo parte de la onda de choque aparecerá sobre ellos en lo que se denominó tensión residual de la onda de choque.

Así, tal como aparece en la Tabla 2, durante el proceso de calibración para cada uno de los acoplamientos configurados en el lado del ESE se debe medir la tensión residual sobre los mismos terminales en el lado de la red de alimentación.

**Tabla 2: Puntos de medida de la tensión residual en función del tipo de acoplamiento configurado**

Lado ESE (Acoplamiento configurado)	Lado red de alimentación (Puntos de medida de tensión residual)
Línea – neutro	Línea – neutro
Línea – tierra	Línea – tierra
Neutro – tierra	Neutro – tierra

### **1.3.2. Red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7***

En el apartado anterior se comentó que con el generador se pueden realizar ensayos de ondas de choque únicamente para equipos monofásicos. Con el fin de ampliar la oferta de ensayos, el laboratorio de ensayos de EMC del CATECHOM dispone de la red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7*.

En lo que al ensayo de ondas de choque se refiere, con este equipo se hace posible extender la realización de estas pruebas a un número mayor de equipos:

- Equipos de alimentación monofásica o en corriente continua de hasta 32 A; en lugar de 16 A que se pueden ensayar con el generador COMPACT NX7.
- Equipos trifásicos de hasta 480 V por fase y con corrientes por fase de 32 A.
- Equipos de entorno ferroviario con alimentación monofásica o en corriente continua. La norma de aplicación para este tipo de equipos es la UNE-EN 50121. Esta norma impone que las redes de acoplo a emplear, como se verá más adelante, son diferentes que las anteriormente descritas.

La red de acoplo/desacoplo cuenta con un panel frontal en el que se encuentran los bornes sobre los que se realizarán los acoplamientos de las ondas de choque en función de la tipología del equipo a ensayar (véase Figura 12, números 8 y 9), tal como se describe en la Tabla 3.

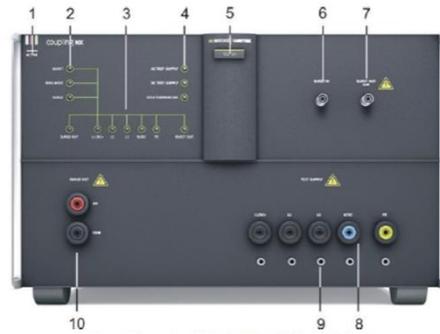


Figure 5.1: coupling NX front side (model for 16 A / 32 A)

- |   |   |
|---|---|
| 1 Active LED                              | 6 EFT input from compact NX generator     |
| 2 Phenomenon (Burst, Ring Wave, Surge)    | 7 EFT output to capacitive coupling clamp |
| 3 Coupling indication LED                 | 8 EUT Output L1/DC+, L2, L3, N/DC-, PE    |
| 4 Test Supply AC, DC and Over temperature | 9 GND reference for EFT verification      |
| 5 "TEST ON" button                        | 10 Output HV & COM to external Surge CDN  |

**Figura 12: Panel frontal de la red de acoplo/desacoplo COUPLING NX7.**

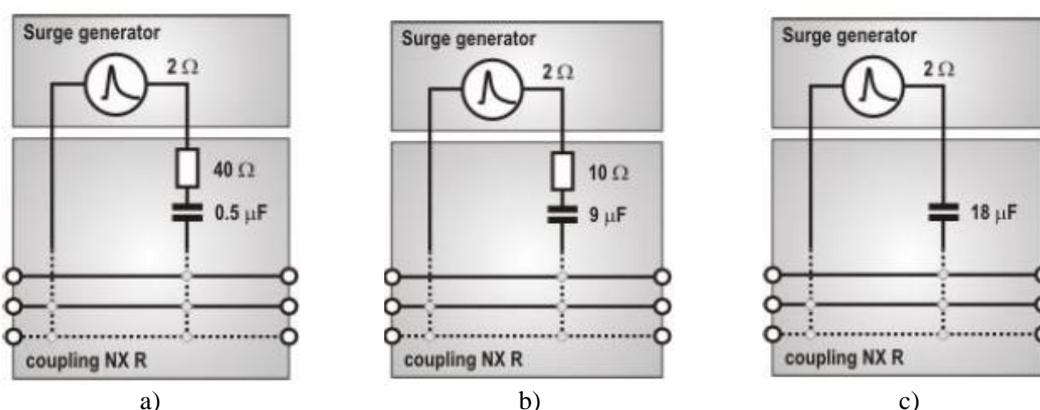
Cabe reseñar que en la citada tabla aparecen todas las combinaciones posibles. Existirán casos en las que no sean de aplicación todas las combinaciones; por ejemplo, cuando el ESE sea monofásico de clase II, al no disponer de tierra de protección, los acoplamientos L1(DC+) – PE y N(DC-) – PE no son de aplicación.

**Tabla 3: Descripción de los terminales y combinaciones de acoplo de la red de acoplo/desacoplo COUPLING NX7 en función del tipo de equipo**

Tipo de ESE	Terminales de acoplo	Combinaciones de acoplo
Alimentación monofásica o DC 16 A < i ≤ 32 A	L1(DC+), N(DC-), PE	L1(DC+) – N(DC-)
		L1(DC+) – PE
		N(DC-) – PE
Alimentación trifásica i <sub>fase</sub> ≤ 32 A	L1(DC+), L2, L3, N(DC-), PE	L1(DC+) – L2
		L1(DC+) – L3
		L1(DC+) – N
		L1(DC+) – PE
		L2 – L3
		L2 – N(DC-)
		L2 – PE
		L3 – N (DC-)
		L3 – PE
		N(DC-) – PE
Equipos ferroviarios alimentados en corriente alterna o en corriente continua	L1(DC+), N(DC-), PE	L1(DC+) – N(DC-)
		L1(DC+) – PE
		N(DC-) – PE

Las redes de acoplo para equipos monofásicos y trifásicos tienen unos valores idénticos a los que se describen en la Tabla 3. En los acoplamientos en modo común (línea – tierra) se emplea una red de acoplo con una resistencia de 12 Ω y un condensador de 9 μF, mientras que los acoplamientos en modo diferencial (entre líneas o entre línea y neutro) la red de acoplo empleada está constituida por una resistencia de 2 Ω y un condensador de 18 μF. En ambos casos se considera incluida la resistencia de salida del generador de 2 Ω.

En lo que a equipos de entorno ferroviario se refiere, las redes de acoplo para el ensayo de ondas de choque son las que aparecen en la Figura 13. La selección de una u otra depende de la tipología de ESE (embarcado o no embarcado sobre material rodante) y de las características del puerto sobre el que se realiza el ensayo (puerto de alimentación o puerto de comunicaciones).



**Figura 13: Redes de acoplo para equipos de entorno ferroviario.**

Por tanto, para este tipo de equipos las redes de acoplo a emplear serán las que aparecen descritas en la Tabla 4.

**Tabla 4: Redes de acoplo empleadas para equipos de entorno ferroviario**

Tipo de acoplo	Red de acoplo	
	R [ $\Omega$ ](1)	C [ $\mu$ F]
Acoplo tipo a) Figura 13	42	0,5
Acoplo tipo b) Figura 13	12	9
Acoplo tipo c) Figura 13	2	18

(1) Se ha considerado la resistencia de salida del generador como parte de la red de acoplo.

En la Figura 14 se muestra el panel trasero de la red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7*. Al igual que ocurre en el caso del generador, sobre este panel se deben medir parte de las tensiones residuales. Debido al número de líneas implicadas las tensiones residuales a determinar aumentan considerablemente.

Tal como se describe en la Tabla 5, para cada tipo de acoplamiento, al igual que ocurre en el generador *COMPACT NX7*, se debe medir la tensión que aparece en el lado de la alimentación de red (panel trasero de la red de acoplo/desacoplo).



Figure 5.2: Rear side coupling NX

- |   |  |
|---|--|
| 1 Reference earth connection (Screw M4)   | 5 Power switch                         |
| 2 EUT power L1 & dc+, L2, L3, N & dc-, PE | 6 Mains connector and fuse (5 x 20 mm) |
| 3 Input HV & COM from NX generator        | 7 Sys Link                             |
| 4 Ventilator                              |  |

**Figura 14: Panel trasero de la red de acoplo/desacoplo COUPLING NX7.**

Por las características trifásicas del equipo, además de las medidas anteriores, para los casos L1 – L2, L1 – L3 y L2 – L3, se tiene que medir la tensión en modo común, respecto de tierra, que aparece en los terminales en los que no se está introduciendo la perturbación. Esto es, para el caso de que la onda de choque se acople por los terminales L1 – L2, además de realizar la medida L1 – L2 en los terminales de alimentación, se medirá la tensión residual en modo común que aparece en los terminales L3 y N respecto a la tierra de protección del ensayo.

**Tabla 5: Medidas de tensión residual para las tipologías de acoplamiento del equipo COUPLING NX7.**

Tipo de acoplamiento	Medidas de tensión residual	
	Panel frontal	Panel trasero
L1 – N	Ninguna	L1 – N
L1 – L2	L3 – PE, N – PE	L1 – L2
L1 – L3	L2 – PE, N – PE	L1 – L3
L1 – PE	Ninguna	L1 – PE
L2 – N	Ninguna	L2 – N
L2 – L3	L1 – PE, N – PE	L2 – L3
L2 – PE	Ninguna	L2 – PE
L3 – N	Ninguna	L3 – N
L3 – PE	Ninguna	L3 – PE
N – PE	Ninguna	N – PE

Cabe mencionar que las medidas de tensiones residuales para los acoplamientos de ondas de choque para equipos de entorno ferroviario no son requeridas.

### 1.3.3. Osciloscopio RTO 1022

El osciloscopio R&S RTO 1022 (véase Figura 15), es el instrumento de medida patrón de referencia que se va a utilizar en este método de calibración. Con él se recogerán todas las medidas de manera automática gracias a su posibilidad de configuración

remota mediante comunicación Ethernet con un ordenador a través del protocolo TCP/IP. Además, el fabricante de este modelo de osciloscopio proporciona drivers disponibles para LabVIEW, pudiendo programar de una manera más eficiente y sencilla la configuración de este.



**Figura 15: Vista general del osciloscopio R&S RTO 1022.**

El osciloscopio cuenta con un panel frontal (véase Figura 16) que principalmente es ocupado por una pantalla táctil donde se visualizan las adquisiciones de datos, se programan las características de la ventana de adquisición y se configuran las características de las medidas que se desean realizar (tipo de medida, configuración del trigger, unidades, etc.). También cuenta con una serie de botones adicionales destinados a posibilitar al usuario programar de una manera diferente las funciones anteriores además de navegar por la ventana de adquisición.



**Figura 16: Panel frontal del osciloscopio R&S RTO 1022.**

En el panel frontal se encuentran los bornes donde se deben colocar las sondas de medición. Este modelo cuenta con dos canales, de los cuales, en este proyecto, tan solo se utilizará el canal 1.

El osciloscopio puede recoger como máximo valores de pico de 200 V, es por ello que se presenta la necesidad de utilizar sondas que atenúen a valores inferiores que este las ondas de choque generadas por el *COMPACT NX7*, que nunca tendrán valores de tensión inferiores a 250 V. Para ello se utilizan las siguientes sondas:

- Para medir ondas de tensión (acoplo en modo circuito abierto): *TESEQ MD210*.
- Para medir ondas de corriente (acoplo en modo cortocircuito): *PEARSON CURRENT MONITOR*.

En el apartado 1.5 de la memoria, se puede encontrar una descripción más detallada de estas sondas.

Entre las prestaciones de este osciloscopio se encuentra la posibilidad de configurar el parámetro de la atenuación que aportan las sondas para que se tenga en cuenta (véase Figura 17).



**Figura 17: Posibilidad de configuración de sondas de medición utilizadas en el setup.**

Existen sondas que incluyen codificadores que configuran automáticamente la atenuación externa, pero en el caso que se nos presenta, será un parámetro que el propio software indique al osciloscopio (véase Figura 18).



**Figura 18:** Posibilidad de configuración de los parámetros de las sondas utilizadas para que el osciloscopio lo tenga en cuenta.

A pesar de la gran exactitud de los resultados obtenidos en las adquisiciones, se debe configurar la ventana de adquisición de acuerdo al parámetro que se va a medir. Se debe intentar conseguir la mayor resolución para adquirir los resultados más exactos y fiables posibles. Para ello, el osciloscopio presenta la posibilidad de configuración del rango vertical y sus unidades de medida y del rango horizontal, donde se muestra el tiempo de adquisición.

Este osciloscopio, presenta multitud de medidas posibles a realizar en la ventana de adquisición, tal como se puede observar en la Figura 19.



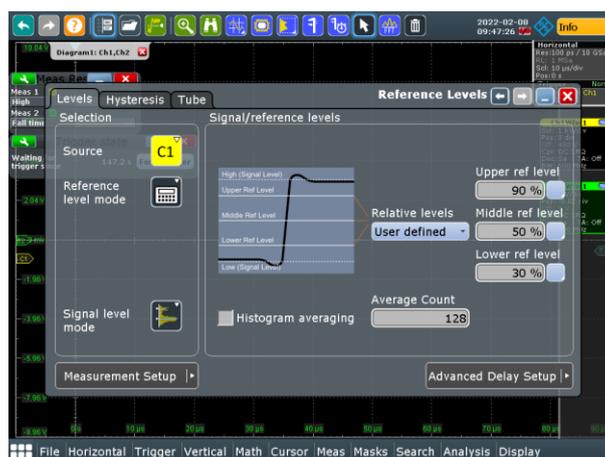
**Figura 19:** Tipos de medidas ofrecidas por el osciloscopio R&S RTO 1022.

En el caso que compete, serán necesarias las configuraciones de los siguientes tipos de medidas:

- *Max*: Valor de pico máximo alcanzado por una forma de onda. Utilizado para medir los parámetros de valor de pico, impedancia y tensión residual en ondas de choque con polarización positiva.

- *Min*: Valor de pico mínimo alcanzado por una forma de onda. Utilizado para medir los parámetros de valor de pico, impedancia y tensión residual en ondas de choque con polarización negativa.
- *Risetime*: Tiempo de subida de la onda. Utilizado para medir el parámetro de tiempo de frente en ondas de choque con polarización positiva.
- *Falltime*: Tiempo de bajada de la onda. Utilizado para medir el parámetro de tiempo de frente en ondas de choque con polarización negativa.
- *PositivePulse*: Pulso positivo. Utilizado para medir el parámetro de tiempo al 50% en ondas de choque con polarización positiva.
- *NegativePulse*: Pulso negativo. Utilizado para medir el parámetro de tiempo al 50% en ondas de choque con polarización negativa.
- *PositiveOvershoot*: Sobreimpulso. Utilizado para medir el parámetro Sobreimpulso/Subimpulso en ondas de choque con polarización negativa.
- *NegativeOvershoot*: Subimpulso. Utilizado para medir el parámetro Sobreimpulso/Subimpulso en ondas de choque con polarización positiva.

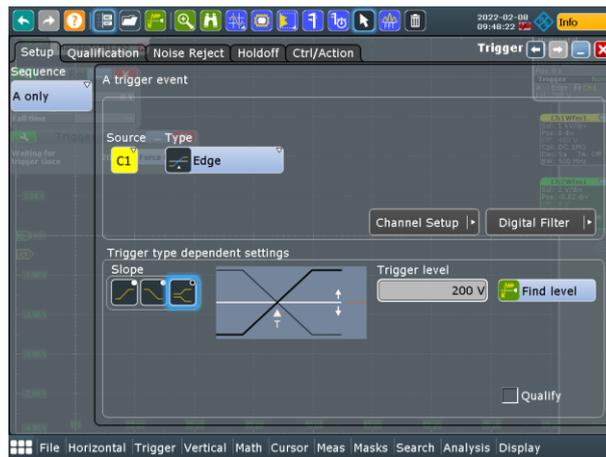
El osciloscopio dispone de funcionalidades para configurar cada tipo de medida. Es por ello, que se pueden seleccionar niveles de referencia diferentes para cada tipo de medida (véase Figura 20). Así, por ejemplo, en este proyecto es necesario poder configurar la medida de tiempo de frente con referencias entre el 30 % y el 90 % cuando se miden ondas de tensión y entre el 10 % y el 90 % cuando se miden ondas de corriente siguiendo los rangos de medida establecidos en [2].



**Figura 20: Posibilidades de configuración de los niveles de referencia para cada una de las medidas ofrecidas por el osciloscopio R&S RTO 1022.**

Para adquirir una medida, el osciloscopio presenta la opción de configurar un *trigger* interno estableciendo las propiedades de este; en este proyecto se configura siempre el

mismo tipo de *trigger* (véase Figura 21), activo por flanco tanto de subida como de bajada para poder detectar impulsos en ambos tipos de polarización, y sobre la ejecución del programa se irán variando los niveles de *trigger* adecuándolo específicamente a las características de la onda de choque que se va a generar y al tipo de medida que se quiere realizar. El osciloscopio se configura en modo “RUN Nx SINGLE”, en el que se define un número de ciclos de adquisición, quedando a la espera de superación del nivel de trigger configurado para realizar una captura.



**Figura 21: Posibilidades de configuración del *trigger* ofrecidas por el osciloscopio R&S RTO 1022.**

#### **1.4. Procedimientos de calibración**

No siendo el estudio del procedimiento de calibración el objetivo de este proyecto, se presenta la necesidad de hacer mención a ello para un correcto entendimiento del trabajo realizado. Por este motivo, es necesario entender bien qué es una calibración, por qué es necesario realizarla de manera periódica, qué factores intervienen en la pérdida de confianza de los equipos y los equipos que van a ser calibrados.

Los equipos electrónicos, a lo largo del tiempo, pueden perder propiedades de operatividad debido a diversos factores (envejecimiento de los componentes, cambios de temperatura o el estrés mecánico, etc.) que pueden deteriorar poco a poco sus funciones. Cuando esto sucede, se empieza a perder confianza en los valores medidos y con ello se resienten tanto el diseño como la calidad del producto. Con el fin de conocer las desviaciones de los parámetros implicados que se producen sobre los equipos se realizan calibraciones en las que se determina cuál es el error en la medida y su incertidumbre asociada.

Una herramienta fundamental para asegurar la trazabilidad de una medida es la calibración del instrumento o sistema de medida o del material de referencia. La calibración determina las características metrológicas de un instrumento, sistema o material de referencia. Esto se logra mediante comparación directa con patrones de

medida o materiales de referencia certificados. El instrumento de medida, en el caso que nos ocupa, es el osciloscopio RTO 1022, por lo que para conseguir la trazabilidad requerida se debe realizar una calibración acreditada de este equipo en un laboratorio externo.

Además de las calibraciones acreditadas mencionadas anteriormente llevadas a cabo por laboratorios externos, el CATECHOM lleva a cabo controles internos entre calibraciones con el objetivo de obtener información sobre la confiabilidad de sus equipos de una manera más periódica según criterio interno y así poder ofrecer resultados más confiables a las empresas que acuden al centro. Con estos controles internos entre calibraciones se obtienen multitud de beneficios derivados del aumento de la periodicidad de las calibraciones externas; entre los que cabe mencionar los siguientes:

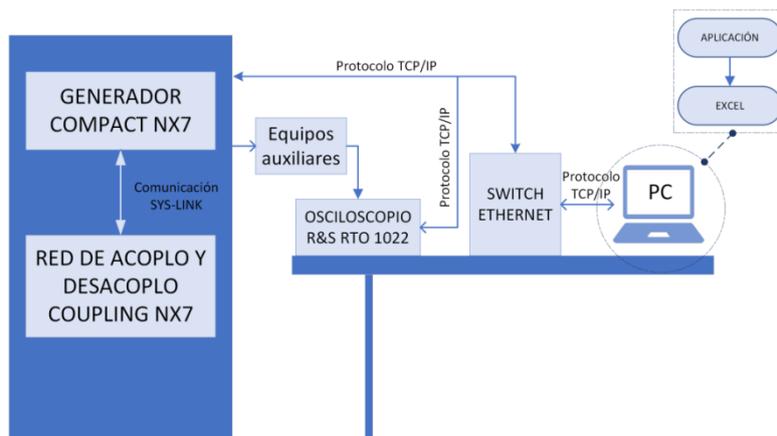
- Reducción del coste de las calibraciones externas.
- Aumento de disponibilidad de equipos en el centro. Si la periodicidad de las calibraciones aumenta los equipos no salen del centro pudiéndose ser usados para la realización de ensayos aumentando con ello los beneficios obtenidos.
- Se evitan potenciales problemas en el transporte.

Con la aplicación software desarrollada en este TFG se persigue agilizar los controles internos entre calibraciones de los equipos implicados en el ensayo de ondas de choque. En un futuro, se desarrollará el método de calibración para que sea revisado y validado por ENAC.

## **1.5. Configuración de calibración de equipos de ondas de choque**

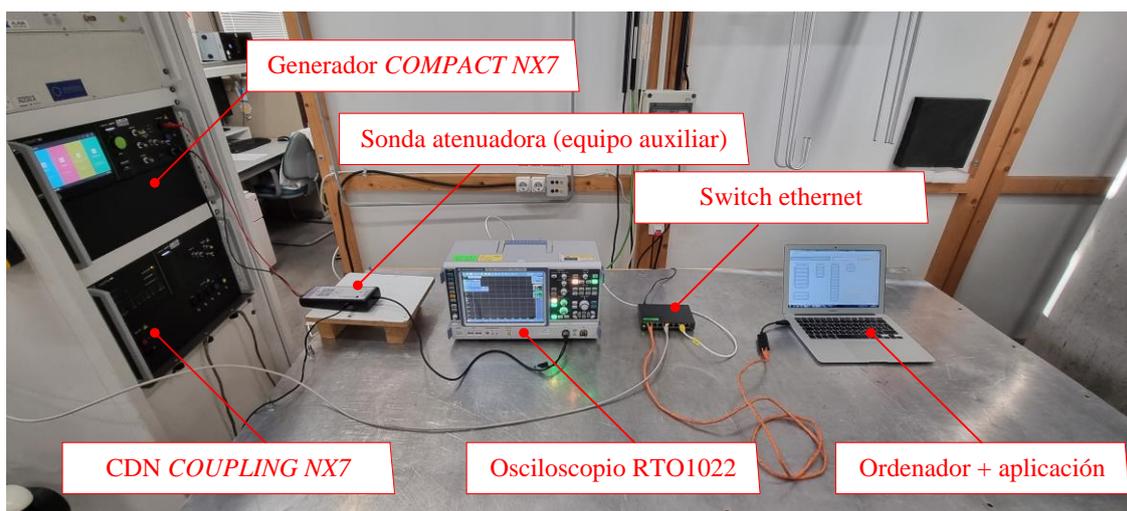
Una vez descritos los equipos que forman parte de los ensayos de ondas de choque, en este apartado se detalla cuál es la configuración para realizar el procedimiento de calibración.

En la Figura 22, se representa con un esquema la disposición física de los equipos que intervienen en la calibración. Inicialmente, se conecta el ordenador mediante un cable Ethernet a un *Switch* Ethernet, este último, se conectará al generador *COMPACT NX7* y al osciloscopio R&S RTO 1022 también mediante cableado Ethernet. Entre el generador *COMPACT NX7* y la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7* se desarrolla una comunicación propia del sistema “*SYS-LINK*”.



**Figura 22: Diagrama de bloques. Representación de la disposición de conexión entre equipos.**

En Figura 23 se muestra la disposición de los equipos involucrados en la calibración del ensayo de ondas de choque.



**Figura 23: Configuración de calibración de equipos de ondas de choque.**

Por simplicidad, en el diagrama de bloques no se han incluido los equipos auxiliares necesarios para realizar el procedimiento de calibración. Estos equipos son:

- *MD 210 HIGH VOLTAGE DIFFERENTIAL PROBE* (véase Figura 24): Necesaria para poder medir en el osciloscopio formas de onda referidas a altos voltajes en modo común. Gracias a la atenuación prestada por esta sonda diferencial [7], se podrán recoger valores pico de impulsos superiores a 200 V (valor de entrada máximo de los canales del osciloscopio). Presenta un conmutador para que el usuario pueda elegir cualquiera de las dos posibles atenuaciones que presta, 1:100 y 1:1000, siendo esta última disposición la utilizada en este proyecto. A pesar de presentar un codificador

para configurar estos valores en el osciloscopio, se decide configurarlos mediante la aplicación desarrollada.



**Figura 24:** Vista general de la sonda *MD 210 HIGH VOLTAGE DIFFERENTIAL PROBE*.

- *PEARSON CURRENT MONITOR 411* (véase Figura 25): Necesaria para poder medir las formas de onda de corriente cuando se dispone un cortocircuito en un acoplamiento. Presenta una atenuación de 0,1 V/A en 50  $\Omega$  sin codificador para configuración del osciloscopio, por lo tanto, este valor se debe añadir directamente sobre el código de la aplicación desarrollada [8].



**Figura 25:** Vista general de la sonda *PEARSON CURRENT MONITOR 411*.

## 2. APLICACIÓN SOFTWARE

En este apartado se describe el código de programación para alcanzar la elaboración final de la aplicación. Para un mayor entendimiento, inicialmente se hará una descripción del software presentando todas las funcionalidades implementadas, seguidamente se detallará la interfaz de usuario y, por último, se describirá el código desarrollado para la presentación visual de este.

### 2.1. Presentación del software

La aplicación está destinada a programar el proceso de calibración de los equipos que se usarán para los ensayos de ondas de choque de una manera muy intuitiva. Por ello, el programa muestra una interfaz sencilla hacia el usuario además de añadir funciones inteligentes al software destinadas a facilitar el proceso de calibración al técnico de laboratorio encargado, a la discriminación de errores y al ahorro inmenso de tiempo que suponen estas funciones debido a que se ha dado un paso más allá de automatización del sistema anterior como se demuestra más adelante.

Este software permite conectar un ordenador al generador compacto *COMPACT NX7*, a una red de acoplo/desacoplo externa modelo *COUPLING NX7* si es preciso y al osciloscopio *R&S RTO 1022*. Una vez conectado, el técnico podrá programar las calibraciones deseadas y lanzarlas de manera remota. El software tiene la capacidad de lanzar una onda de choque con propiedades determinadas por el usuario y configuradas previamente desde el ordenador. Este impulso será generado por el *COMPACT NX7* y acoplado a las líneas que previamente el usuario haya configurado, tanto del generador compacto como de la CDN o su módulo interno *50121*. Además, el software es capaz de preparar la ventana de adquisición del osciloscopio adecuándola a cada una de las ondas de choque programadas y manteniéndose a la espera de un nivel que supere el *trigger* establecido por el propio software.

Son diversas las funcionalidades que se han implementado en el software para facilitar el manejo, disminuir la vigía del técnico de laboratorio y evitar errores tanto de conexión como de configuraciones innecesarias de calibraciones no contenidas en el certificado de calibración. Entre ellas se pueden destacar:

- Gestión de la configuración mediante botonería booleana separada por bloques. Con ello se presenta al usuario información visual de lo que está configurando en todo momento.
- Habilitación y deshabilitación automática de botones. Gracias a esta función el usuario no debe conocer las configuraciones de calibración que han de realizarse para cada uno de los parámetros de calibración.

- Capacidad de configuración de diferentes calibraciones. Supone un ahorro inmenso de tiempo a la hora de realizarse.
- Existencia de un botón para seleccionar todos los casos posibles. Para poder llevar a cabo la realización completa de uno o varios parámetros de calibración.
- Función de autorrelleno. Supone un ahorro de tiempo y discriminación de errores a la hora de configurar una calibración.
- Autogestión de la ejecución. Independientemente de la configuración fijada por el usuario la aplicación únicamente lanzará las ondas de choque que se correspondan con los parámetros de calibración adecuados contenidos en la norma UNE-EN 61000-4-5. En el apartado 5.2 se recoge de manera esquemática toda la combinatoria de ensayos que se deben efectuar según esta norma.
- Información detallada en todo momento. Mediante indicadores y ventanas emergentes se muestra al usuario en cada instante los pasos que debe seguir, tanto a la hora de configurar las calibraciones como en el momento de la ejecución en el que se va guiando al técnico para configurar el *setup* (cuando y en qué línea se debe colocar circuito abierto o cortocircuito). El software además está programado para realizar siempre de manera continua la mayor combinación de ondas de choque con el mismo *setup*, con el fin de ahorrar tiempo de ejecución y reducir considerablemente el requerimiento de un técnico, de tal manera que la cuantía de veces que se cambia la configuración de cortocircuito a circuito abierto y viceversa siempre es la mínima.

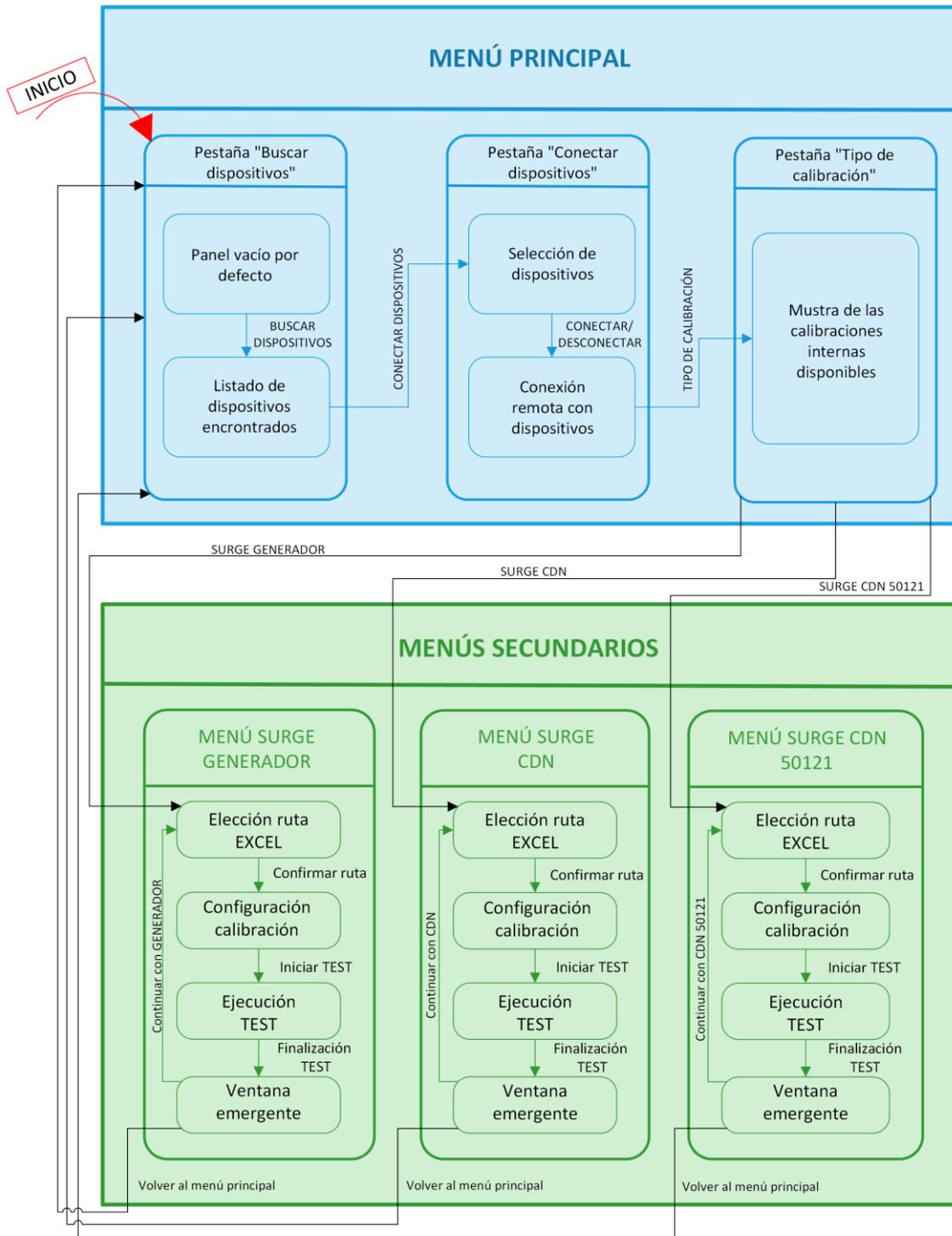
El software divide el proceso en dos partes:

- Menú inicial: compuesto por tres pestañas destinadas a la búsqueda, conexión de manera remota de los dispositivos que intervienen en el trabajo de calibración y a la elección del tipo de calibración que se desea realizar.
- Menús secundarios: menús destinados a la programación de la calibración que se va a proceder a realizar.

Se decide dividir la gestión del trabajo en dos partes como método para evitar pérdidas de tiempo a la hora de configurar programaciones que no se puedan realizar posteriormente debido a pérdidas o errores de conexión. Otra de las razones es flexibilizar las posibilidades de cambios y modificaciones futuras del software al estar el código dividido en partes más pequeñas.

Para llevar a cabo la presentación del desarrollo seguido a la hora de la programación de la aplicación se decide dividir en dos partes la explicación para facilitar su

entendimiento. Así, en el apartado 2.2 se explica todo lo relativo a la interfaz de usuario y en el apartado 2.3 se detalla el desarrollo del código de la misma.



**Figura 26: Flujo del proceso del programa. Se muestra la navegación entre los diferentes menús mediante las acciones que llevan a cabo los tránsitos provocados por acciones (pulsaciones de botones por parte del usuario, alcances de *time-out*, etc.) representadas por flechas.**

## **2.2. Descripción de la interfaz de usuario**

En este apartado se describe la interfaz de usuario, donde se van a presentar todas las funcionalidades y posibilidades que se le ofrecen. Además, se detallan las indicaciones y mensajes que el usuario del software se podrá encontrar.

Como ya se ha mencionado, el software está dividido en dos partes o fases: el menú principal y cada uno de los menús secundarios a los que se accede desde el menú principal. En la Figura 26 se detalla de manera esquemática la navegación por los menús citados.

### **2.2.1. Fase 1 (menú principal): “Búsqueda, conexión de dispositivos y selección del tipo de calibración”**

En la primera fase, la aplicación tiene los siguientes cometidos:

- Encontrar los equipos requeridos en el proceso de calibración.
- Establecimiento de la comunicación (conexión de equipos) entre la aplicación software y los equipos encontrados.
- Selección de la calibración a realizar.

Estas tres funciones están desarrolladas en tres pestañas diferentes tal como se muestra en la Figura 27:

- Pestaña “Buscar dispositivos”: destinada a la búsqueda de dispositivos conectados vía Ethernet con el ordenador.
- Pestaña “Conectar dispositivos”: destinada a la conexión y desconexión de los dispositivos encontrados en la pestaña anterior.
- Pestaña “Tipo de calibración”: destinada a elegir el proceso de programación del tipo de calibración que el usuario desea llevar a cabo.

Una vez abierto el programa, el técnico encargado del proceso de calibración se encontrará automáticamente en el menú principal.

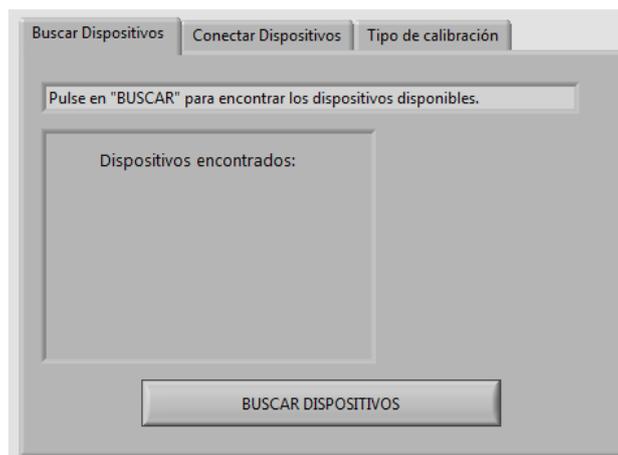
Inicialmente, la ubicación por defecto será la pestaña “Buscar dispositivos”, donde aparecerá el mensaje inicial “Pulse en BUSCAR para encontrar los dispositivos disponibles”.

El menú inicial se compones de las tres siguientes pestañas:

- **PESTAÑA BUSCAR DISPOSITIVOS**

Esta pestaña dispone de una barra de estados que muestra mensajes en función del estado del proceso de búsqueda de los dispositivos. Los posibles mensajes que pueden aparecer en esta barra son los siguientes:

- Pulse en buscar para encontrar los dispositivos disponibles, mensaje que aparece por defecto al arrancar la aplicación. Este mensaje vuelve a aparecer una vez finalizada la búsqueda.
- Buscando dispositivos, mensaje que se muestra mientras se realiza el proceso de búsqueda.



**Figura 27: Pestaña “Buscar dispositivos” del menú principal. Se muestra el aspecto que adquiere por defecto al abrir la aplicación.**

También se dispone de un panel informativo donde aparecerán los dispositivos conectados al ordenador. Inicialmente, se encuentra vacío sin ninguna información, pero una vez finalizado el proceso de búsqueda, aparecerán los dispositivos encontrados. En caso de que no se halle ningún dispositivo, aparecerá el siguiente mensaje:

- No se ha encontrado ningún dispositivo. Pulse en Buscar dispositivos para intentarlo de nuevo.

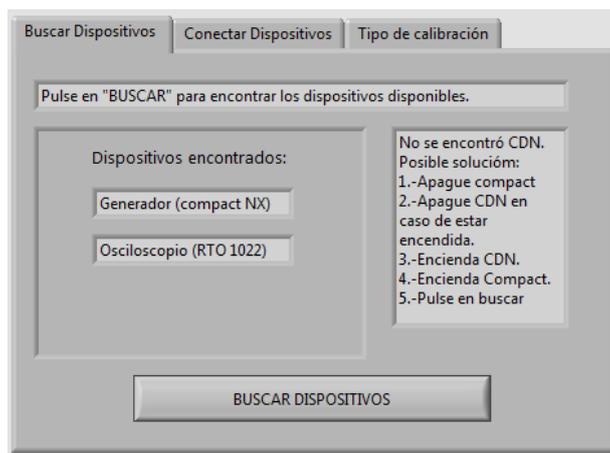
Adicionalmente, se cuenta con un panel destinado a la resolución de problemas surgidos a la hora de encontrar la red de acoplo y desacoplo “COUPLING NX7” y así dar al usuario información sobre la solución para poder corregir este problema. Este panel se decide incorporar debido a que para poder llevar a cabo una comunicación entre el

equipo *COMPACT NX7* y el *COUPLING NX7* debe darse una orden específica a la hora de conectar a la alimentación ambos equipos. Si el usuario de la aplicación conectar el equipo *COMPACT NX7* antes que el *COUPLING NX7*, el primer terminal no reconoce al segundo y es en este caso cuando salta el mensaje de ayuda cuya información es la siguiente:

No se encontró CDN. Posible solución:

- 1.-Apague compact.
- 2.-Apague CDN en caso de estar encendida.
- 3.-Encienda CDN.
- 4.-Encienda Compact.
- 5.-Pulse en buscar”

El aspecto de la pestaña citada anteriormente es el siguiente:



**Figura 28: Pestaña “Buscar dispositivos” del menú principal. Se muestra el aspecto que adquiere cuando no se encuentra la CDN *COUPLING NX7* por parte del ordenador. Aparece un panel informativo con ayuda específica en caso de que se quiera conectar la CDN *COUPLING NX7* y el ordenador no la haya reconocido.**

Una vez finalizada la búsqueda, el usuario deberá dirigirse a la pestaña “Conectar dispositivos” para continuar con el proceso previo a la calibración.

## - PESTAÑA CONECTAR DISPOSITIVOS

Esta pestaña del menú principal está destinada a mostrar el nombre de los dispositivos que el ordenador ha encontrado dando opción al usuario de poderse conectar a los dispositivos que desee. Además, posee *leds* indicadores que avisan si se ha llevado a cabo correctamente la conexión y el terminal seleccionado ha pasado a modo remoto.

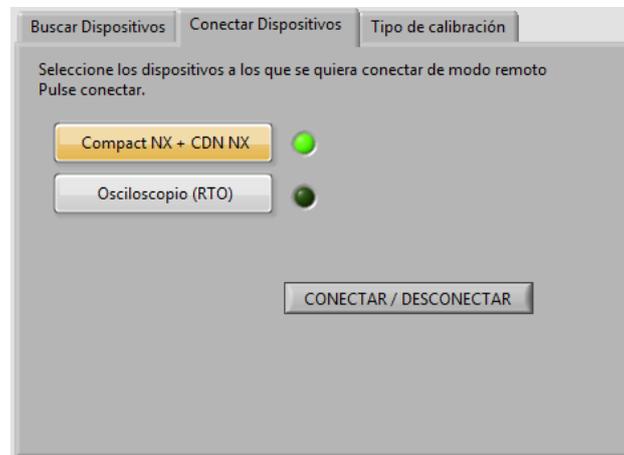
La interfaz muestra dichos dispositivos en modo botón. De forma muy intuitiva, el usuario tendrá que pulsarlos y esperar a que el led que acompaña a este se encienda de color verde prácticamente de manera instantánea. Si el led no se enciende, indica que ha habido algún problema con la conexión Ethernet. Este sistema de seguridad es añadido para que el usuario conozca el estado de conexión de los dispositivos con el ordenador de manera individual, facilitando así la detección de errores y además el ahorro de tiempo que supone programar un ensayo para que luego no pueda ejecutarse si hay un fallo de conexión.

Esta pestaña dispone de una función inteligente que sólo muestra los botones que hacen referencia a los dispositivos encontrados en la pestaña anterior, estos botones aparecen con los nombres de los dispositivos encontrados de forma combinada, ya que la CDN *COUPLING NX7* necesita tener conexión con el generador *COMPACT NX7* para trabajar. De esta forma los posibles botones de conexión que pueden aparecer son los siguientes:

- “OSCILOSCOPIO”: Para conectarse al osciloscopio. Este botón estará disponible siempre que se haya encontrado en la pestaña “Conectar dispositivos” el osciloscopio.
- “GENERADOR”: Para conectarse al *COMPACT NX7*. Este botón estará disponible siempre que se haya encontrado en la pestaña “Buscar dispositivos” el *COMPACT NX7*, pero no se haya encontrado la red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7*.
- “GENERADOR + CDN”: Para conectarse tanto al *COMPACT NX7* como a la CDN *COUPLING NX7*. Este botón aparecerá únicamente cuando se encuentren ambos equipos en la fase de búsqueda, de manera que si aparece este botón no aparecerá el botón “GENERADOR”. Esta opción combinada se muestra para ahorrar tiempo al usuario y mostrarse además de una forma más intuitiva ya que la CDN *COUPLING NX7* no puede conectarse en ningún momento de forma remota si no es a través del generador *COMPACT NX7*.

En la Figura 29 se muestra un ejemplo del aspecto de esta pestaña del menú, en la que se puede observar cómo se informa al usuario mediante *leds* indicativos que se ha

conectado en modo remoto el generador compacto y la CDN, mientras todavía no se ha decidido establecer la comunicación con el osciloscopio.



**Figura 29:** Pestaña “Conectar Dispositivos” del menú principal. Se muestra el aspecto que adquiere en caso de haber encontrado el *COMPACT NX7*, la *CDN COUPLING NX7* y el osciloscopio con efecto de haberse conectado de manera remota al ordenador por parte del usuario (haberse seleccionado el botón “Compact NX + CDN NX” y haberse pulsado el botón de “CONCETAR / DESCONECTAR”), mostrando el estado remoto mediante el *led* indicativo.

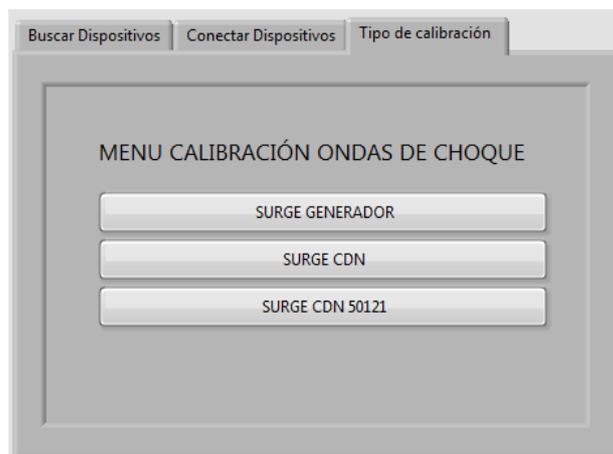
#### - PESTAÑA TIPO DE CALIBRACIÓN

Una vez que el técnico de laboratorio haya conectado de manera remota todos los dispositivos deseados, se podrá empezar a programar el tipo de calibración (véase Figura 30); para ello, esta pestaña muestra de manera muy esquemática los tipos de calibraciones que esta aplicación puede realizar.

Como ocurre en las demás pestañas, sólo se mostrarán aquellos botones cuya calibración pueda ser posible en función de los dispositivos conectados en modo remoto en la pestaña anterior; los posibles botones mostrados son:

- “SURGE GENERADOR”: Destinado a mostrar el menú secundario dedicado a la configuración de los parámetros necesarios para calibrar el generador compacto *COMPACT NX7*. Este botón aparecerá únicamente si se ha conectado de manera remota el osciloscopio y el *COMPACT NX7*.
- “SURGE CDN”: Destinado a mostrar el menú secundario dedicado a la configuración de los parámetros necesarios para calibrar la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*. Este botón aparecerá solo si se ha conectado de manera remota el osciloscopio, el *COMPACT NX7* y el *COUPLING NX7*.

- “SURGE CDN 50121”: Destinado a mostrar el menú secundario dedicado a la configuración de los parámetros necesarios para calibrar el módulo interior 50121 de la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*. Este botón aparecerá si se ha conectado de manera remota el osciloscopio y el *COMPACT NX7* y el *COUPLING NX7*.

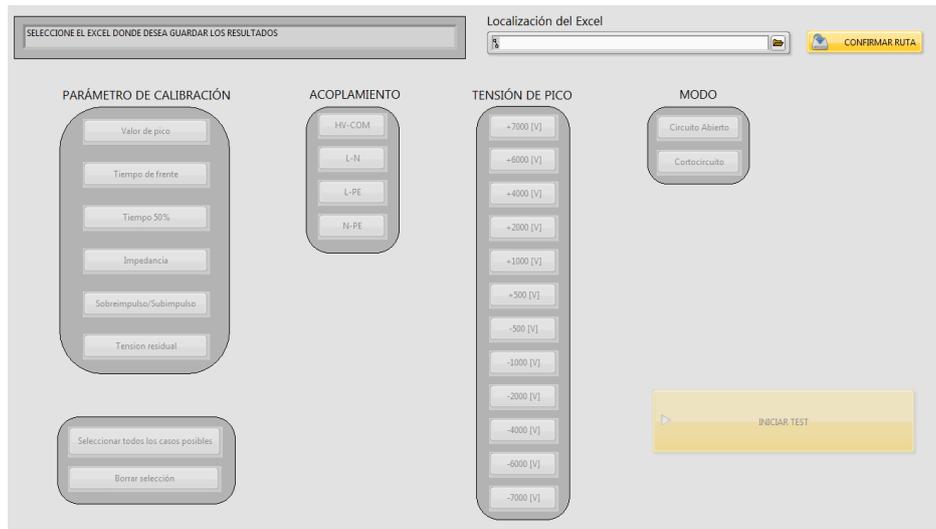


**Figura 30:** Pestaña “Tipo de calibración” del menú principal. Se muestra el aspecto que adquiere cuando en la pestaña “Seleccionar dispositivos” el usuario ha conectado de manera remota el *COMPACT NX7*, la *CDN COUPLING NX7* y el osciloscopio.

Una vez que el usuario haya pulsado alguno de los botones anteriores, se abrirá el menú correspondiente, entrando en la fase 2.

### **2.2.2. Fase 2 (menús secundarios): “Programación, lanzamiento de la calibración, recogida de datos y volcado en Excel”**

Dependiendo del botón que se haya pulsado en la última fase del menú principal, se abrirá el menú secundario correspondiente. Cada uno de ellos será diferente según el dispositivo que se va a calibrar, el aspecto de estos menús secundarios es muy similar. En la Figura 31 se muestra el menú destinado a la calibración interna del generador compacto *COUPLING NX7*; en la Figura 32 se muestra el menú destinado a la calibración interna de la *CDN COMPACT NX7* y, finalmente, en la Figura 33 se muestra el menú destinado a la calibración interna del módulo interior 50121 de la *CDN COUPLING NX7*.



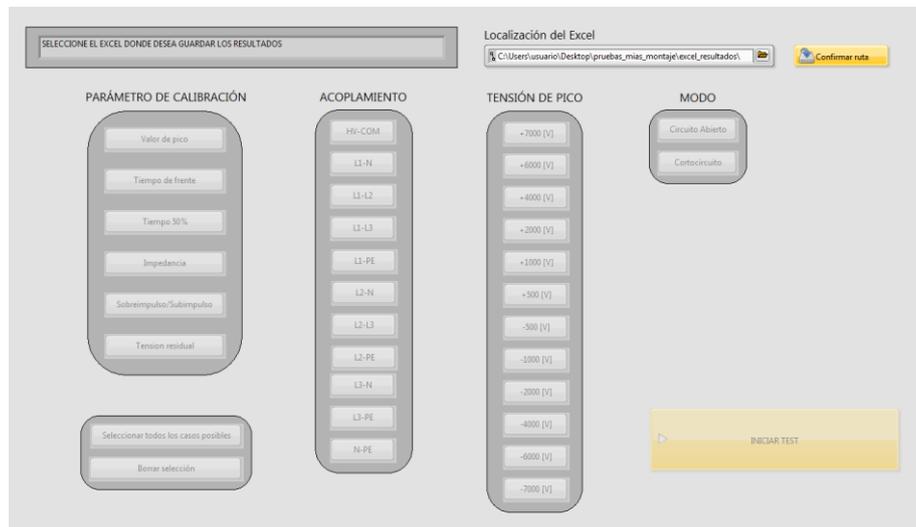
**Figura 31: Menú destinado a la calibración interna de ondas de choque del generador de ondas combinadas compacto *COMPACT NX7*.**



**Figura 32: Menú destinado a la calibración interna de ondas de choque de la CDN *COUPLING NX7*.**

Todos los menús secundarios de calibración muestran una interfaz de usuario muy intuitiva y sencilla, basada en bloques de botones que se irán habilitando y deshabilitando en tiempo real según la posible combinatoria de calibraciones contenidas en el proceso de calibración descrito en la norma UNE-EN 61000-4-5. Por tanto, se mostrará al usuario qué tipos de calibración puede programar en todo momento. Además, se cuenta con un botón de autorrelleno “Seleccionar todos los casos posibles”, disponible en todo momento, que cuando se pulse se seleccionarán automáticamente todos los casos posibles que queden por seleccionar desde ese instante. También se cuenta con un botón para borrar toda la selección de manera instantánea “Borrar

selección”. Todas estas funciones inteligentes ayudan al usuario a ahorrar un tiempo considerable a la hora de programar la calibración.



**Figura 33: Menú destinado a la calibración interna de ondas de choque del módulo 50121 interno de la CDN COUPLING NX7.**

Se añade también una funcionalidad para evitar errores en la programación de ensayos evitando así que se pueda lanzar un ensayo sin haberlo programado completamente. Esta función consiste en mantener deshabilitado el botón de “INICIAR TEST” hasta que se haya completado correctamente al menos una combinación de todas las posibles calibraciones que se pueden dar.

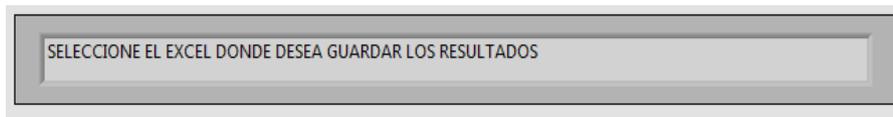
A continuación, se explica minuciosamente las propiedades de estos submenús y cada una de las funciones inteligentes que proporciona el software mediante ejemplos.

Debido a la similitud que presentan todos los menús secundarios de calibración, por simplicidad se decide proceder a la descripción de uno de ellos.

Supongamos un ejemplo en el cual un usuario desea calibrar la red de acoplo y desacoplo COUPLING NX7. El menú secundario de partida se presenta en la Figura 31.

En el citado menú secundario, se pueden visualizar los siguientes elementos que se describen a continuación:

- Panel informativo: Gracias a este panel el usuario recibe información completa, paso a paso de las instrucciones que debe seguir, además de mostrar información de la calibración del parámetro que se está realizando en cada momento.

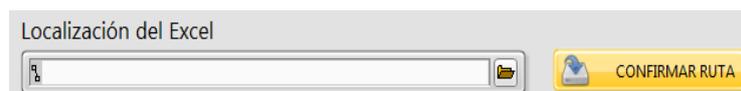


**Figura 34:** Panel informativo disponible en el menú de calibración interna de la CDN *COUPLING NX7*.

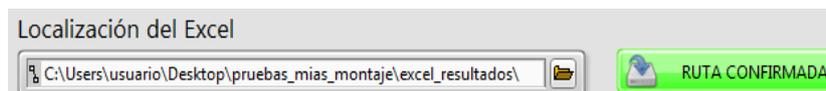
Los estados que se muestran en este panel informativo pueden ser los siguientes:

- SELECCIONE EL EXCEL DONDE DESEA GUARDAR LOS RESULTADOS. Este mensaje aparece por defecto y se mantiene en pantalla a la espera de la confirmación de la ruta del fichero Excel donde desean guardarse los resultados. Una vez finalizado el test, se volverá a mostrar nuevamente.
- CONFIGURE LA CALIBRACIÓN DESEADA. Este mensaje surge una vez que el usuario haya confirmado la ruta del fichero Excel. Se mantiene en pantalla hasta que se pulse el botón de “INICIAR TEST”.
- REALIZANDO TEST: *parámetro de calibración, acoplo, tensión de pico, modo*. Este mensaje se muestra una vez pulsado el botón de “INICIAR TEST”.

- Localización del Excel: Barra de navegación de archivos donde el usuario debe indicar la ubicación del fichero Excel donde desea guardar finalmente los resultados del proceso. Dispone de un botón con colores indicativos y mensajes que cambia de estado una vez elegida la ruta:



**Figura 35:** Elementos del menú de calibración interna de la CDN *COUPLING NX7* destinados a la elección del archivo Excel donde se desean guardar los archivos. Se muestra el aspecto previo a dicha elección por parte del usuario. (Botón informativo en color anaranjado).



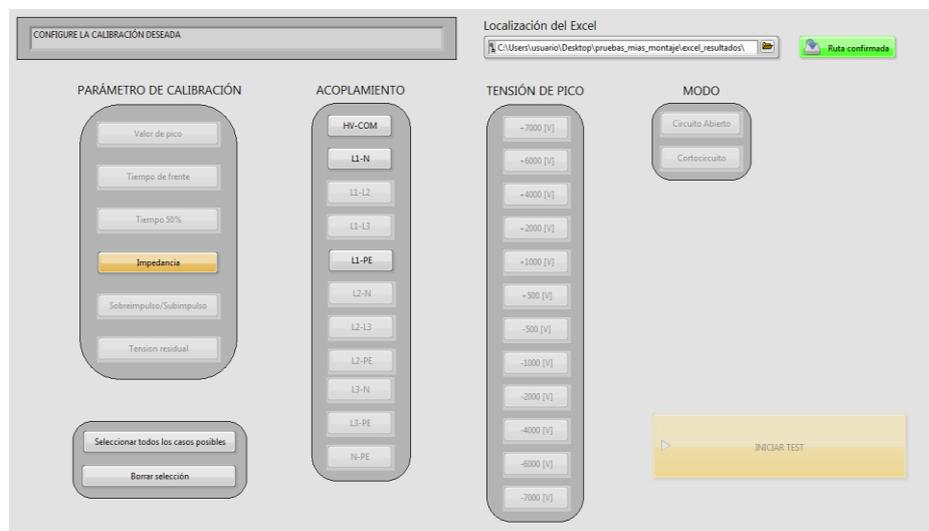
**Figura 36:** Elementos del menú de calibración interna de la CDN *COUPLING NX7* destinados a la elección del archivo Excel donde se desean guardar los archivos. Se muestra el aspecto una vez elegida la ruta.

- “PARÁMETRO DE CALIBRACIÓN”. Conjunto de botones que seleccionan los posibles parámetros de calibración en función de la configuración establecida en la fase 1 (pestaña “Tipo Calibración”).

- “ACOPLAMIENTO”. Conjunto de botones relativos a los acoplamientos necesarios en función de los parámetros de calibración seleccionados.
- “TENSIÓN DE PICO”. Conjunto de botones en el que se selecciona el nivel de pico de la onda de choque.
- “MODO”. Conjunto de botones referentes al tipo de medición a efectuar: circuito abierto y cortocircuito.

Dentro de las principales funcionalidades implementadas en el software del proyecto, destaca la facilidad de guiado de la aplicación hacia el usuario de manera inapreciable cuyo fin es evitar configuraciones no contenidas en el certificado de calibración. Esto se consigue mediante un conjunto de funciones inteligentes:

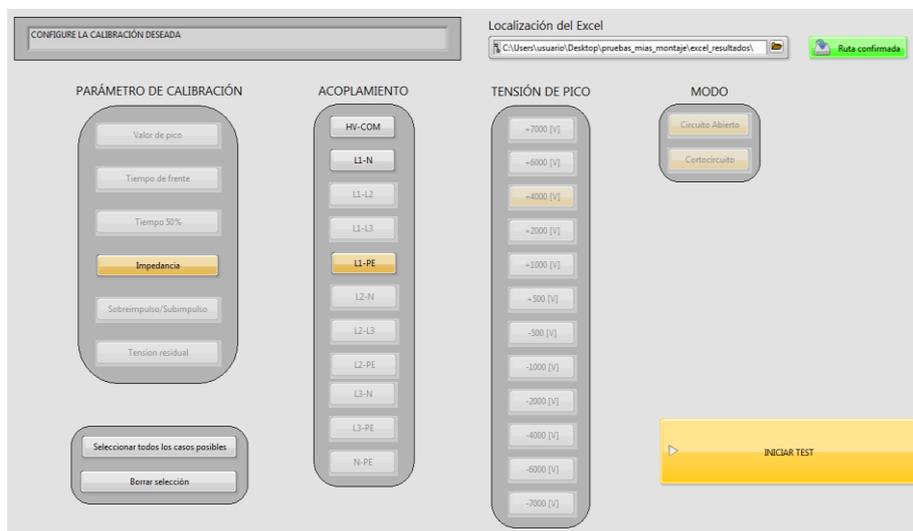
- Habilitación y deshabilitación de botones en función de lo pulsado anteriormente. Mediante esta función se inhabilita al usuario para que no pueda realizar una configuración de calibración inadecuada. Supóngase, que el usuario quiere calibrar el parámetro de impedancia de la *COUPLING NX7* y ya lo ha pulsado, el estado del menú será el siguiente:



**Figura 37: Ejemplo de habilitación automática de la botonería.**

En el ejemplo de la Figura 37, se aprecia cómo se mantienen solo habilitados para poder ser pulsados los botones que hacen referencia a los terminales de acoplamiento donde debe medirse el valor de impedancia. Esto no da lugar a equívoco y ayuda al técnico a no deber conocer ni a tener presente el informe de la norma UNE-EN 61000-4-5.

- Autoselección. Continuando con el caso anterior, supóngase que el usuario decide calibrar la impedancia que se presenta en el acoplamiento L1-PE y pulsa el botón que hace referencia a ello:

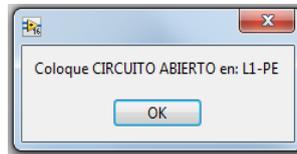


**Figura 38: Ejemplo de la función de autoselección.**

Como se puede observar, se ha autoseleccionado un valor de 4000 V y ambos modos de medición, tanto circuito abierto como cortocircuito, evitando al usuario tener que consultar los valores y los modos para cada uno de los parámetros y acoplamientos que deben calibrarse según el proceso técnico.

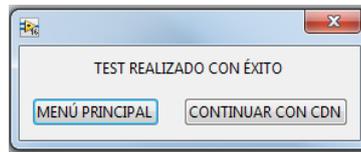
- Botones “Seleccionar todos los casos posibles” y “Borrar selección”. El primero, marcará todos los casos posibles compatibles con la selección que haya realizado el usuario hasta el instante previo a su pulsación. El segundo, borrará automáticamente todas las selecciones realizadas hasta el momento, devolviendo el panel a la situación original. Ambos botones se habilitan una vez pulsados al menos uno de los “PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN”.
- Inhabilitación del botón “INICIAR TEST” hasta que al menos haya una configuración de calibración completa. Evita errores y pérdidas de espera a la finalización de test incompletos.
- Ventanas emergentes informativas. Estas ventanas se muestran una vez pulsado el botón de “INICIAR TEST”. Con ellas se informa al usuario de los pasos a seguir desde dicho momento. Las posibles ventanas informativas tienen las siguientes finalidades:

- Mostrar información de qué modo de medición se va a colocar en qué acoplo. Mensaje que se muestra justo antes de proceder al lanzamiento de la onda de choque.



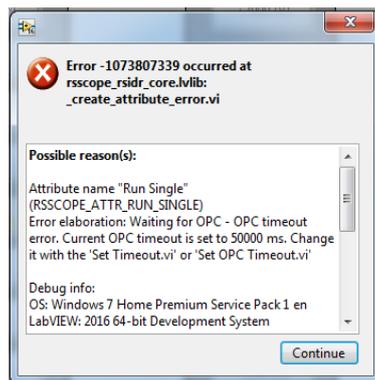
**Figura 39: Ejemplo de ventana emergente que muestra información al usuario comentando en qué acoplo debe conectar la sonda y en qué modo antes de continuar con el ensayo.**

- Mostrar al usuario información de cómo ha finalizado el proceso ofreciéndole la posibilidad de continuar con la calibración del dispositivo actual o de volver al menú principal.



**Figura 40: Ventana emergente lanzada al finalizar completamente el proceso de calibración ofreciendo al usuario la posibilidad de continuar en el menú actual o volver al menú principal.**

- Mostrar al usuario información de errores potenciales que pueden ocurrir por varios motivos: pérdidas de conexión con los dispositivos, lecturas que no se llegan a realizar en el osciloscopio por malas conexiones, acoplamientos incorrectos, etc.



**Figura 41: Ejemplo de ventana emergente con información de errores cuando algo no se ha ejecutado de manera correcta.**

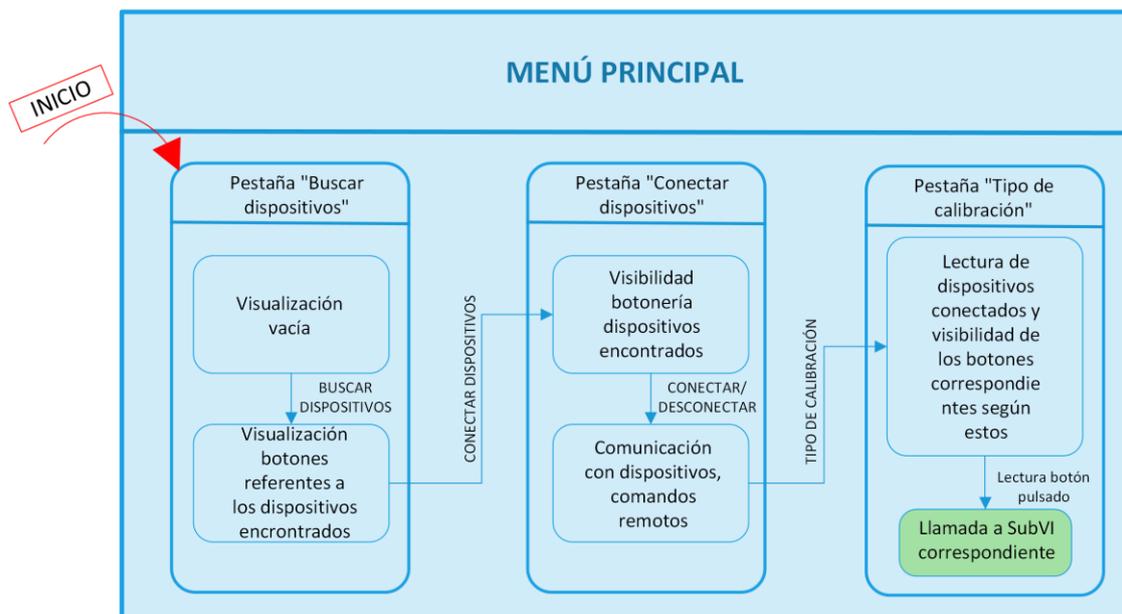
### 2.3. Descripción programática

En los siguientes apartados se describe la aplicación a nivel de código. Básicamente, se detalla el procedimiento seguido para la programación del diagrama de bloques que

gestiona la presentación final de la interfaz de usuario, la gestión de la botonería, la lectura de la configuración de las calibraciones establecidas por el usuario, la gestión de la comunicación con los dispositivos mediante protocolo *Ethernet*, el lanzamiento de las ondas de choque, la adquisición de datos y el volcado de estos a un documento Excel. Con el fin de realizar una programación estructurada, el diagrama de programación se realiza mediante una programación secuencial en distintos *SubVI*. Cada uno de ellos destinados a la gestión de las propiedades anteriores de manera independiente para cada uno de los menús presentados.

El bloque *SubVI* “menu\_completo\_ver0.7.vi” destinado al desarrollo del menú principal, es el bloque del que parte el programa. Desde este bloque se hace referencia directa a los bloques que desarrollan cada uno de los menús secundarios mediante llamadas, ya que los *SubVI* en *LabVIEW* trabajan como funciones. Estos *SubVI*, son “menú\_surge\_generador\_3.vi” destinado al desarrollo del menú que gestiona la calibración del *COMPACT NX7*, “menú\_surge\_CDN\_v0.5.vi”, que gestiona el menú de calibración de la *CDN COUPLING NX7* y “menú\_surge\_CDN\_50121\_0.3.vi” el cual gestiona el menú que hace referencia a la calibración del módulo interno 50121 de la *CDN COUPLING NX7*.

En la Figura 42 se muestra un esquema simplificado donde se puede ver de manera esquemática la programación seguida a grandes rasgos en el menú principal y en la Figura 43 se muestra el desarrollo de cualquiera de los menús secundarios:



**Figura 42:** Representación del diagrama de flujo de datos seguido por el código desarrollado referente al menú principal. En verde se representa la llamada al *SubVI* correspondiente a la opción elegida del usuario, pudiendo ser “menú\_surge\_generador\_3.vi”, “menú\_surge\_CDN\_v0.5.vi” o “menú\_surge\_CDN\_50121\_03”.

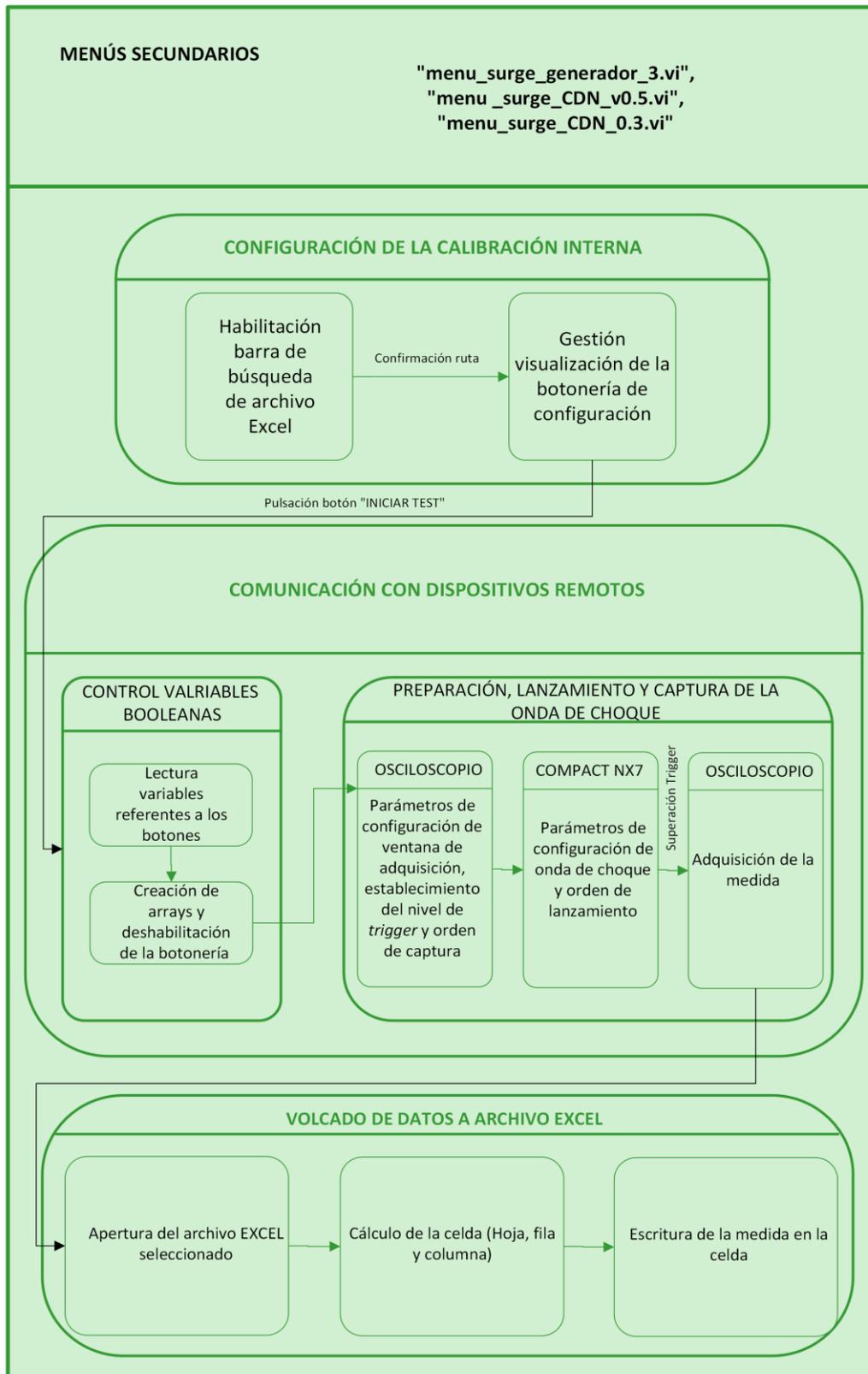
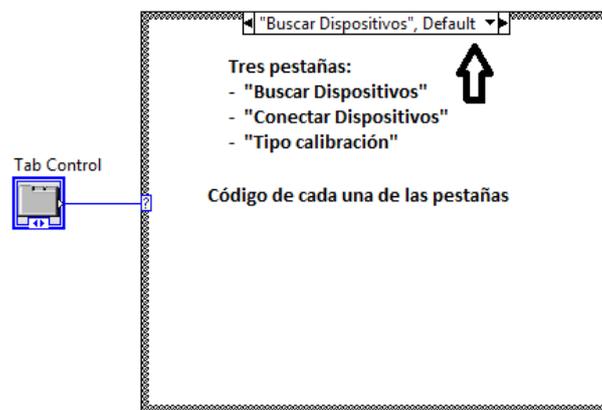


Figura 43: Representación del diagrama de flujo de datos seguido por el código desarrollado referente a los menús secundarios desarrollados en los *SubVI* “menú\_surge\_generador\_3.vi”, “menú\_surge\_CDN\_v0.5.vi” o “menú\_surge\_CDN\_50121\_03”.

Como se puede observar en las citadas figuras, el desarrollo del software se ha llevado a cabo mediante una programación fundamentalmente secuencial, aunque en determinadas ocasiones, existe un grado de paralelismo entre el *COMPACT NX7*, la *COUPLING NX7* y el osciloscopio.

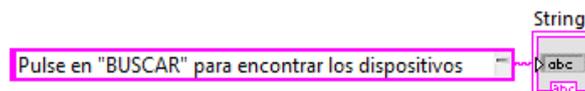
### 2.3.1. Fase 1 (menú principal): “Búsqueda, conexión de dispositivos y selección del tipo de calibración en el diagrama de bloques”

La estructura del menú principal, parte de una estructura “case structure” manejada por el recurso “Tab Control” que se va a encargar de gestionar la navegación por las tres pestañas que componen el menú principal. Esta primera estructura engloba el resto de la programación del diagrama en su interior.



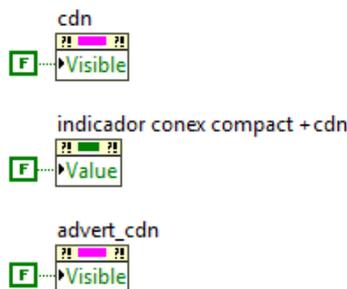
**Figura 44:** *Case Structure* destinado a la gestión de las pestañas que componen el menú principal, en el interior de cada uno de los “cases” se encuentra el código desarrollado que gestiona cada una de ellas.

En el interior de la estructura anterior, en la pestaña “búsqueda de dispositivos”, se encuentra la cadena que muestra mensajes en el panel frontal informando de los pasos a seguir y los estados de la búsqueda.



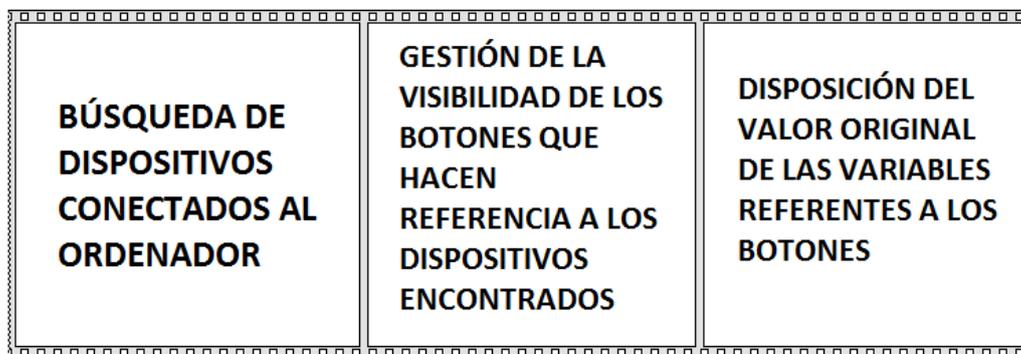
**Figura 45:** Variable tipo *String* que recoge los estados del indicador del panel frontal.

También se encuentran definidas todas las variables que activan y desactivan la visibilidad de los botones e indicadores del menú principal, así como el estado de las variables booleanas que gestionan el valor de cada uno de los botones e indicadores como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 46:** Ejemplo de cómo se realizan las funciones descritas.

El “*case structure*” principal que se está describiendo, engloba otra estructura en su interior, esta vez gobernada por el botón “buscar”, de tal manera que cuando se pulse en el panel frontal, esta estructura entrará en el caso *true* y se comenzará la búsqueda de los dispositivos (si no se pulsa no hace nada). Esta fase de búsqueda de los dispositivos se realiza de manera secuencial, mediante una estructura “*flat sequence*”, dividida en tres *frames* (pasos), con la que se posibilita la manera de desarrollar código de manera secuencial como se explica de acuerdo a la Figura 47.



**Figura 47:** Ejemplo de uso de la estructura “*flat sequence*” del menú principal.

En el primer *frame*, se utiliza el recurso “*VISA FindResource*” que se encarga de encontrar en qué puertos del ordenador hay dispositivos conectados recogiendo en una lista y devolviendo además el número de puertos conectados, cantidad que se utiliza para contabilizar el número de iteraciones del bucle *for*, que serán tantas como dispositivos conectados se hayan encontrado, se muestra en la siguiente figura el código destinado a esta función:

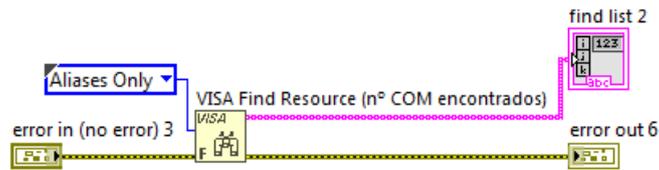


Figura 48: Código destinado a la búsqueda de COM en el ordenador.

Este bucle *for* sirve para ir recorriendo la lista de los dispositivos encontrados y se va comparando con el nombre que debe tener cada dispositivo, si es igual (case true), entra en el siguiente case *structure*, donde se pasa el comando \*IDN? a dicho dispositivo, el cual devuelve su nombre y se pasa a modo remoto. Comparando el nombre devuelto con el del manual de usuario de dicho dispositivo, se sabe si está conectado y a qué puerto del ordenador. Finalmente, se le pasa el comando \*GTL para pasar de nuevo al modo local (desconexión remota), esto último se hace para que el usuario tenga la decisión final de si conectarse o no a dicho dispositivo en la siguiente pestaña del menú principal.

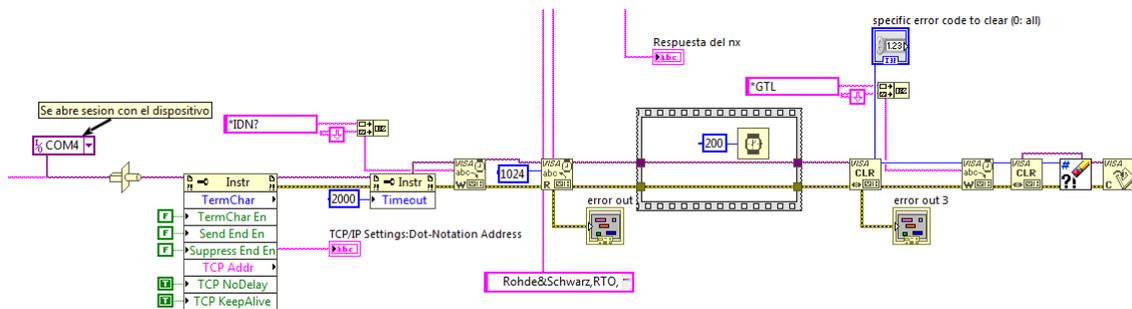


Figura 49: Código para asociar la dirección de los dispositivos encontrados a cada puerto de lectura del ordenador.

En este *frame* también se encuentra otro case que activa las variables o no que hacen referencia a cada uno de los dispositivos conectados como se muestra en la Figura 50.

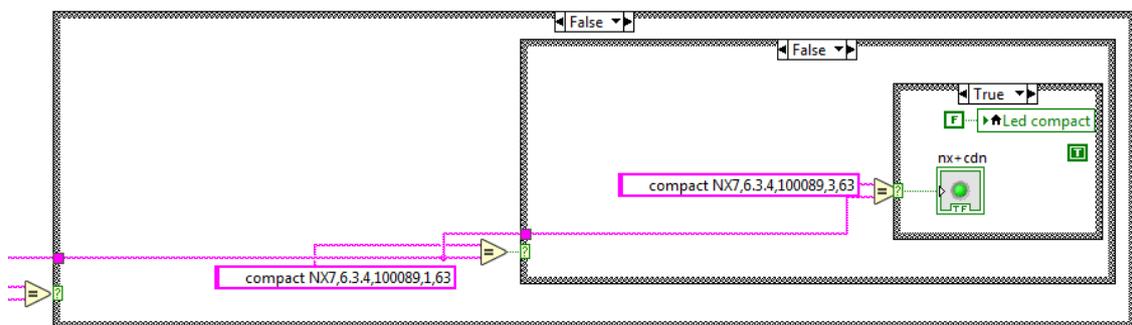


Figura 50: Código destinado a activar las variables booleanas indicativas de cada uno de los dispositivos para saber si se han encontrados o no.

En el siguiente *frame* se programan las variables para que los indicadores aparezcan en el panel frontal o no, todo ello se hace mediante las propiedades de los nodos (*visible*). Hay que mencionar el caso especial de que se encuentre el osciloscopio y el compact NX7, pero no la CDN, ya que se mostrará un mensaje en la pantalla, para ello, se comprueba con un *flat sequence* y se almacena en la variable “Nadacontrol”, que será útil en la siguiente pestaña. En la Figura 51, se muestra un ejemplo de cómo se activan estos indicadores, mientras que en la figura Figura 52 se muestra el caso especial mencionado.

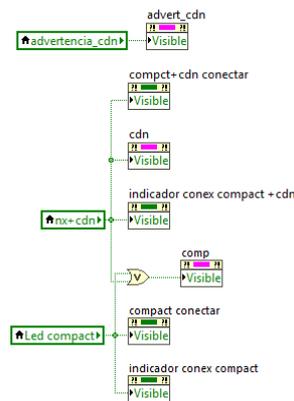


Figura 51: Ejemplo de activación de variables booleanas mediante referencia de variables locales.

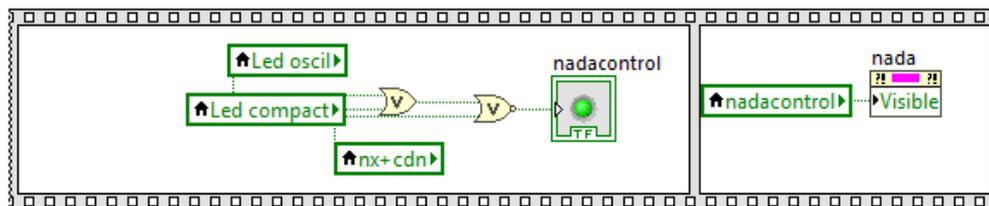


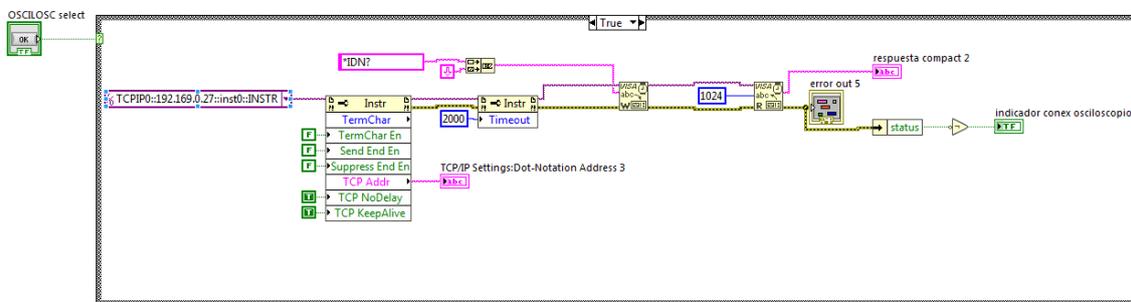
Figura 52: Código destinado a dar visualización en el panel frontal al indicador informativo con ayuda específica cuando no se ha encontrado la CDN COUPLING NX7.

En el tercer y último *frame* de este *flat sequence*, lo único que se hace es devolver las variables booleanas de control a su estado inicial.



Figura 53: Ejemplo de código que devuelve al estado inicial las variables determinadas.

En la segunda pestaña del “*case structure*” gobernado por el recurso Tab control, se gestiona la segunda pestaña del menú principal “Conectar dispositivos”, donde como se intuye, el usuario podrá conectar de manera remota al ordenador los dispositivos encontrados en la pestaña anterior. Dentro de este *case structure*, se encuentra otro gobernado por el botón conectar, que según se pulse, entra en estado true y se leen las variables que indican qué botones están pulsados y cuáles no. Las variables que se encargan de esto, gobiernan otros casos, que se encargan de mandar los comandos necesarios para conectar o desconectar el dispositivo pulsado. En la Figura 54, se observa un ejemplo de cómo se lleva a cabo.



**Figura 54: Ejemplo de código destinado a la conexión remota de un dispositivo con el ordenador.**

Como se muestra en la figura anterior, inicialmente se abre la sesión de comunicación entre el osciloscopio y el puerto del ordenador y se configura para comenzar a recibir comandos. Estos comandos son enviados mediante los recursos VISA de *LabVIEW*. VISA es un estándar para configurar, programar y depurar sistemas de instrumentación que comprenden interfaces GPIB, VXI, PXI, serial (RS232/RS485), Ethernet/LXI y/o interfaces USB. Mediante ello, se construye una cadena donde se escribe el comando \*IDN? con el recurso “Visa Write”, se da un tiempo de proceso para leer mediante el recurso “Visa Read”, que devuelve la respuesta, además mediante el control de errores, se activa un indicador para saber si todo ha ido bien. Este indicador se enciende el panel frontal en modo led, para informar al usuario si se ha conectado de manera remota el dispositivo finalmente o ha habido un error.

En caso de que la variable que refleja el valor del botón del osciloscopio sea *false*, quiere decir que el usuario no quiere conectarse al dispositivo y por ello el comando que ha de mandarse es \*GTL para volver a modo local (modo desconexión) como se muestra en la siguiente figura:

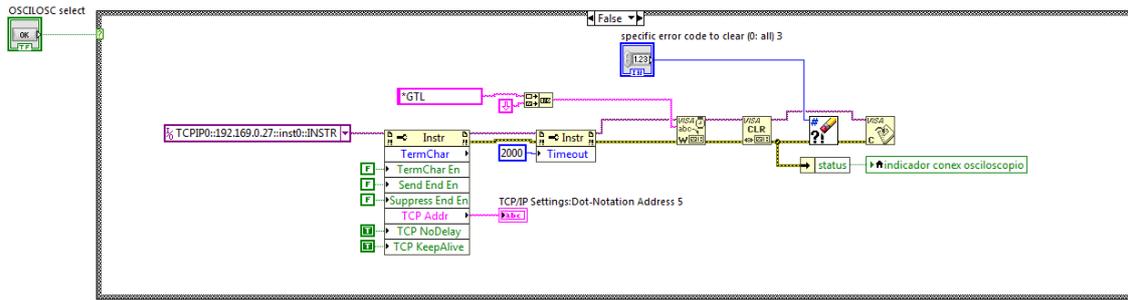


Figura 55: Ejemplo de código destinado a desconectar de modo remoto un dispositivo devolviéndolo a modo local.

A modo resumen, cabe mencionar que la manera de programar la conexión y desconexión del generador *COMPACT NX7* y a la CDN es similar a la del osciloscopio.

En la tercera pestaña del case structure, de manera secuencial, mediante un *flat sequence*, primero se procede a la lectura de las variables booleanas pulsadas en la fase anterior (qué dispositivos han sido conectados), en función de estas, en el panel frontal, se mostrarán las calibraciones que se puedan llevar a cabo, como se muestra en la siguiente figura, si el osciloscopio no está pulsado, no se mostrará ningún botón para que se pueda abrir ningún menú de calibración, debido a que sin el osciloscopio, no se pueden leer resultados y por lo tanto no debe poder lanzarse ningún test, mientras que si está pulsado se va comprobando si están conectados el *COMPACT NX7* y la *COUPLING NX7*, y en función de ellos, en el panel frontal se muestran los botones correspondientes.

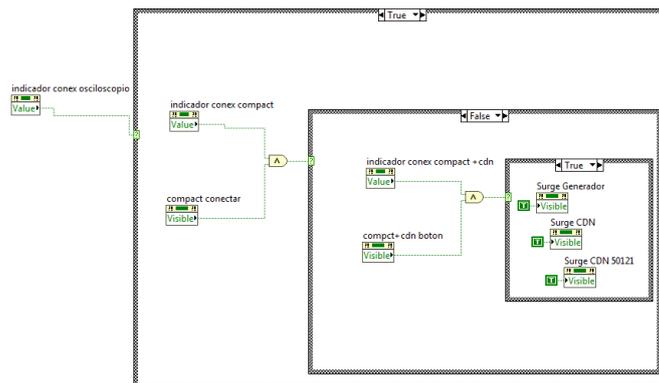


Figura 56: Código destinado para mostrar los botones que abren cada uno de los menús secundarios en la pestaña “Tipo calibración” del menú principal.

Seguidamente, en el siguiente *frame*, se procede a la lectura del botón de tipo de calibración mostrados en el *frame* anterior, de tal manera que del botón de calibración que haya sido pulsado por usuario, retornará a modo local el osciloscopio (indicando la apertura de un nuevo test) y llamando al *SubVI* correspondiente que abre el menú

secundario solicitado. En la siguiente figura se muestra el ejemplo correspondiente a haber pulsado el botón “Surge generator” en el panel frontal:

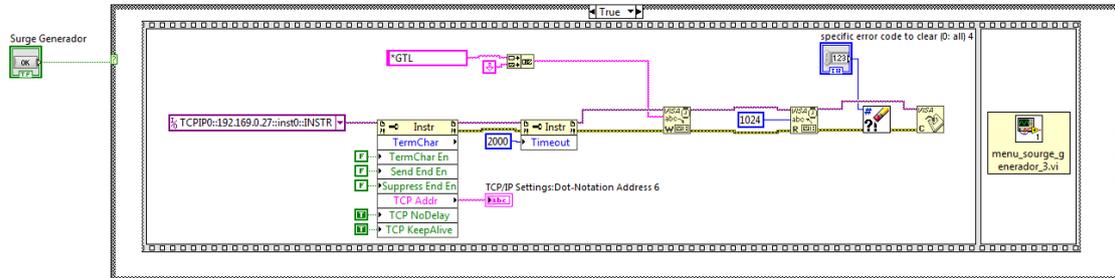


Figura 57: Código destinado a devolver a modo local el osciloscopio y a abrir el menú secundario destinado a la calibración interna para ondas de choque del generador compacto COMPACT NX7.

### 2.3.2. Fase 2 (menús secundarios): “Programación, lanzamiento de la calibración, recogida de datos y volcado de estos a Excel en el diagrama de bloques”

Los menús secundarios han sido programados en tres *SubVI*:

- “menu\_surge\_generator\_3.vi”
- “menú\_surge\_CDN\_v05.vi”; y
- “menu\_surge\_CDN\_50121\_03”

Debido a la similitud a nivel de código de todos ellos, por simplicidad, se procede a la explicación de uno de ellos, concretamente el “menu\_surge\_CDN\_v0.5.vi”

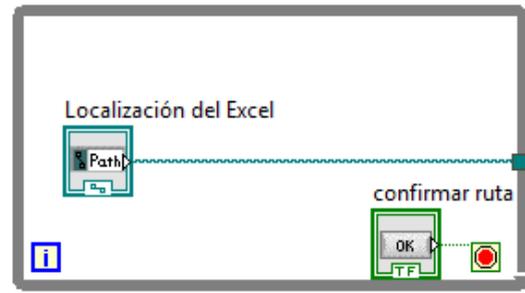
En el caso de los menús secundarios se realiza una programación principalmente secuencial con determinado grado de paralelismo como se puede observar la Figura 43.

Todo el código de este *SubVI* está englobado en un *While* cuya condición de salida es pulsar el botón de la ventana emergente que aparece al final de la ejecución ofreciendo al usuario quedarse en el menú actual o volver al menú principal; es en este último caso cuando se cumple la condición de salida y el programa se cierra.

Mediante una estructura *flat sequence* principal de cinco *frames*, se gestionan los pasos de manera secuencial como se ha explicado. Las funciones de cada uno de estos *frames* son las siguientes:

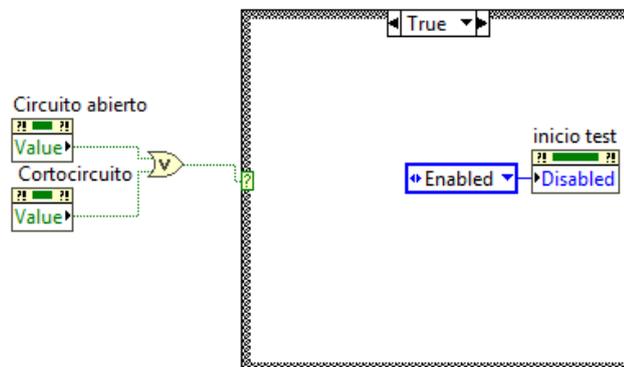
- *Frame 1*: Establecer el mensaje inicial de la cadena informativa del panel frontal y establecer la deshabilitación de los botones de los parámetros de

calibración. Pero su función principal es mantenerse a la espera de que el usuario escoja la ubicación del Excel donde desea guardar los resultados mediante un bucle *While*, con condición de salida sea haber pulsado el botón de confirmar ruta.



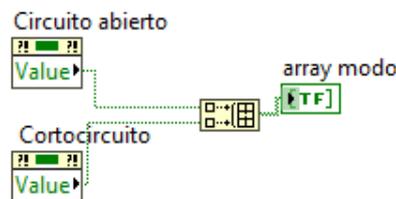
**Figura 58:** Código destinado a la lectura de la ubicación final del archivo Excel elegido por el usuario.

- *Frame 2:* Gestión de la habilitación y deshabilitación de los botones que hacen referencia a las características de las calibraciones en tiempo real. Esto se consigue mediante un bucle *While* cuya condición de salida sea haber pulsado el botón “Iniciar Test”. Este bucle engloba todo el código destinado a ello, que mediante un *flat sequence*, va leyendo las variables booleanas que hacen referencia a cada uno de los bloques del panel frontal. Finalmente, como ejercicio de seguridad, el botón de “Iniciar Test”, no se encontrará activo en ningún momento hasta que no se haya configurado a menos un test de manera completa, esto es, programáticamente, hasta que no se haya pulsado al menos uno de los dos botones del bloque “modo”:



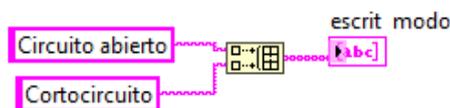
**Figura 59:** Código destinado a la habilitación y deshabilitación del botón “INICIAR TEST” del panel frontal.

- *Frame 3*: Destinado a la seguridad del propio software, deshabilitando todos los botones que existen en el panel frontal de la aplicación. En este frame se entra una vez pulsado el botón de “inicio test”, es por ello que no debe haber ningún botón habilitado que pueda pulsarse mientras se ejecuta la calibración. En este frame también se crean los *arrays* que van a gestionar el lanzamiento de las ondas de choque, así como la cadena que muestra en el indicador informativo del panel frontal la información del ensayo que se está realizando en el momento actual, para ello se crean dos tipos de *arrays*:
  - *Array* de variables booleanas: Destinado a recoger los valores de las variables booleanas que hacen referencia a las características de calibración (si están seleccionados o no por el usuario para llevar a cabo el lanzamiento de ese tipo de configuración de ensayo):



**Figura 60: Ejemplo de creación de un array de tipo booleano.**

- *Array* de tipo *string*: Destinado a controlar qué tipo de parámetro, acoplamiento, tensión de pico o modo ha sido pulsado y a construir la cadena informativa y la trama que se va a enviar al generador compacto *COMPACTNX7* mediante protocolo Ethernet en el siguiente *frame*:

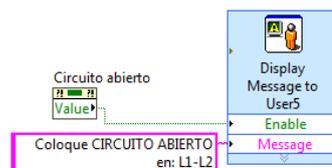


**Figura 61: Ejemplo de creación de un array de tipo String.**

- *Frame 4*: Es el frame donde se realiza la comunicación con los dispositivos. Para ello, se recorren diversos bucles *for* compuestos en su interior por dos estructuras case anidadas, una esclava de los valores de los *arrays* booleanos y la otra gestionada por las cadenas de los *arrays* de tipo *string* creados y mencionados en el *frame* anterior. De tal manera, se consigue recorrer cada uno de los casos posibles de toda la amplitud

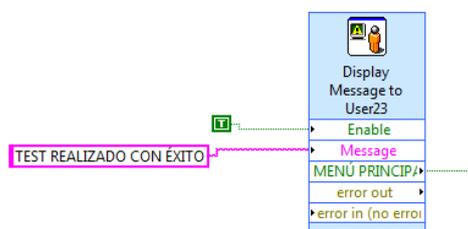
combinatoria de las diferentes calibraciones que se pueden llegar a efectuar siguiendo el proceso descrito en la norma UNE-EN 61000-4-5. De esta forma se solventa la errata de efectuar posibles calibraciones no contenidas en dicho documento y además solo se lanzarán aquellas que hayan sido programadas por el usuario, entrando en los casos adecuados y leyendo de una manera efectiva cada uno de los casos. Estas estructuras anidadas, están programadas en un orden específico con el que se consigue la optimización máxima a la hora de tener que cambiar el *setup* de medición reduciendo el número de cambios al menor posible.

En este *frame*, también se irán lanzando ventanas emergentes en el panel frontal indicando al usuario dónde deben colocarse los acoplamientos y en qué modo, asegurando así la correcta disposición física de los elementos para evitar pérdidas de tiempo con mediciones erróneas:



**Figura 62: Ejemplo de código destinado al lanzamiento de una ventana emergente.**

*Frame 5:* Devuelve antes de finalizar, todos los valores y estados de las variables que hacen referencia a la botonería al estado inicial por defecto. Además, lanza el mensaje mediante una ventana emergente que da información al usuario del estado de finalización del proceso y la posible elección de si desea quedarse en la calibración del dispositivo actual o desea volver al menú principal:



**Figura 63: Código destinado al lanzamiento de la ventana emergente final.**

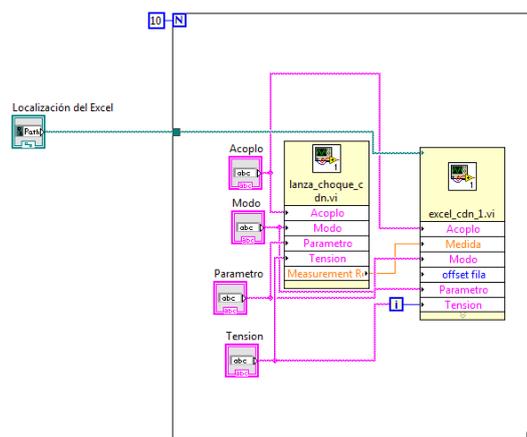
En este punto de la memoria, se debe profundizar un poco más en lo que ocurre en el cuarto *frame* de este *flat sequence* general, en él es donde se produce la comunicación con los dispositivos con cierto grado de paralelismo de la siguiente forma:

En el caso más profundo de todos los bucles anidados (una vez recogido el valor del parámetro de calibración que se va a ejecutar), se encuentra el *SubVI* “CDN\_osci\_excel\_1.vi” que recibe como entradas el acoplo, el modo, el parámetro, la tensión del ensayo que se va a ejecutar y el Excel donde se van a guardar los resultados.



**Figura 64:** SubVI “CDN\_osci\_excel\_1.vi”, desarrollado para preparar el Excel donde se guardarán los resultados.

En el interior de este bloque se encuentra el siguiente conjunto:



**Figura 65:** Composición interna del bloque “CDN\_osci\_excel\_1.vi”.

Este bucle *for*, es el que gestiona el número de mediciones del parámetro de calibración y por tanto el número de lanzamientos de ondas de choque con las mismas características. Según la norma UNE-EN 61000-4-5 es esta la cantidad de ensayos que deben realizarse para cada medida final, una vez recogidos estos datos, se procesarán para obtener la medida final mediante un gran flujo de operaciones que no son competentes con este proyecto.

Los dos bloques que aparecen en la figura anterior, tienen como objetivo:

- “Lanza\_choque\_cdn.vi”: Mediante sus entradas, recoge toda la configuración del test que se va a realizar en ese momento, configurando el osciloscopio de manera adecuada para presentar una ventana de captura acorde con el tipo de onda de choque que se va a lanzar desde el generador compacto. Además de configurar mediante una cadena de comandos el

*COMPACT NX7*. Como salida, devuelve la medida recogida por el osciloscopio.

- “Excel\_cdn\_1.vi”: Recoge del bloque anterior la medida y como entrada adicional lee la ubicación del Excel donde debe colocarse, calculando la celda correspondiente.

Profundizando un poco más en cada uno de los bloques últimos mencionados que se encuentran dentro de este bucle *for* que realiza las 10 medidas, se ahonda un poco más en el fondo del proyecto:

- **Preparación y adquisición de medida mediante el osciloscopio:**

Uno de los principales retos de este proyecto es el manejo remoto del modelo de osciloscopio *R&S RTO 1022*, para ello se debe entender que la adquisición de datos se realiza sólo de la información que se muestra en la pantalla en todo momento. Es por ello que existe una gran necesidad de ajustar principalmente los dos ejes que aparecen en pantalla, el eje y, que muestra el nivel máximo y mínimo de medición (controlado por los Voltios o Amperios por división siendo diez las divisiones totales de la pantalla) y el eje x, que muestra el tiempo de adquisición. Estos dos parámetros están programados para variar en cada medida y obtener una mayor resolución de medida ya que están íntimamente relacionados con la forma de onda que se va a recoger. No se prepara la ventana de adquisición del osciloscopio cuando se espera medir un valor de pico de entorno a los 7000 V que cuando se espera a una de 500 V ya que afectan a la fiabilidad de la medida relacionada con la resolución del eje vertical. Tampoco se prepara de igual forma cuando se espera medir un tiempo de frente de onda o cuando se espera medir un sobreimpulso, debido que los tiempos en los que se producen dichos eventos son drásticamente diferentes, para el primero se trata de un par de microsegundos y el segundo necesita una ventana de al menos un milisegundo para aparecer en pantalla. En el interior del bloque “Lanza\_choque\_cdn.vi” se han tenido en cuenta todas las características de configuración de una onda de choque para configurar la ventana de adquisición. En este bloque, lo primero que se hace es preparar los valores de las variables que afectan a los bloques que programan el osciloscopio, todos los parámetros que afectan y por lo tanto se hacen variar la configuración de la ventana de adquisición son los siguientes:

- Parámetro de calibración seleccionado. Según este, debe variar tanto la división por niveles del eje y (afectado por el valor de pico, impedancia y tensión residual), como el tiempo de adquisición mostrado en el eje x (afectado por el tiempo de frente, tiempo al 50% y sobreimpulso o subimpulso). Como anotación debe reflejarse que el parámetro de tensión residual muestra valores de tensión mucho más

bajos que el nivel de cresta de la onda lanzada, esto también se ha debido de tener en cuenta.

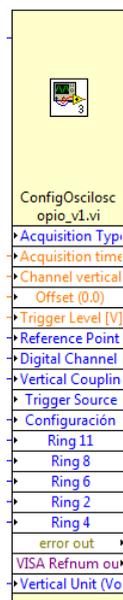
- Polarización de la onda. Si es positivo, la onda se dibujará en el osciloscopio “hacia arriba”, por ello la referencia debe estar en la parte inferior de la pantalla. En el caso de ser polarizaciones negativas ocurre lo contrario.
- Modo de acoplamiento. Dado que las sondas que se utilizan para medir en corriente (en cortocircuito) y tensión (en circuito abierto) presentan atenuaciones diferentes (tanto de valor, como de unidades), se debe programar también una atenuación en modo manual de manera remota cada vez que se prepare un modo de acoplamiento distinto. También se deben cambiar las unidades de medida (Voltios o Amperios) en función de ello. El modo de acoplamiento, además afecta con la configuración de la ventana de adquisición a la hora de preparar los niveles de referencia de medida en el parámetro de tiempo de frente, siendo entre el 10% y el 90 % para cortocircuito y entre el 30% y el 90% para circuito abierto según criterio del certificado de calibración, por ello también se ha tenido en cuenta.

Se debe anotar que el osciloscopio se configura en modo “*Run Nx Single*” quedando a la espera de superación de nivel de *trigger*, el cual está adecuado a cada configuración de onda de choque.

Todo ello se pasa al *SubVI* “*ConfigOsciloscopio\_v1.vi*” encargado de configurar el osciloscopio y que en cuyo interior además de configurar los valores citados, también configura otros parámetros de una manera secuencial mediante bloques ya programados en el siguiente orden:

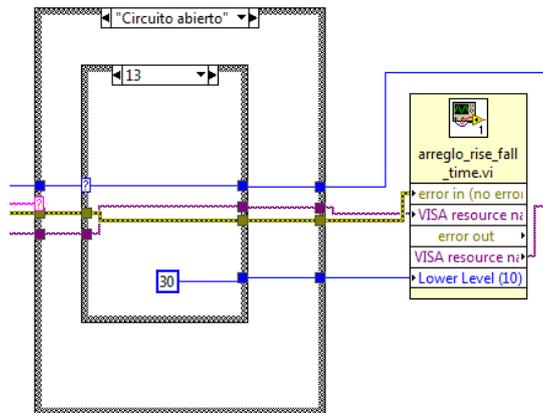
1. Apertura de sesión de comunicación mediante protocolo Ethernet con la dirección IP del osciloscopio.
2. Tipo de medida, unidades del eje vertical y nivel de atenuación de la sonda.
3. Acoplo vertical (en todos los casos será alta impedancia, 1 M $\Omega$  DC) y valor del rango vertical.
4. Tipo de adquisición (siempre por muestras)
5. Valor de *offset*.
6. Punto de referencia del eje y.
7. Tiempo de adquisición.

8. Resolución.
9. Numero de muestras por medida (afectará al tiempo de medida, tras realizar diferentes pruebas se decide que 4000000 es altamente suficiente y efectivo).
10. Configuración del tipo de *trigger*, en todos los casos será por flanco.
11. Tipo de flanco del trigger, en todos los casos será tanto de subida como de bajada.



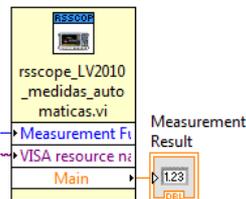
**Figura 66:** SubVI “ConfigOsciloscopio\_v1.vi” destinado a la configuración de la ventana de adquisición. Este bloque se encuentra en el interior del SubVI “lanza\_choque\_cdn.vi”.

A la salida del bloque anterior, se añade un arreglo para solucionar la problemática ya mencionada de los niveles de referencia de medida del tiempo de frente, en el que se tiene en cuenta si se mide en circuito abierto o en cortocircuito, modificando el nivel de referencia inferior:



**Figura 67: Código destinado a la problemática surgida en los niveles de referencia de medida del parámetro “Tiempo de frente”.**

Finalmente se realiza la captura mediante el siguiente *SubVI*, en cuyo interior se ha programado un “*timeout*” de 50 segundos, debido a que el tiempo entre ondas de choque no debe superar los 60 segundos según la norma UNE-EN 61000-4-5, cerrando la sesión de comunicación y devolviendo el valor medido:



**Figura 68: Bloque destinado a realizar la adquisición de la medida en el osciloscopio de referencia.**

Paralelamente al proceso descrito referido a la preparación del osciloscopio y a la realización de la adquisición de la medida, dentro del mismo bloque “*lanza\_choque\_cdn.vi*” se establece la comunicación con el generador compacto y se van mandando los comandos con las instrucciones seguidas de acuerdo con el *Sniffer* proporcionado por el fabricante.

Hay que anotar la gran relevancia de demora en el desarrollo del proyecto a la hora de comprender el funcionamiento en modo remoto tanto del *COMPACT NX7* como del *COUPLING NX7* debido a que en el único documento proporcionado por el fabricante “*RemoteManual-compact-NX-E-V1.21*” [9] solo aparecía un ejemplo de cómo proceder en la comunicación con el dispositivo, pero siguiendo la norma de las ráfagas que no compete con este proyecto. Primeramente, en un momento inicial se decidió seguir ese mismo ejemplo, pero con los comandos que aparecen en dicho documento referidos a la configuración de ondas de choque. Tras la realización de esto, el programa se quedaba sin respuesta en diversos casos por parte de ambos dispositivos no obedeciendo a las órdenes mandadas de las tramas, o presentando problemas en las permutaciones entre

ambos dispositivos. Otro de los problemas encontrados fue el comportamiento extraño a la hora de manejar remotamente los botones de habilitación “*Test ON*” que presentan ambos dispositivos.

Por todo ello se decide poner en contacto con el proveedor para presentarle los problemas encontrados. Tras varios días, se recibe como respuesta y solución el *Sniffer* del programa. Un *Sniffer* es una aplicación especial para redes informáticas (un software) que se encarga de capturar y analizar paquetes en tránsito (entrada y/o salida) en una red de comunicaciones entre dispositivos.

Gracias al *Sniffer*, se encontró que el problema eran los altos y diferentes tiempos de respuesta ante los comandos que se mandaban al generador, estos tiempos variaban en función de si entraba en funcionamiento la *CDN COUPLING NX7*, la alternancia de esta con el *COMPACT NX7* y el tiempo de respuesta requerido para cada uno de los diferentes comandos.

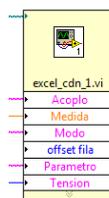
Una vez analizado cada uno de estos tiempos aplicando una metodología de “*ensayo-error*”, se reduce al máximo el lanzamiento de cada onda de choque. A continuación, se redactan por orden los comandos enviados al *COMPACT NX7* para el lanzamiento de cada perturbación:

1. Apertura de sesión de comunicación mediante protocolo Ethernet con la dirección IP del osciloscopio.
2. IDN?: Además de devolver la dirección del generador compacto, lo pasa a un estado remoto.
3. LDMD: Carga el módulo que se va a utilizar.
4. PHMD: Carga modo monofásico o modo trifásico.
5. STAT?: Estado actual del servicio.
6. CPLD: Utilizado para seleccionar el módulo donde se va a acoplar el impulso (*COMPACT NX7* o *COUPLING NX7*)
7. SETP: Configuración de las características de la onda de choque (Valor de pico, tiempo de repetición, acoplo, polarización...)
8. TSTO ON: Encendido de los botones de habilitación de las salidas.
9. START: Inicio del lanzamiento.
10. STOP: Finalización de la ejecución de la onda de choque.
11. TSTO OFF: Deshabilitación de los botones de habilitación de las salidas.

## 12. \*GTL: Retorno al modo local.

### - Preparación del Excel donde se recogen los resultados:

Mediante el bloque “Excel\_cdn\_1.vi”, se recoge la medida tomada por el osciloscopio. Para ello como entrada a este bloque aparecen de nuevo los parámetros configurados por el usuario y la localización del Excel seleccionado por este, para calcular la celda donde se debe ubicar la medida tomada:



**Figura 69: Bloque destinado a la recogida de la medida tomada por el osciloscopio y volcado de esta al archivo de Excel correspondiente.**

Dentro de este bloque, aparecen una serie de bloques destinados al cálculo de la hoja de Excel correspondiente con el parámetro de calibración elegido, a la fila, correspondiente con el acoplo seleccionado y a la columna que hace referencia al nivel de pico de la onda de choque. Para ello se utilizan los siguientes bloques programados de manera secuencial:

1. “New Report.vi”: Crea un nuevo *report* y abre el tipo de archivo especificado por el path de entrada “Localización Excel”.
2. “Excel Workbook Propierties.vi”: Destinado a definir información del archivo Excel seleccionado.
3. “GetCelda.vi”: Calcula la celda correspondiente mediante el índice de la fila, el índice de la columna y un offset añadido para escribir las diez medidas.
4. “EscribirValor.vi”: Escribe en la celda calculada con el bloque anterior el valor de la medida.
5. “Save Report to File.vi”: Guarda el archivo actualizado en la ubicación específica.
6. “Dispose Report”: Libera el *report* de la memoria y se programa para que se quede abierto el documento.

Finalmente, el aspecto del Excel será el siguiente:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
208													
209	L2-L3					4000	-4000						
210													
211	CA												
212	CA												
213	CA												
214	CA												
215	CA												
216	CA												
217	CA												
218	CA												
219	CA												
220	CA												
221													
222	MEDIA CA												
223													
224													
225													
226													
227	CC												
228	CC												
229	CC												
230	CC												
231	CC												
232	CC												
233	CC												
234	CC												
235	CC												
236	CC												
237													
238	MEDIA CC												
239													

**Figura 70: Aspecto del documento Excel donde se guardan los resultados. Las hojas hacen referencia al parámetro de calibración, las columnas a los valores de pico de la onda de choque recogidos por el osciloscopio y las filas a los acoplamientos.**

### 3. CONCLUSIONES

Este documento refleja la descripción del trabajo llevado a cabo para desarrollar una aplicación que automatice en un grado máximo el proceso de calibración de los equipos empleados en los ensayos de inmunidad de ondas de choque que se desarrollan en el CATECHOM. Estos equipos, el generador de ondas combinadas *COMPACT NX7* y la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*, pasan a ser utilizados de una manera remota mediante un ordenador debido a la presentación propuesta del autor de este proyecto a la sección de EMC del CATECHOM al ser testigo del trabajo largo y tedioso que suponía previamente a la creación de este software.

Los resultados obtenidos son claramente eficientes y satisfactorios cuando se emplea la nueva aplicación:

- El grado de conocimiento por parte del técnico a la hora de manipular los equipos descritos se reduce considerablemente gracias al proceso completamente guiado que aporta el software.
- Los tiempos que requieren estas calibraciones se reducen drásticamente gracias al software, permitiendo optimizar los recursos humanos y materiales.
- La vigía del proceso por parte del personal del laboratorio se reduce considerablemente.
- Se reducen los posibles errores que pueden llegar a ser cometidos por el personal del laboratorio a la hora de proceder a disponer los *setups* para cada calibración o a la hora de programar calibraciones innecesarias no recogidas en la norma UNE-EN 61000-4-5.
- Las medidas resultantes de calibración se recogen automáticamente para su posterior tratamiento evitando errores de transcripción por parte del personal del laboratorio.

Como conclusión, a nivel más personal, queda reflejado el crecimiento en el aprendizaje de un nuevo lenguaje de programación y el mayor entendimiento y experiencia en el entorno de ensayos de EMC, desde el punto de vista de los equipos empleados en este proceso de calibración, como en el conocimiento de las directivas europeas y normas armonizadas.

#### **4. TRABAJOS FUTUROS**

La aplicación desarrolla el método de calibración de acuerdo a la norma UNE-EN 61000-4-5. Esta norma puede verse afectada por modificaciones futuras pudiendo dejar obsoleta la aplicación por cambios de las propiedades de los ensayos de inmunidad ante ondas de choque. En todo momento, esta premisa se ha tenido en cuenta en el proceso de desarrollo, elaborando un código de programación completamente adaptable a estos posibles cambios.

La determinación del empleo del entorno *LabVIEW* para el diseño y desarrollo de la aplicación de automatización del proceso de calibración de los equipos que intervienen en los ensayos de ondas de choque unida a la decisión del desarrollo de cada uno de ellos mediante menús independientes, hace que se trate de un software plenamente ampliable de una manera sencilla y amigable a la hora de posibilitar añadir métodos de calibración automatizables de estos equipos.

En esta línea, se podrían desarrollar funcionalidades destinadas a calibraciones internas del generador de ondas combinadas *COUPLING NX7* y de la CDN *COMPACT NX7* para su utilización en el ensayo de transitorios rápidos en ráfagas según la norma UNE-EN 61000-4-4 o en ensayos de inmunidad en huecos de tensión, interrupciones breves y variaciones de tensión según las normas UNE-EN 6100-4-11 y UNE-EN 61000-4-29.

Además, la aplicación desarrollada debe ir acompañada por un documento en el que se describa siguiendo los requerimientos de la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 el método de calibración como tal.

En este método se han de incorporar las contribuciones metrológicas necesarias: incertidumbre de medida, incertidumbre del técnico, etc.

## 5. ANEXOS

### 5.1. Pliego de condiciones

En este apartado se describen los medios necesarios, tanto materiales como humanos para la ejecución de este TFG.

- Recursos materiales:
  - Ordenador portátil Mac Book Air con 128 GB. Con procesador Intel *Core i5 dual core* de 1,3 GHz (Turbo *Boost* de hasta 2,6 GHz) con 3 MB de caché L3 compartido configurable a procesador Intel *Core i7 dual core* de 1,7 GHz (Turbo *Boost* de hasta 3,3 GHz) con 4 MB de caché L3 compartido. Con 4 GB de memoria integrada LPDDR3 de 1600 MH.
  - Windows 7 Home Premium Service Pack 1. Sistema operativo de 64 bits.
  - Osciloscopio RTO 1022 con sistema de disparo digital en tiempo real con un formato de 600 MHz a 2 GHz.
  - Simulador Compacto *COMPACT NX7* con pantalla táctil de 7" con red de acoplo/desacoplo monofásica incluida y capacidad de generación de ondas de choque de acuerdo a la norma UNE-EN 61000-4-5 y capacidad de comunicación remota Ethernet.
  - Red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7* trifásica compatible con la norma UNE-EN 61000-4-5.
  - Software IEC control 1-NX de manejo remoto para equipos suministrados por NI
  - Sonda Tensión PVS VP7, modelo MD 210 *HIGH VOLTAGE DIFFERENTIAL PROBE*, con capacidad de recogida de tensiones de pico de hasta 8 kV y atenuador interno configurable con relación 1:100 y 1:1000.
  - Sonda de corriente Pearson 411 con una atenuación de 0,1 V/A en 50  $\Omega$  sin codificador.
  - Entorno de desarrollo LabVIEW 2016 de 64 bits edición profesional con todas las librerías necesarias incluidas para el desarrollo de este software.

- Microsoft Office Enterprise 2017.

## 5.2. Planificación de la interfaz de usuario

En este apartado, para cada una de las posibles calibraciones a realizar, se muestran todas y cada una de las combinaciones posibles reflejadas en [2].

### 5.2.1. Calibración del generador *COMPACT NX7*

Pestaña de partida

Parámetro de calibración	Acoplamiento	Tensiones de pico (V)	Modo
Valor de pico	HV-COM	+7000	Circuito abierto
Tiempo de frente	L-N	+6000	Cortocircuito
Tiempo 50 %	L-PE	+4000	
Impedancia	N-PE	+2000	
Sobreimpulso / Subimpulso		+1000	
Tensión residual		+500	
		-500	
		-1000	
		-2000	
		-4000	
		-6000	
		-7000	

Parámetro de calibración seleccionado

Campo habilitado / seleccionable

Campo deshabilitado

Figura 71: Pestaña de partida para la calibración del generador *COMPACT NX7*.

Parámetro de calibración: Valor de pico o tiempo de frente o tiempo 50 %

Parámetro de calibración	Acoplamiento	Tensiones de pico (V)	Modo
Valor de pico	HV-COM	+7000	Circuito abierto
Tiempo de frente	L-N	+6000	Cortocircuito
Tiempo 50 %	L-PE	+4000	
Impedancia	N-PE	+2000	
Sobreimpulso / Subimpulso		+1000	
Tensión residual		+500	
		-500	
		-1000	
		-2000	
		-4000	
		-6000	
		-7000	

Figura 72: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para los parámetros de calibración valor de pico, tiempo de frente y tiempo 50 % del generador *COMPACT NX7*.

**Parámetro de calibración: Impedancia**

Parámetro de calibración	Acoplamiento	Tensiones de pico (V)	Modo
Valor de pico	<b>HV-COM</b>	+7000	Circuito abierto
Tiempo de frente	L-N	+6000	Cortocircuito
Tiempo 50 %	L-PE	<b>+4000</b>	
<b>Impedancia</b>	N-PE	+2000	
Sobreimpulso / Subimpulso		+1000	
Tensión residual		+500	
		-500	
		-1000	
		-2000	
		-4000	
		-6000	
		-7000	

Si se han obtenido los datos previamente se informa al usuario.

El modo no es seleccionable por el usuario. El software informará cuando se tiene que colocar CA y CC. La tensión de pico tampoco será seleccionable por el usuario. Solo se informa

**Figura 73:** Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración de la impedancia del generador *COMPACT NX7*.

**Parámetro de calibración: Sobreimpulso / Subimpulso**

Parámetro de calibración	Acoplamiento	Tensiones de pico (V)	Modo
Valor de pico	<b>HV-COM</b>	+7000	<b>Circuito abierto</b>
Tiempo de frente	L-N	+6000	<b>Cortocircuito</b>
Tiempo 50 %	L-PE	<b>+4000</b>	
Impedancia	N-PE	+2000	
<b>Sobreimpulso / Subimpulso</b>		+1000	
Tensión residual		+500	
		-500	
		-1000	
		-2000	
		<b>-4000</b>	
		-6000	
		-7000	

**Figura 74:** Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración sobreimpulso/subimpulso del generador *COMPACT NX7*.

Parámetro de calibración: Tensión residual			
Parámetro de calibración	Acoplamiento	Tensiones de pico (V)	Modo
Valor de pico	HV-COM	+7000	Circuito abierto
Tiempo de frente	L-N	+6000	Cortocircuito
Tiempo 50 %	L-PE	+4000	
Impedancia	N-PE	+2000	
Sobreimpulso / Subimpulso		+1000	
<b>Tensión residual</b>		+500	
		-500	
		-1000	
		-2000	
		-4000	
		-6000	
		-7000	

La tensión de pico no será seleccionable por el usuario; solo se informa

Figura 75: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de tensión residual del generador *COMPACT NX7*.

### 5.2.2. Calibración de la red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7*

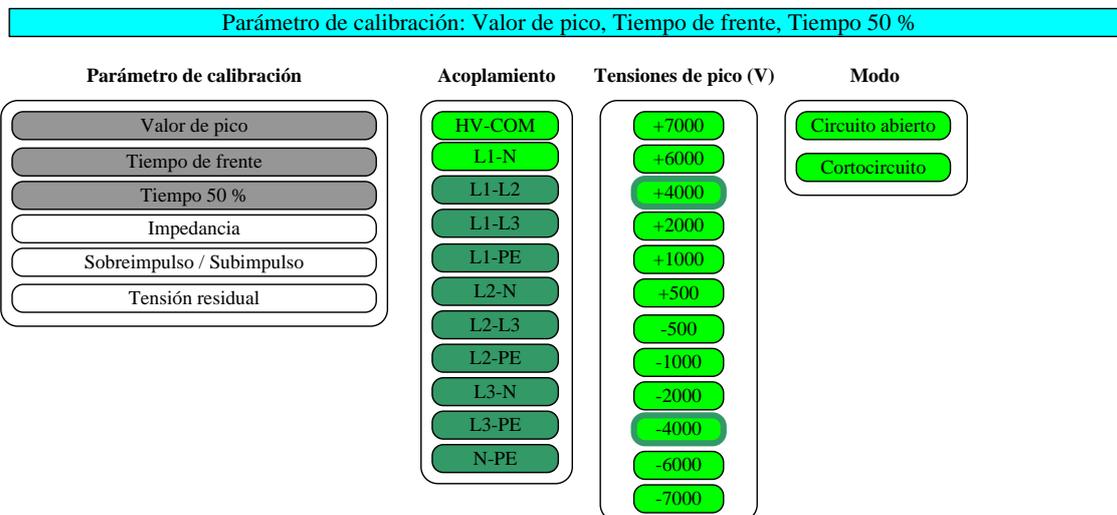
Pestaña de partida			
Parámetro de calibración	Acoplamiento	Tensiones de pico (V)	Modo
Valor de pico	HV-COM	+7000	Circuito abierto
Tiempo de frente	L1-N	+6000	Cortocircuito
Tiempo 50 %	L1-L2	+4000	
Impedancia	L1-L3	+2000	
Sobreimpulso / Subimpulso	L1-PE	+1000	
Tensión residual	L2-N	+500	
	L2-L3	-500	
	L2-PE	-1000	
	L3-N	-2000	
	L3-PE	-4000	
	N-PE	-6000	
		-7000	

Parámetro de calibración seleccionado

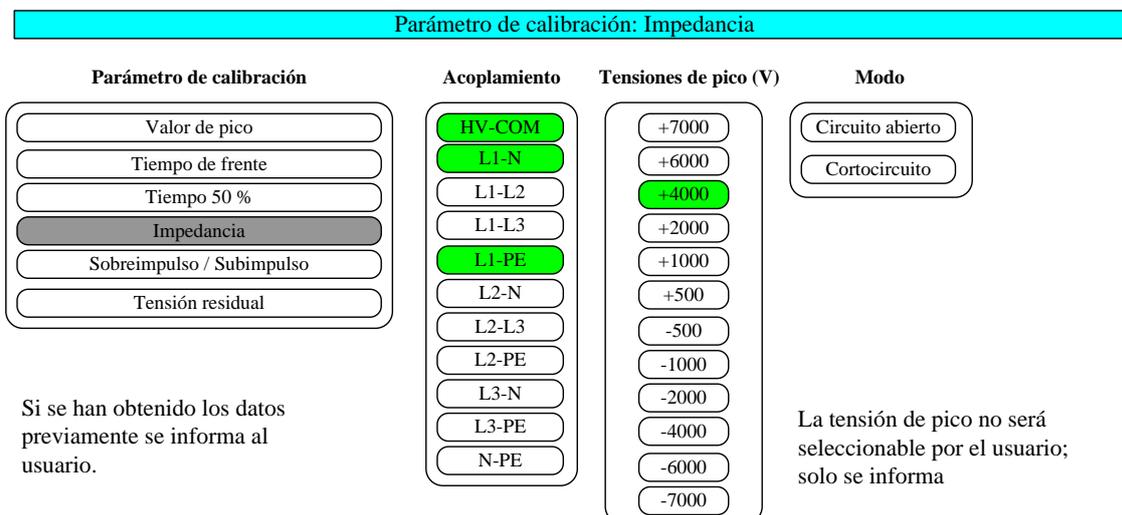
Campo habilitado / seleccionable

Campo deshabilitado

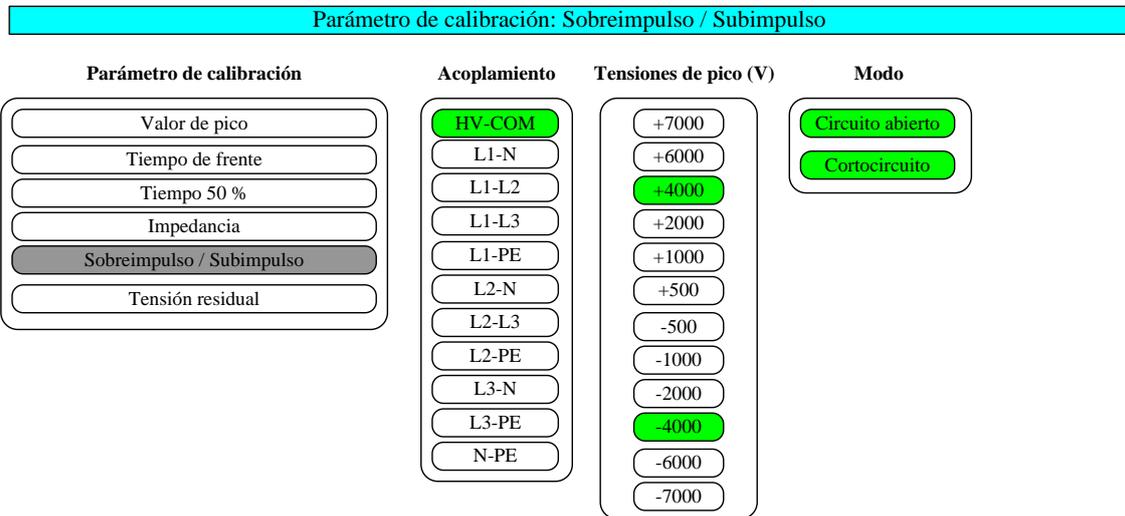
Figura 76: Pestaña de partida para la calibración de la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*.



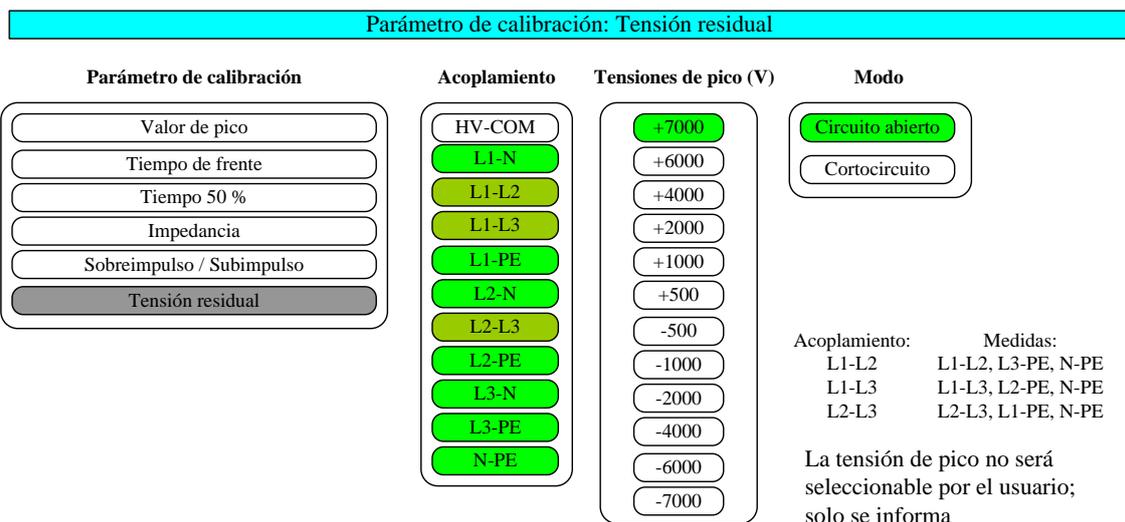
**Figura 77:** Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para los parámetros de calibración valor de pico, tiempo de frente y tiempo 50 % de la red de acoplo y desacoplo COUPLING NX7.



**Figura 78:** Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración de la red de acoplo y desacoplo COUPLING NX7.



**Figura 79:** Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración sobreimpulso/subimpulso de la red de acoplo y desacoplo COUPLING NX7.



**Figura 80:** Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de tensión residual de la red de acoplo y desacoplo COUPLING NX7.

### 5.2.3. Calibración del módulo 50121 de la red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7*

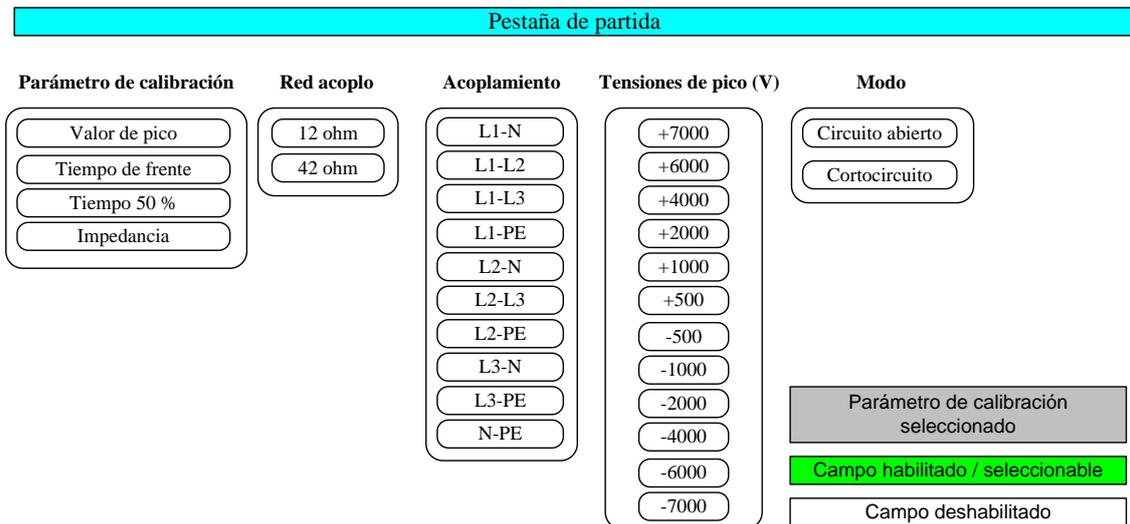


Figura 81: Pestaña de partida para la calibración del módulo 50121 de la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*.

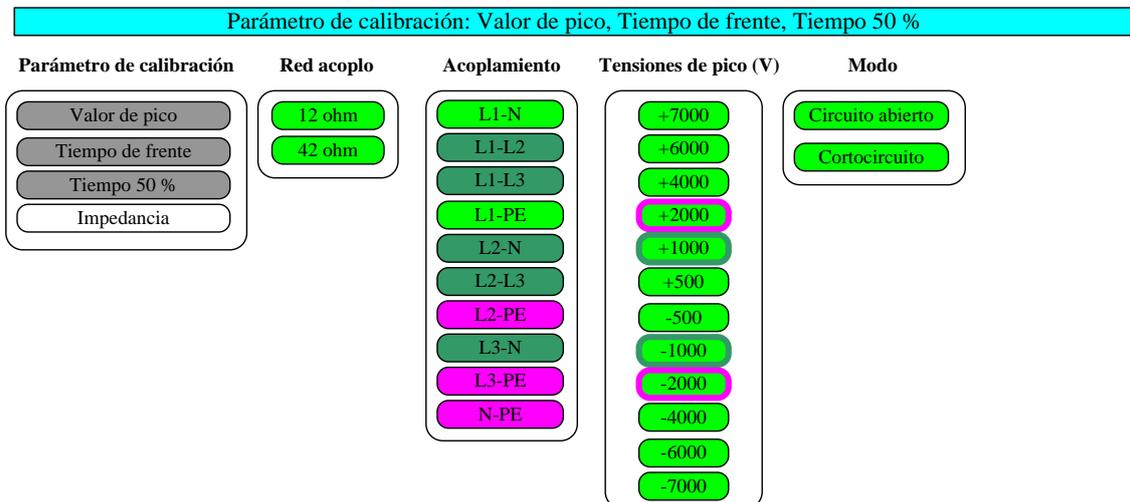


Figura 82: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para los parámetros de calibración valor de pico, tiempo de frente y tiempo 50 % del módulo 50121 de la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*.

**Parámetro de calibración: Impedancia**

Parámetro de calibración	Red acoplo	Acoplamiento	Tensiones de pico (V)	Modo
<input type="text" value="Valor de pico"/> <input type="text" value="Tiempo de frente"/> <input type="text" value="Tiempo 50 %"/> <input checked="" type="text" value="Impedancia"/>	<input checked="" type="text" value="12 ohm"/> <input type="text" value="42 ohm"/>	<input checked="" type="text" value="L1-N"/> <input type="text" value="L1-L2"/> <input type="text" value="L1-L3"/> <input type="text" value="L1-PE"/> <input type="text" value="L2-N"/> <input type="text" value="L2-L3"/> <input type="text" value="L2-PE"/> <input type="text" value="L3-N"/> <input type="text" value="L3-PE"/> <input type="text" value="N-PE"/>	<input type="text" value="+7000"/> <input type="text" value="+6000"/> <input type="text" value="+4000"/> <input type="text" value="+2000"/> <input checked="" type="text" value="+1000"/> <input type="text" value="+500"/> <input type="text" value="-500"/> <input type="text" value="-1000"/> <input type="text" value="-2000"/> <input type="text" value="-4000"/> <input type="text" value="-6000"/> <input type="text" value="-7000"/>	<input type="text" value="Circuito abierto"/> <input type="text" value="Cortocircuito"/>

Si se han obtenido los datos previamente se informa al usuario.

La tensión de pico no será seleccionable por el usuario; solo se informa

**Figura 83: Combinación de acoplamientos, tensiones de pico y modo para el parámetro de calibración del módulo 50121 de la red de acoplo y desacoplo COUPLING NX7.**

### 5.3. Presupuesto

En este apartado, se recogen todos los recursos empleados para poder desarrollar este proyecto detallando sus precios y cantidades:

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Ordenador portátil MacBook Air (con Windows7)	1	1 290,00 €	1 290,00 €
Osciloscopio R&S RTO 1022	1	11 000,00 €	11 000,00 €
Calibración ENAC de Osciloscopio R&S RTO 1022	1	450,00 €	450,00 €
Simulador Compacto COMPACT NX7	1	30 130,00 €	30 130,00 €
Red de acoplo/desacoplo COUPLING NX7	1	19 300,00 €	19 300,00 €
Software IEC control 1-NX	1	2 040,00 €	2 040,00 €
Sonda de corriente Pearson 411	1	2 130,00 €	2 130,00 €
Sonda Tensión PVS VP7	1	2 190,00 €	2 190,00 €
Cable RG 58 BNC +	1	107,90 €	107,90 €
Cable de red	3	2,99 €	8,97 €
Entorno de desarrollo LabVIEW 2016	1	3 605,00 €	3 605,00 €

<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Subtotal</b>
Microsoft Office	1	Gratuito	Gratuito
Documentación técnica y del SGC del CATECHOM	1	Gratuito	Gratuito
Documentación AENOR	1	Gratuito	Gratuito
Papel y material de oficina	1	115,00 €	115,00 €
Mano de obra	500 h	90,00 €	45 000,00 €
		Agregado	117 366,87 €
		I.V.A. (21%)	24 647,04 €
<b>Total recursos</b>			<b>142 013,91 €</b>

#### **5.4. Manual de usuario**

Este manual, explica de forma detallada los pasos que usted debe seguir para una correcta instalación del software desarrollado, la manera de proceder para realizar la calibración interna del generador compacto *COMPACT NX7* y de la red de acoplo/desacoplo *COUPLING NX7* intervinientes en un ensayo de inmunidad en ondas de choque.

El programa está diseñado para ser utilizado exclusivamente de manera correcta con los archivos Excel “*SURGE GENERADOR*”, “*SURGE CDN*” y “*SURGE CDN 50121*” adecuados para la recogida de datos.

##### **5.4.1. Premisas previas a la instalación**

La aplicación se entrega en un DVD, que puede ser instalado para su uso en cualquier ordenador.

Para poder procesar el ejecutable usted debe tener instalado en su PC un programa denominado “*LabVIEW Runtime*” el cual proporciona LabVIEW que puede descargar de manera gratuita en el siguiente enlace:

<https://www.ni.com/es-es/support/downloads/software-products/download.labview-runtime.html#411217>

Acceda a la página y seleccione la descarga de la versión adecuada a su sistema operativo, descargue y ejecute el programa.

Siga los pasos indicados en la pantalla en todo momento.

Una vez finalizada la instalación de este programa se recomienda reiniciar el sistema operativo.

#### **5.4.2. Indicaciones y ajustes previos a tener en cuenta en la calibración**

Para que la calibración transcurra con normalidad hay que seguir una serie de indicaciones y medidas de seguridad recogidas en la norma UNE-EN 61000-4-5:

- Tanto el generador compacto COMPACT NX7, la red de acoplo/desacoplo COUPLING NX7 como el osciloscopio deberán estar encendidos, al menos 30 minutos antes de comenzar la calibración interna.
- Verificar que la calibración ha sido realizada en el laboratorio dentro de los márgenes de temperatura y humedad que se muestran a continuación:
  - Temperatura:  $23\text{ °C} \pm 8\text{ °C}$ .
  - Humedad relativa:  $>40\%$ .
- No se deberá manipular el cableado ni las conexiones durante la generación de las ondas de choque.
- Es importante que se escoja la sonda correspondiente adecuada para cada medición.
- La red de acoplo/desacoplo COUPLING NX7 deberá estar apagada durante la calibración del generador compacto COMPACT NX7. En el instante de comenzar a calibrar la red de acoplo/desacoplo COUPLING NX7, ésta se encenderá (interruptor trasero), siendo necesario reiniciar también el generador compacto COMPACT NX7 (desde su interruptor trasero), para que el generador reconozca la COUPLING NX7 y pueda acoplar los ensayos a través de ésta.
- Para la calibración de los parámetros sobre las redes de acoplo/desacoplo COUPLING NX7, se deben dejar al aire las entradas de las redes, es decir, desconectar las entradas traseras de alimentación para el EBE durante la calibración.
- Al realizar la calibración sobre la red de acoplo/desacoplo COUPLING NX7 y se mida de forma individual para cada línea de salida, será necesario cambiar estas de forma manual para cada medida siguiendo las instrucciones mostradas en el propio software.

### 5.4.3. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE “Calibración de ondas de choque”

Para proceder a la instalación, tiene que acceder al directorio Calibración\_ondasdechoque\My iInstaller\Volume. En este directorio encontrará la carpeta “Volume” en la que debe hacer doble clic con el botón izquierdo del ratón en el archivo “setup”.

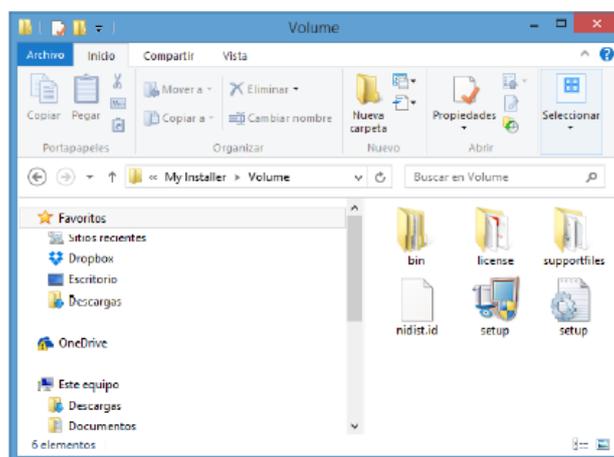


Figura 84: Directorio con ubicación del instalador.

En este momento se deberá haber abierto una ventana con el inicio del proceso de instalación de la aplicación, pulse en el botón “Next”.

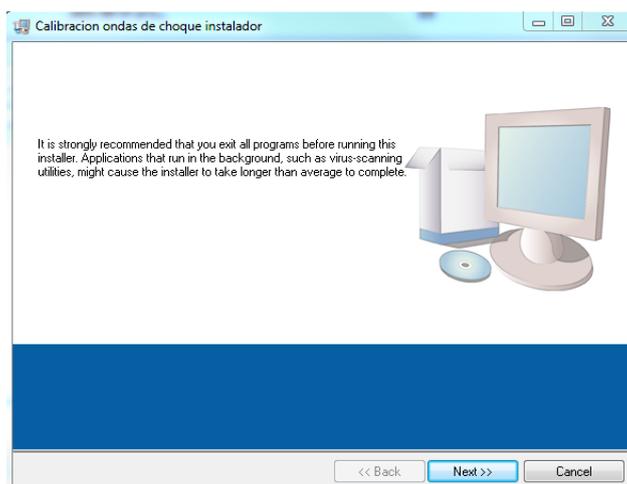
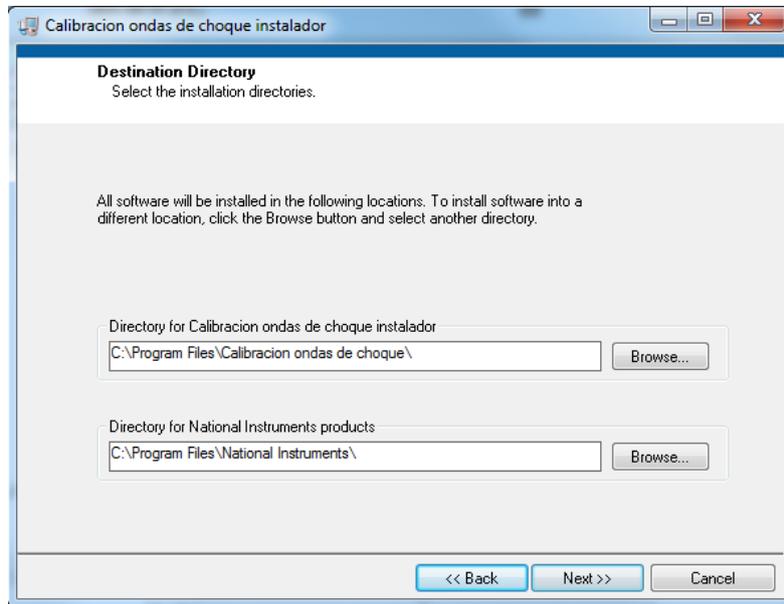


Figura 85: Ventana de inicio de proceso de instalación.

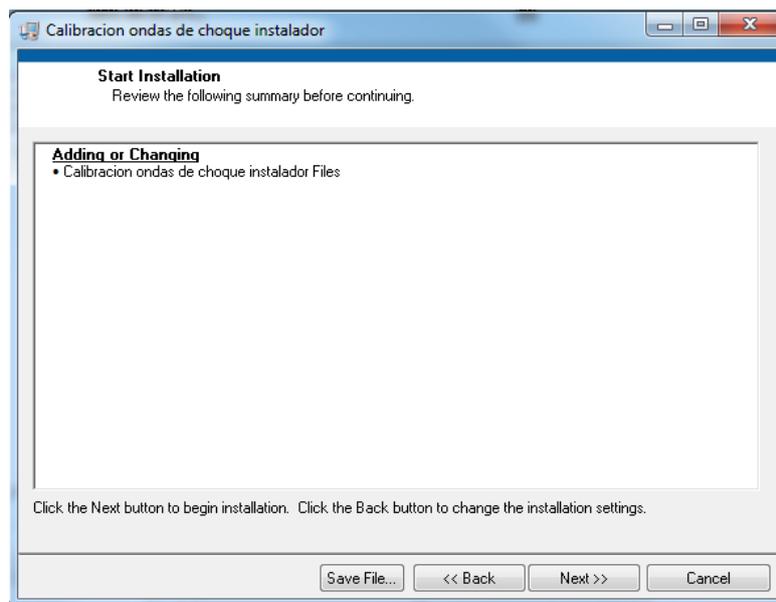
Espere hasta que aparezca la siguiente ventana donde debe elegir el directorio de instalación donde se guardan los archivos de la aplicación. Por defecto, este directorio

será: C:\ProgramFiles (x86)\Calibración\_ondas\. Usted puede instalar el programa en un directorio diferente si lo desea pulsado el botón “Browse...” seleccionando el directorio deseado. Para continuar con el proceso, haga clic en el botón “Next>>”.



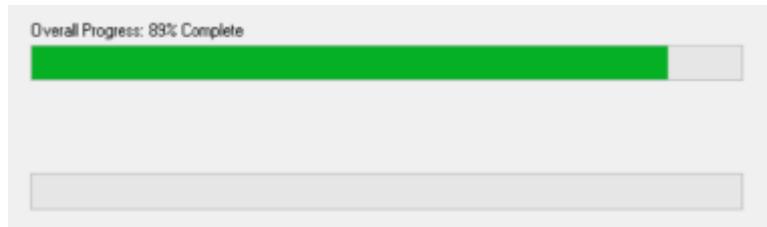
**Figura 86: Ventana destinada a la elección del directorio destino de instalación.**

Acto seguido, aparecerá una ventana que contiene el resumen de la instalación. Para continuar la instalación se selecciona el botón "Next >>", para añadir o cambiar archivos del programa se selecciona el botón "<< Back", y para guardar un archivo con el resumen de instalación se selecciona "Save File..." antes de pulsar "Next >>".



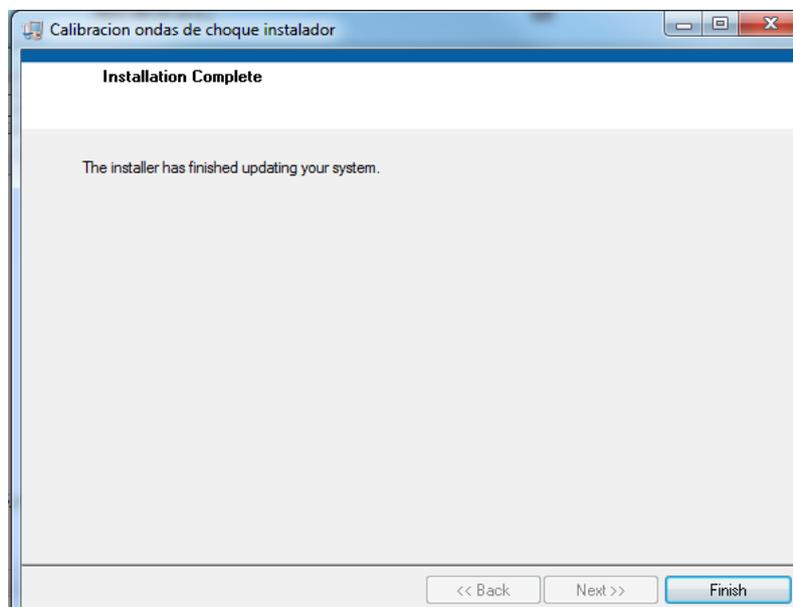
**Figura 87: Resumen de instalación.**

Una vez pulsado el botón “Next>>” comenzará la instalación, espere mientras se completa el proceso.



**Figura 88: Estado del proceso de la instalación.**

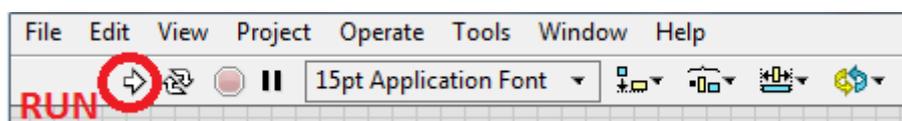
Una vez completada la instalación del software, haga clic en el botón “Finish” para finalizar el proceso.



**Figura 89: Ventana mostrada al finalizar la instalación.**

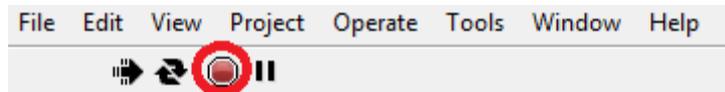
Una vez abierta la aplicación aparecerá en pantalla la interfaz de usuario, usted se encontrará automáticamente en el menú principal:

Para comenzar la calibración, primero debe hacer correr el programa, para ello pulse el botón “Run” de LabVIEW:



**Figura 90: Ubicación del botón de *LabVIEW* “Run”.**

Si en cualquier momento desea parar la ejecución del programa, haga clic en el icono de LabVIEW de parar ejecución:



### Parar ejecución

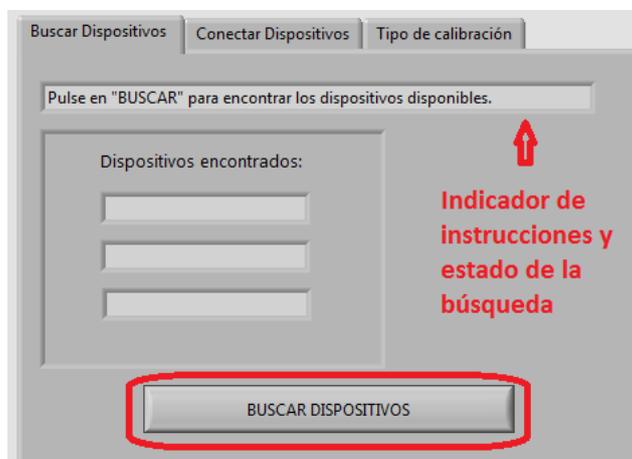
**Figura 91: Botón de *LabVIEW* destinado a parar un proceso en ejecución.**

Una vez pulsado el botón “Run”, puede proceder a realizar la búsqueda de los dispositivos conectados al ordenador. Asegúrese de su debida conexión y su correcta alimentación para que sean encontrados.

Inicialmente usted se encuentra en el menú principal de la aplicación, presentado con pestañas por las que puede navegar haciendo clic sobre ellas. Estas pestañas son las siguientes:

- Pestaña “Buscar dispositivos”: destinada a la búsqueda de dispositivos conectados vía Ethernet con el ordenador.
- Pestaña “Conectar dispositivos”: destinada a la conexión y desconexión de los dispositivos encontrados en la pestaña anterior.
- Pestaña “Tipo de calibración”: destinada a elegir el proceso de programación del tipo de calibración que el usuario desea llevar a cabo.

Por defecto, debe encontrarse en la pestaña del menú principal “Buscar dispositivos”, siga las indicaciones que se muestran en el indicador informativo. Para proceder a la búsqueda de los dispositivos haga clic con el botón izquierdo de ratón sobre el botón “Buscar dispositivos”:



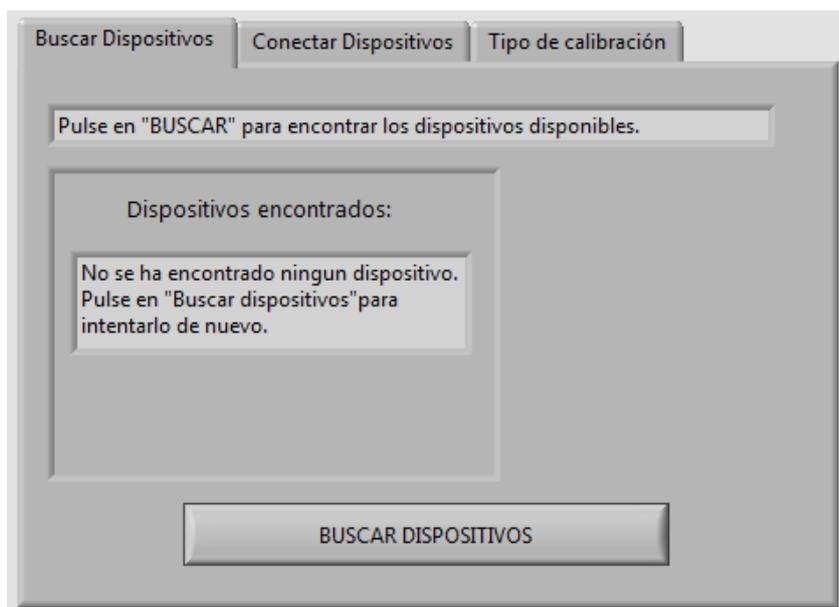
**Figura 92: Pestaña “Buscar Dispositivos” del menú principal.**

Los mensajes mostrados en el indicador de instrucciones, pueden ser los siguientes:

- “Pulse en buscar para encontrar los dispositivos disponibles”, mensaje que aparece por defecto al arrancar la aplicación. Este mensaje, vuelve a aparecer una vez finalizada la búsqueda.
- “Buscando dispositivos”, mensaje que se muestra mientras se realiza el proceso de búsqueda.

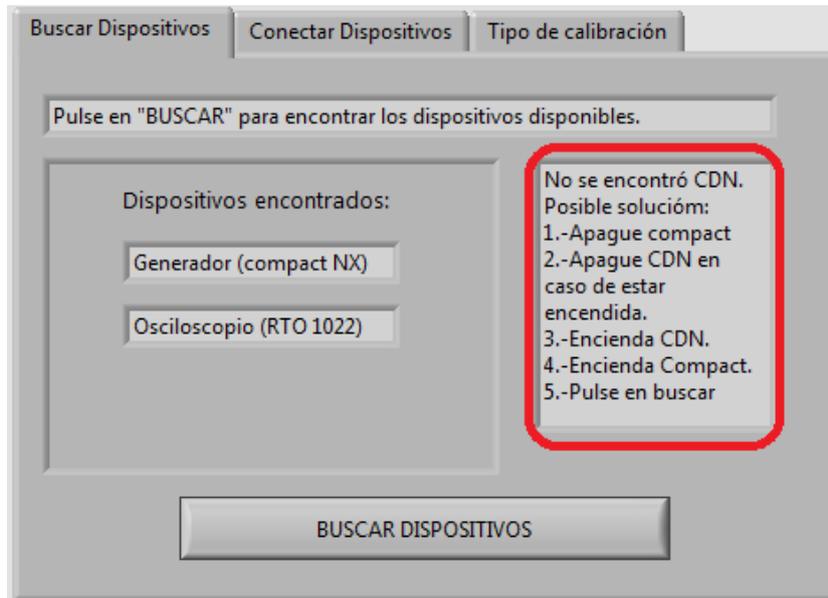
El proceso de búsqueda tiene un *timeout* de tan solo dos segundos, una vez pulsado el botón “BUSCAR DISPOSITIVOS” aparecerán en pantalla los dispositivos encontrados por el ordenador, en caso de no haberse encontrado ningún dispositivo, el mensaje mostrado será el siguiente:

- “No se ha encontrado ningún dispositivo. Pulse en “Buscar dispositivos” para intentarlo de nuevo”.



**Figura 93:** Pestaña “Buscar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación de no haberse encontrado ningún dispositivo.

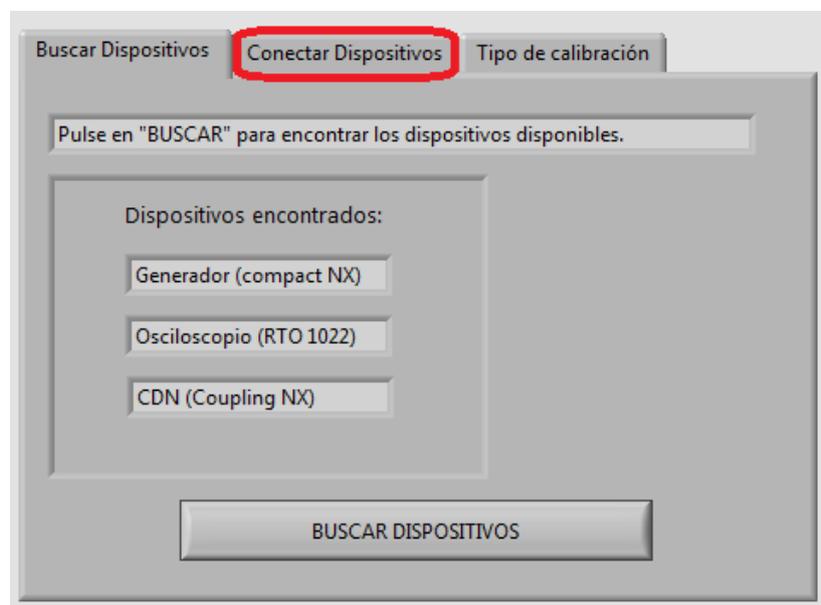
Adicionalmente, se cuenta con un panel destinado a la resolución de problemas surgidos a la hora de encontrar la red de acople y desacople “Coupling NX7” y así dar al usuario información sobre la solución para poder corregir este problema. Este panel, se decide incorporar, puesto que para poder llevar a cabo una comunicación entre “Compact NX7” y el “Coupling NX7” debe darse un orden específico a la hora de conectar ambos equipos. Si el personal técnico de laboratorio conecta el “Compact NX7” antes que el “Coupling NX7”, el primer terminal no reconoce al segundo y es en este caso cuando salta el mensaje de ayuda cuya información es la siguiente:



**Figura 94:** Pestaña “Buscar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación de no haberse encontrado la *CDN COUPLING NX7*.

En este caso, si desea conectar la *CDN COMPACT NX7* siga los pasos indicados y vuelva a pulsar el botón “BUSCAR DISPOSITIVOS”.

A continuación, diríjase a la pestaña del menú principal “Conectar Dispositivos”

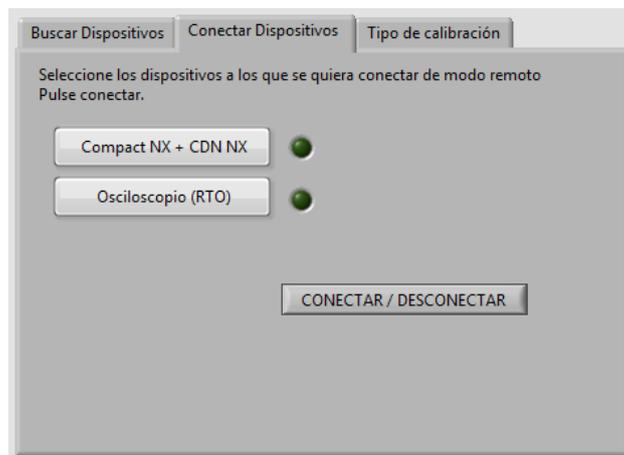


**Figura 95:** Pestaña “Buscar Dispositivos” del menú principal. Se indica la siguiente pestaña que hay que pulsar.

Una vez que se encuentre en la pestaña del menú principal “Conectar dispositivos”.

Esta pestaña del menú principal está destinada a mostrar el nombre de los dispositivos que el ordenador ha encontrado dando opción al usuario de poderse conectar y desconectar libremente a los dispositivos que desee. Además, poseen varios leds indicadores que avisan si se ha llevado a cabo correctamente la conexión y el terminal seleccionado ha pasado a modo remoto con el ordenador.

Aparecerán un conjunto de botones en función de los dispositivos encontrados en la pestaña anterior acompañado de unos leds indicativos que hacen referencia al estado de conexión de los dispositivos, inicialmente, se encontrarán apagados:



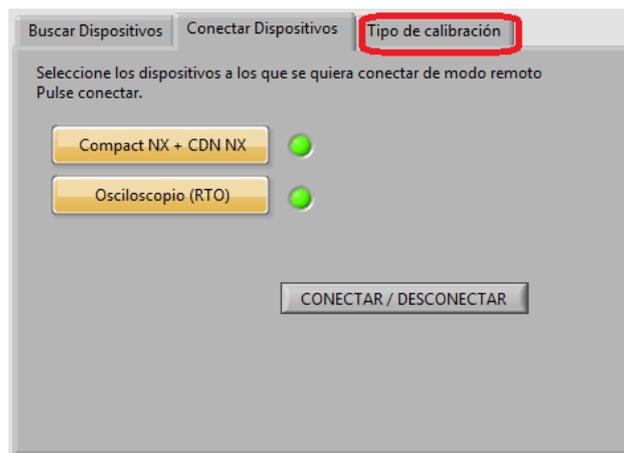
**Figura 96:** Pestaña “Conectar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación haberse encontrado el *COMPACT NX7*, la *CDN COUPLING NX7* y el osciloscopio.

En este momento, debe hacer clic en los botones referidos a los dispositivos que desea conectar de manera remota al ordenador y pulsar el botón “Conectar/Desconectar” para que la conexión sea efectiva:



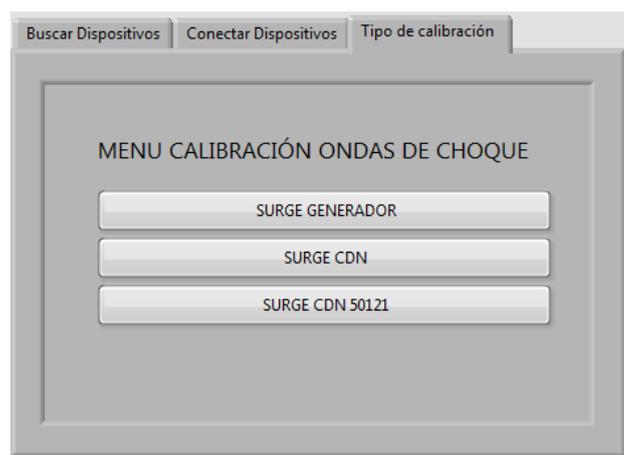
**Figura 97:** Pestaña “Conectar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación de haberse encontrado el *COMPACT NX7*, la *CDN COUPLING NX7* y el osciloscopio. Se indica cómo conectar estos dispositivos de manera remota al ordenador.

Si todo ha ido bien, los leds deben tornarse de color verde indicando una correcta conexión, también puede comprobar cómo las pantallas tanto del generador compacto *COMPACT NX7* como del osciloscopio R&S RTO 1022, muestran información de estado remoto. Seguidamente diríjase a la pestaña “Tipo de calibración” para continuar con el proceso:



**Figura 98:** Pestaña “Conectar Dispositivos” del menú principal. Aspecto requerido en la situación de haberse conectado de manera remota al ordenador el *COMPACT NX7*, la *CDN COUPLING NX7* y el osciloscopio. Se indica la ubicación de la siguiente pestaña que hay que pulsar para continuar con el proceso.

En esta pestaña, aparecerán todos los dispositivos que usted puede calibrar en función de los dispositivos a los que se haya conectado. El aspecto de esta pestaña es el siguiente:



**Figura 99:** Pestaña “Tipo de Calibración” del menú principal. Aspecto requerido en la situación haberse conectado de manera remota el *COMPACT NX7*, la *CDN COUPLING NX7* y el osciloscopio.

A partir de este instante usted puede abrir cualquiera de los menús secundarios destinados a calibrar cada uno de los dispositivos haciendo clic sobre los botones cuyas funciones son las siguientes:

- “SURGE GENERADOR”: Destinado a mostrar el menú secundario dedicado a la configuración de los parámetros necesarios para calibrar el generador compacto *COMPACT NX7*. Botón que aparecerá si se ha conectado de manera remota el osciloscopio y el *COMPACT NX7*.
- “SURGE CDN”: Destinado a mostrar el menú secundario dedicado a la configuración de los parámetros necesarios para calibrar la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*. Botón que aparecerá si se ha conectado de manera remota el osciloscopio y el *COMPACT NX7* y el *COUPLING NX7*.
- “SURGE CDN 50121”: Destinado a mostrar el menú secundario dedicado a la configuración de los parámetros necesarios para calibrar el módulo interior 50121 de la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*, se pueden calibrar las dos redes de acoplo que contiene. Botón que aparecerá si se ha conectado de manera remota el osciloscopio y el *COMPACT NX7* y el *COUPLING NX7*.

Una vez que el usuario haya pulsado alguno de los botones anteriores, se abrirá el menú correspondiente. Los menús secundarios tienen el siguiente aspecto:

#### MENÚ CALIBRACIÓN SURGE GENERADOR:

SELECCIONE EL EXCEL DONDE DESEA GUARDAR LOS RESULTADOS

Localización del Excel

CONFIRMAR RUTA

**PARÁMETRO DE CALIBRACIÓN**

Valor de pico

Tiempo de frente

Tiempo 50%

Impedancia

Sobreimpulso/Subimpulso

Tension residual

Seleccionar todos los casos posibles

Borrar selección

**ACOPLAMIENTO**

HV-COM

L-N

L-PE

N-PE

**TENSIÓN DE PICO**

+7000 [V]

+6000 [V]

+4000 [V]

+2000 [V]

+1000 [V]

+500 [V]

-500 [V]

-1000 [V]

-2000 [V]

-4000 [V]

-6000 [V]

-7000 [V]

**MODO**

Circuito Abierto

Cortocircuito

INICIAR TEST

Figura 100: Menú de calibración de ondas de choque para el generador *COMPACT NX7*.

## MENÚ CALIBRACIÓN SURGE CDN:

SELECCIONE EL EXCEL DONDE DESEA GUARDAR LOS RESULTADOS

Localización del Excel

Confirmar ruta

**PARÁMETRO DE CALIBRACIÓN**

- Valor de pico
- Tiempo de frente
- Tiempo 50%
- Impedancia
- Sobrepulso/Subimpulso
- Tension residual

Seleccionar todos los casos posibles

Borrar selección

**ACOPLAMIENTO**

- HV-COM
- L1-N
- L1-L2
- L1-L3
- L1-PE
- L2-N
- L2-L3
- L2-PE
- L3-N
- L3-PE
- N-PE

**TENSIÓN DE PICO**

- +7000 [V]
- +6000 [V]
- +4000 [V]
- +2000 [V]
- +1000 [V]
- +500 [V]
- 500 [V]
- 1000 [V]
- 2000 [V]
- 4000 [V]
- 6000 [V]
- 7000 [V]

**MODO**

- Circuito Abierto
- Cortocircuito

INICIAR TEST

**Figura 101:** Menú de calibración de ondas de choque para la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*.

## MENÚ CALIBRACIÓN SURGE CDN 50121:

SELECCIONE EL EXCEL DONDE DESEA GUARDAR LOS RESULTADOS DEL TEST

Localización del Excel

CONFIRMAR RUTA

**PARÁMETRO DE CALIBRACIÓN**

- Valor de pico
- Tiempo de frente
- Tiempo 50%
- Impedancia

Seleccionar todos los casos posibles

Borrar selección

**ACOPLAMIENTO**

- L1-N
- L1-L2
- L1-L3
- L1-PE
- L2-N
- L2-L3
- L2-PE
- L3-N
- L3-PE
- N-PE

**TENSIÓN DE PICO**

- +7000 [V]
- +6000 [V]
- +4000 [V]
- +2000 [V]
- +1000 [V]
- +500 [V]
- 500 [V]
- 1000 [V]
- 2000 [V]
- 4000 [V]
- 6000 [V]
- 7000 [V]

**MODO**

- Circuito abierto
- Cortocircuito

**RED DE ACOPLO**

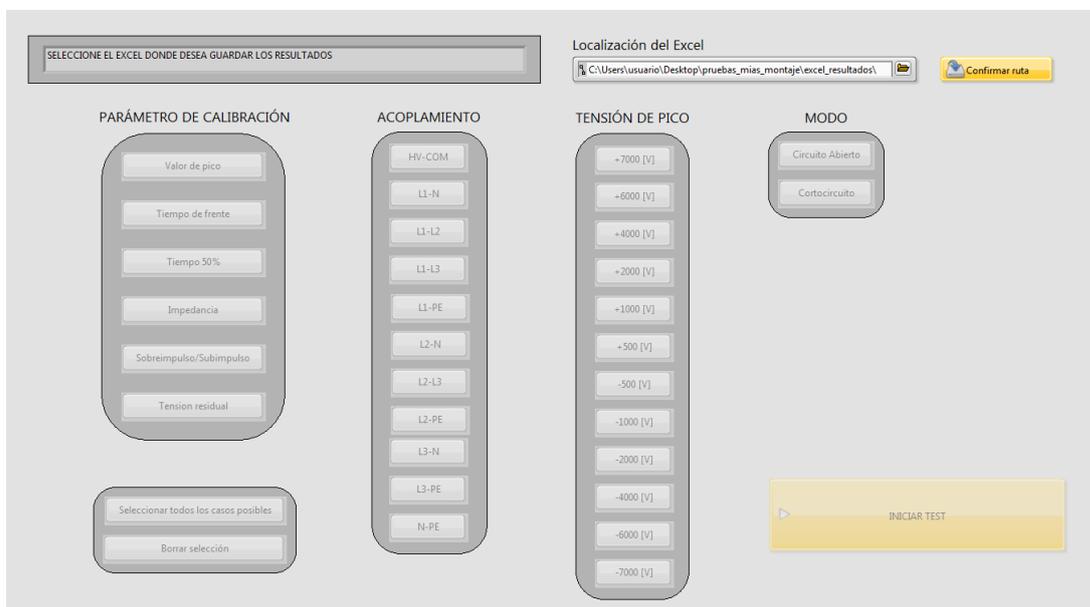
- 12 [Ohm]
- 42 [Ohm]

INICIAR TEST

**Figura 102:** Menú de calibración de ondas de choque para el módulo 50121 de la CDN *COUPLING NX7*.

La navegación por estos menús se realiza de manera similar, procediendo a una configuración de las calibraciones internas de los dispositivos a través de bloques de botones que se irán habilitando y deshabilitando en tiempo real según la posible combinatoria de calibraciones contenidas en [2], mostrando al usuario qué tipos de calibración puede programar en todo momento. Además, se cuenta con un botón de autorrelleno “Seleccionar todos los casos posibles”, disponible en todo momento, que cuando se pulse se seleccionarán automáticamente todos los casos posibles que queden por seleccionar desde ese instante. También se cuenta con un botón para borrar toda la selección de manera instantánea “Borrar selección”.

Supongamos que se ha pulsado el botón del menú principal “SURGE CDN”, entonces se deberá encontrar en el siguiente menú:



**Figura 103: Menú de calibración de ondas de choque para la CDN COUPLING NX7. Se muestra el aspecto una vez seleccionado la ubicación del Excel sin confirmar la ruta.**

Todos los menús secundarios de calibración muestran una interfaz de usuario muy intuitiva y sencilla, basada en bloques de botones que se irán habilitando y deshabilitando en tiempo real según la posible combinatoria de calibraciones contenidas en el proceso calibración descrito en la norma UNE-EN 61000-4-5. Por tanto, se mostrará al usuario qué tipos de calibración puede programar en todo momento. Además, se cuenta con un botón de autorrelleno “Seleccionar todos los casos posibles”, disponible en todo momento, que cuando se pulse se seleccionarán automáticamente todos los casos posibles que queden por seleccionar desde ese instante. También se cuenta con un botón para borrar toda la selección de manera instantánea “Borrar selección”.

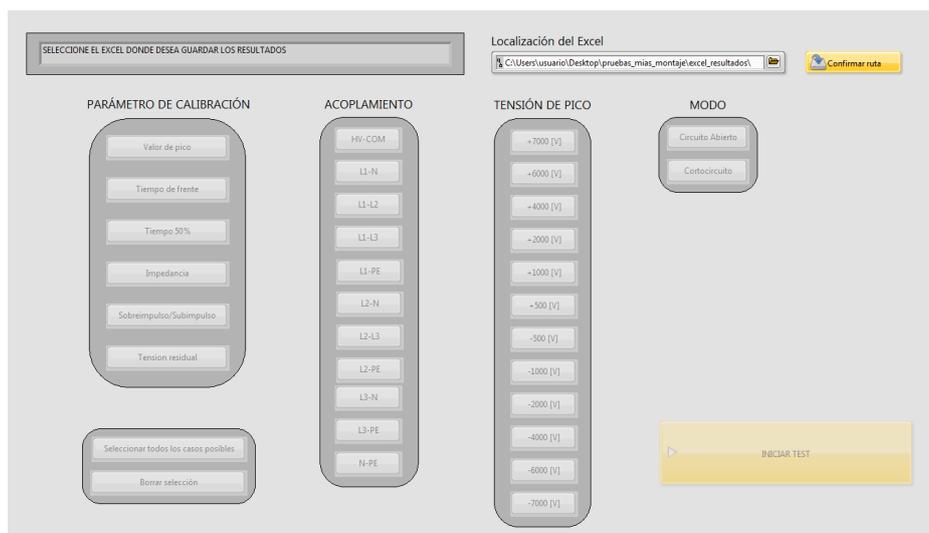
selección”. Todas estas funciones inteligentes ayudan al usuario a ahorrar un tiempo considerable a la hora de programar la calibración.

Se añade también una funcionalidad para evitar errores en la programación de ensayos evitando así que se pueda lanzar un ensayo sin haberlo programado completamente. Esta función consiste en mantener deshabilitado el botón de “INICIAR TEST” hasta que se haya completado correctamente al menos una combinación de todas las posibles calibraciones que se pueden dar.

A continuación, se explica minuciosamente las propiedades de estos submenús y cada una de las funciones inteligentes que proporciona el software mediante ejemplos.

Debido a la similitud que presentan todos los menús secundarios de calibración, por simplicidad se decide proceder a la descripción de uno de ellos.

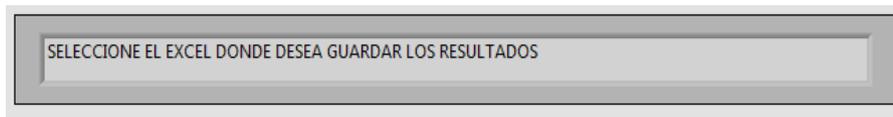
Supongamos un ejemplo en el cual un usuario desea calibrar la red de acoplo y desacoplo *COUPLING NX7*. El menú secundario de partida se presente en la Figura 104.



**Figura 104:** Menú destinado a la calibración interna de ondas de choque de la CDN *COUPLING NX7*.

En el menú anterior, se pueden visualizar los siguientes elementos:

- Panel informativo: Gracias a este panel el usuario recibe información completa, paso a paso de las instrucciones que debe seguir, además de mostrar información de la calibración del parámetro que se está realizando en cada momento.



**Figura 105:** Panel informativo disponible en el menú de calibración interna de la CDN *COUPLING NX7*.

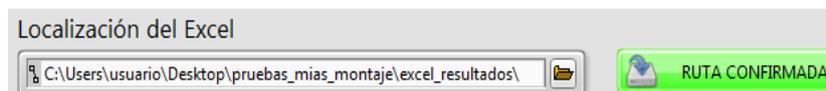
Los estados que se muestran en este panel informativo pueden ser los siguientes:

- SELECCIONE EL EXCEL DONDE DESEA GUARDAR LOS RESULTADOS. Este mensaje aparece por defecto y se mantiene en pantalla a la espera de la confirmación de la ruta del Excel donde desean guardarse los resultados. Una vez finalizado el test, se volverá a mostrar nuevamente.
- CONFIGURE LA CALIBRACIÓN DESEADA. Este mensaje surge una vez que el usuario haya confirmado la ruta del Excel. Se mantiene en pantalla hasta que se pulse el botón de “INICIAR TEST”.
- REALIZANDO TEST: *parámetro de calibración, acoplo, tensión de pico, modo*. Este mensaje que se muestra una vez pulsado el botón de “INICIAR TEST”.

- Localización del Excel: Barra de navegación de archivos donde el usuario debe indicar la ubicación del Excel donde desea guardar finalmente los resultados del proceso. Dispone de un botón con colores indicativos y mensajes que cambia de estado una vez elegida la ruta:



**Figura 106:** Elementos del menú de calibración interna de la CDN *COUPLING NX7* destinado a la elección del archivo Excel donde se desean guardar los archivos. Se muestra el aspecto previo a dicha elección por parte del usuario. (Botón informativo en color anaranjado).



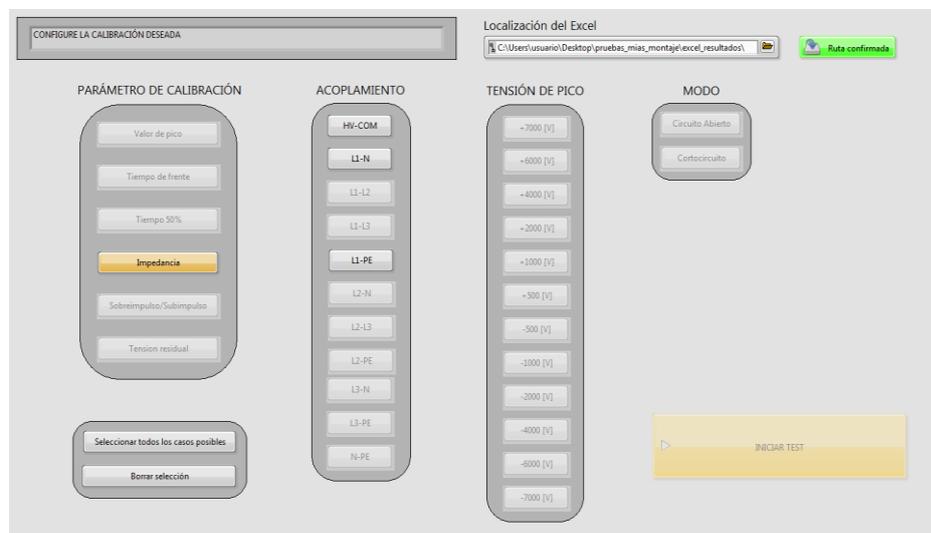
**Figura 107:** Elementos del menú de calibración interna de la CDN *COUPLING NX7* destinado a la elección del archivo Excel donde se desean guardar los archivos. Se muestra el aspecto una vez elegida la ruta.

- “PARÁMETRO DE CALIBRACIÓN”. Conjunto de botones que configuran los posibles parámetros de calibración en función de la configuración seleccionada en la fase 1 (pestaña “Tipo Calibración”).

- “ACOPLAMIENTO”. Conjunto de botones relativos a los acoplamientos necesarios en función de los parámetros de calibración seleccionados.
- “TENSIÓN DE PICO”. Conjunto de botones en el que se selecciona el nivel de pico de la onda de choque.
- “MODO”. Conjunto de botones referentes al tipo de medición a efectuar: circuito abierto y cortocircuito.

Dentro de las principales funcionalidades implementadas en el software del proyecto, destaca la facilidad de guiado de la aplicación hacia el usuario de manera inapreciable cuyo fin es evitar configuraciones no contenidas en el certificado de calibración. Esto se consigue mediante un conjunto de funciones inteligentes:

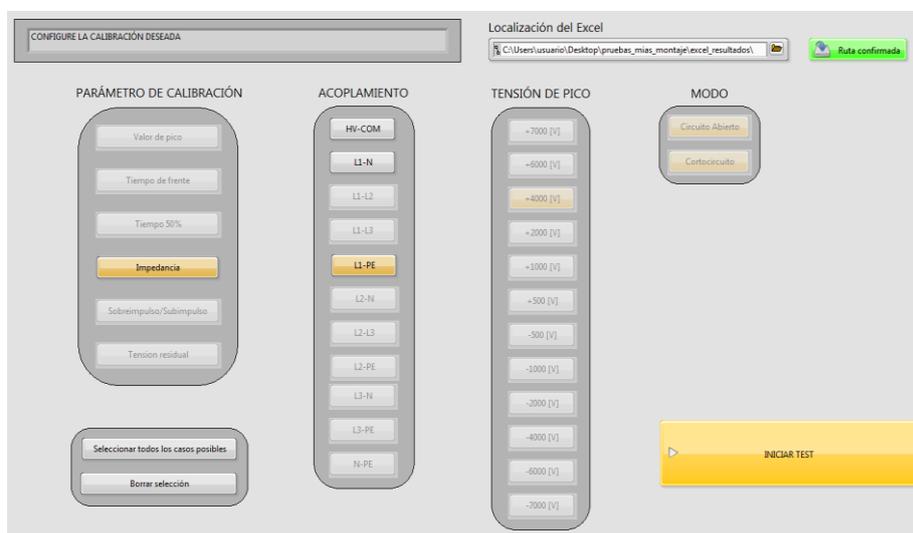
- Habilitación y deshabilitación de botones en función de lo pulsado anteriormente. Mediante esta función se inhabilita al usuario para que no pueda realizar una configuración de calibración inadecuada. Supóngase, que el usuario quiere calibrar el parámetro de impedancia de la *COUPLING NX7* y ya lo ha pulsado, el estado del menú será el siguiente:



**Figura 108: Ejemplo de habilitación automática de la botonería.**

En el ejemplo de la Figura 108, se aprecia cómo se mantienen solo habilitados para poder ser pulsados los botones que hacen referencia a los terminales de acoplamiento donde debe medirse el valor de impedancia. Esto no presta lugar a equívoco y ayuda al técnico a no deber conocer ni a tener presente el informe de la norma UNE-EN 61000-4-5.

- Autoselección. Continuando con el caso anterior, supóngase que el usuario decide calibrar la impedancia que se presenta en el acoplamiento L1-PE y pulsa el botón que hace referencia a ello:

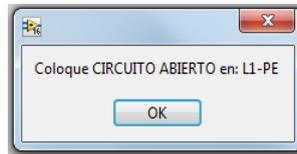


**Figura 109: Ejemplo de la función de autoselección.**

Como se puede observar, se ha autoseleccionado un valor de 4000 V y ambos modos de medición, tanto circuito abierto como cortocircuito, evitando al usuario tener que consultar los valores y los modos para cada uno de los parámetros y acoplamientos que deben calibrarse según el proceso técnico.

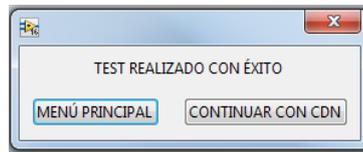
- Botones “Seleccionar todos los casos posibles” y “Borrar selección”. El primero marcará todos los casos posibles compatibles con la selección que haya realizado el usuario hasta el instante previo a su pulsación. El segundo, borrará automáticamente todas las selecciones realizadas hasta el momento, devolviendo el panel a la situación original. Ambos botones se habilitan una vez pulsados al menos uno de los “PARÁMETROS DE CALIBRACIÓN”.
- Inhabilitación del botón “INICIAR TEST” hasta que al menos haya una configuración de calibración completa. Evita errores y pérdidas de espera a la finalización de test incompletos.
- Ventanas emergentes informativas. Estas ventanas se muestran una vez pulsado el botón de “INICIAR TEST”. Con ellas se informa al usuario de los pasos a seguir desde dicho momento. Las posibles ventanas informativas tienen las siguientes finalidades:

- Mostrar información de qué modo de medición se va a colocar en qué acoplo. Mensaje que se muestra justo antes de proceder al lanzamiento de la onda de choque.



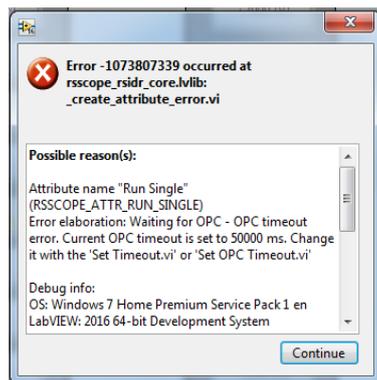
**Figura 110: Ejemplo de ventana emergente que muestra información al usuario comentando en qué acoplo debe conectar la sonda y en qué modo antes de continuar con el ensayo.**

- Mostrar al usuario información de cómo ha finalizado el proceso ofreciéndole la posibilidad de continuar con la calibración del dispositivo actual o de volver al menú principal.



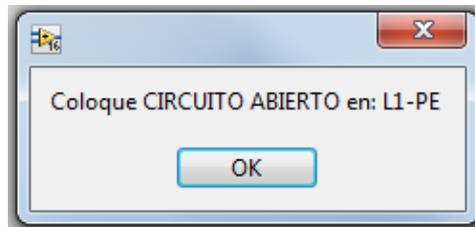
**Figura 111: Ventana emergente lanzada al finalizar completamente el proceso de calibración ofreciendo al usuario la posibilidad de continuar en el menú actual o volver al menú principal.**

- Mostrar al usuario información de errores potenciales que pueden ocurrir por varios motivos: pérdidas de conexión con los dispositivos, lecturas que no se llegan a realizar en el osciloscopio por malas conexiones, acoplamientos incorrectos, etc.



**Figura 112: Ejemplo de ventana emergente con información de errores cuando algo no se ha ejecutado de manera correcta.**

Una vez que haya pulsado el botón “INICIAR TEST”, coloque las sondas debidas en los acoplamientos que las ventanas emergentes citadas vayan indicando:



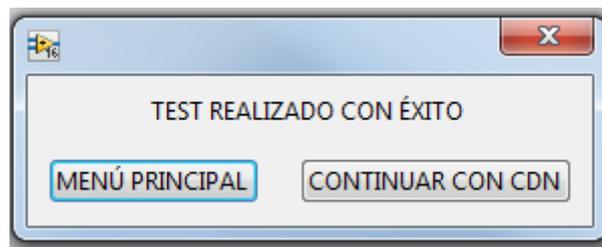
**Figura 113: Ejemplo de ventana emergente que muestra información al usuario comentando en qué acoplo debe conectar la sonda y en qué modo antes de continuar con el ensayo.**

Navegue por el menú y configure las calibraciones deseadas.

Cuando haya completado la selección deseada, si ha realizado al menos una composición de manera completa, el botón “INICIAR TEST” se encontrará habilitado adquiriendo un color anaranjado. Para comenzar con la ejecución de la calibración haga clic sobre él con el botón izquierdo del ratón. Éste se volverá de color verde y mostrará un mensaje sobre él “Test en proceso”.

Siga los pasos presentados en pantalla mediante las ventanas emergentes.

Una vez finalizado, se mostrará la siguiente ventana emergente:



**Figura 114: Ejemplo de ventana emergente que muestra información al usuario con el estado de finalización del proceso.**

Pulse sobre el botón “MENÚ PRINCIPAL” si desea cerrar el menú actual y volver al menú principal, por el contrario, si desea seguir haciendo calibraciones sobre el último equipo elegido, pulse en el botón “CONTINUAR CON CDN”.

En este momento, usted dispone de las mediciones adquiridas por el osciloscopio en el documento Excel que haya elegido y que se habrá abierto de manera automática:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
345	N-PE					4000	-4000						
346													
347	CA					3,91E+03	-3,87E+03						
348	CA					3,91E+03	-3,89E+03						
349	CA					3,91E+03	-3,89E+03						
350	CA					3,91E+03	-3,87E+03						
351	CA					3,91E+03	-3,89E+03						
352	CA					3,91E+03	-3,89E+03						
353	CA					3,91E+03	-3,89E+03						
354	CA					3,91E+03	-3,89E+03						
355	CA					3,91E+03	-3,89E+03						
356	CA					3,93E+03	-3,89E+03						
357													
358	MEDIA CA					3913,9922	-3889,3284						
359													

**Figura 115: Ejemplo de volcado de datos en Excel. En este caso se muestran los valores obtenidos en el lanzamiento de un ensayo de medida del parámetro “Valor de pico”, para tensiones de 4000 V y -4000 V por el acoplo N-PE en modo circuito abierto.**

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Jennings, Labview graphical programming, McGraw-Hill Education, 2019.
  
- [2] AENOR, UNE-EN 61000-4-5. Compatibilidad Electromagnética. Parte 4-5: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a las ondas de choque, 2015.
  
- [3] AENOR, UNE-EN ISO/IEC 17025. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, 2017.
  
- [4] Emtest, Compact NX5 / NX7. The ultra-compact simulator and its system modules, 2020.
  
- [5] Emtest, Manual for operating. Coupling NX series, 2019.
  
- [6] Rohde & Schwarz GmVH & Co. Kg, R&S RTO Digital Oscilloscope. User manual, 2012.
  
- [7] TESEQ, Technical Specification. High voltage differential probe series, 2011.
  
- [8] Pearson Electronics, Inc., Technical Specification. Pearson current monitor, model 411, 2011.
  
- [9] Emtest, Manual for remote control. NX series, 2020.