



# **Desarrollo de un procedimiento de calibración de sonómetros y calibradores acústicos de conformidad con las normas IEC 61672-3 e IEC 60942**

**Juan Felipe Maldonado Pedraza**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Bogotá, Colombia  
2021



# **Desarrollo de un procedimiento de calibración de sonómetros y calibradores acústicos de conformidad con las normas IEC 61672-3 e IEC 60942**

**Juan Felipe Maldonado Pedraza**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Automatización Industrial**

Director:  
Ph.D. Leonardo Enrique Bermeo Clavijo

Línea de investigación:  
Automatización en procesos de metrología  
Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Ingeniería  
Bogotá, Colombia  
2022



Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.



## Agradecimientos

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.





---

## Resumen

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

**Palabras clave:** Calibración, metrología, sonómetros, calibradores acústicos, automatización, visión de máquina, cadena de Markov

## Abstract

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

**Keywords:** Calibration, metrology, sound level meters, acoustic calibrators, automation, computer vision, Markov chain



# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>VII</b>
<b>Resumen</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>1</b>
<b>1 Implementación de los procedimientos de calibración</b>	<b>2</b>
1.1 Automatización de la calibración periódica de calibradores acústicos . . . . .	2
1.1.1 GRAFCET descriptivo del proceso . . . . .	2
1.1.2 Implementación en Python . . . . .	6
1.2 Automatización de la calibración periódica de sonómetros . . . . .	6
1.2.1 Implementación en Python . . . . .	6
<b>Bibliografía</b>	<b>7</b>



# Índice de figuras

<b>1-1</b>	GRAFCET de la rutina principal de la calibración periódica de calibradores acústicos. . . . .	3
<b>1-2</b>	GRAFCET's de las subrutinas para la calibración periódica de calibradores acústicos. . . . .	4



# Índice de cuadros

<b>1-1</b>	Descripción de los operandos del GRAFCET de la secuencia principal. . . . .	6
------------	---	---

# 1 Implementación de los procedimientos de calibración

En este capítulo se describe el desarrollo y arquitectura de software de las aplicaciones diseñadas para la calibración periódica de calibradores acústicos de acuerdo con la norma IEC 60942:2017 (tomando como base un modelamiento en GRAFCET) y de sonómetros de acuerdo con la norma IEC 61672-3:2013 (usando el sistema de reconocimiento de caracteres del capítulo ??). Se comparten enlaces a repositorios donde se pueden encontrar las aplicaciones desarrolladas.

## 1.1. Automatización de la calibración periódica de calibradores acústicos

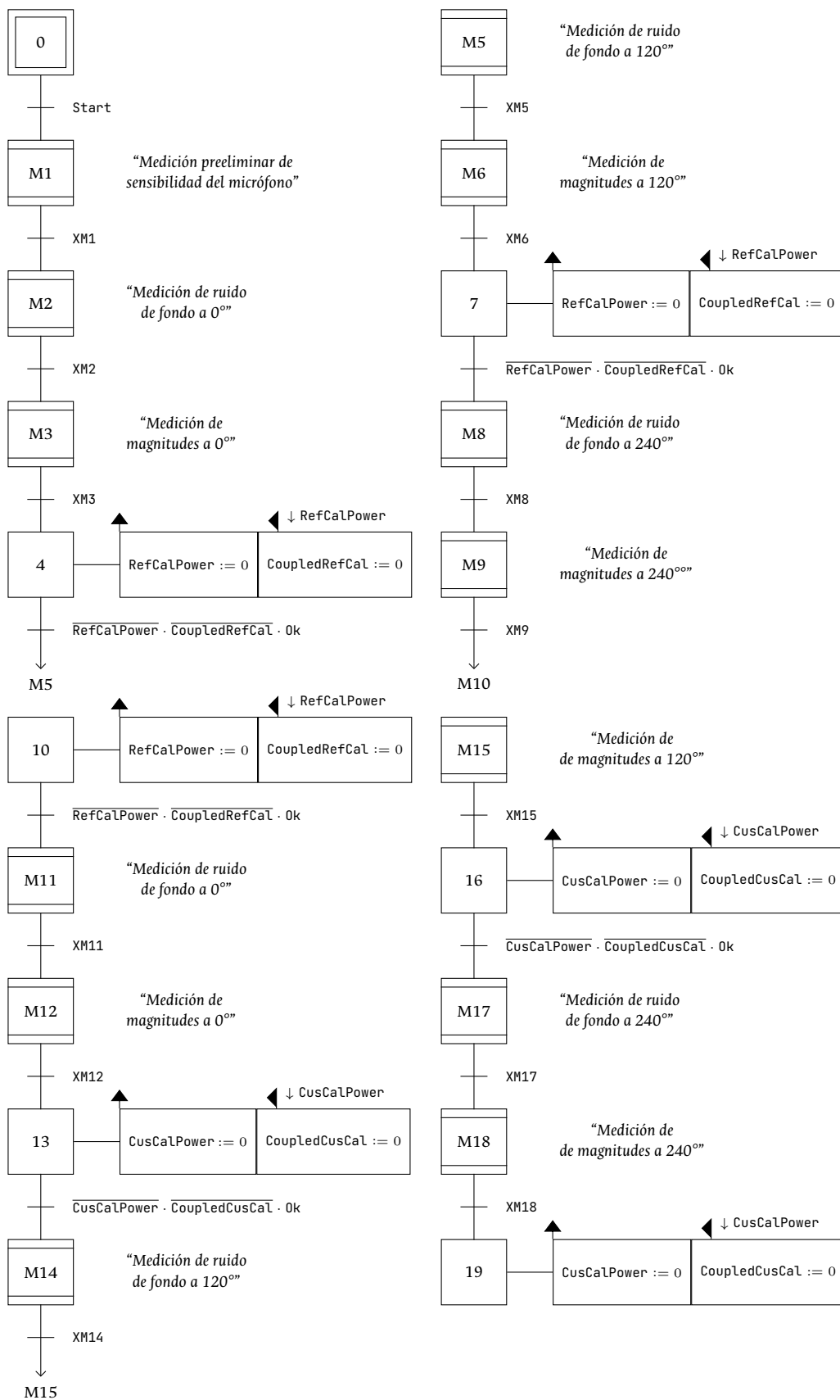
Siguiendo el método normalizado descrito en la sección ?? y el algoritmo de la figura ??, se modeló la secuencia de calibración en un gráfico de etapas y transiciones explicado en la siguiente sección.

### 1.1.1. GRAFCET descriptivo del proceso

Para dar mayor claridad, en la figura 1-1 se presenta la secuencia principal en la que se hacen llamadas a subrutinas mediante las etapas macro. Los GRAFCET de las subrutinas se muestran en las figuras 1-2a a la ??. En todos los GRAFCET, además de los operandos de cada etapa ( $x\#$ ), se emplean los del cuadro 1-1.

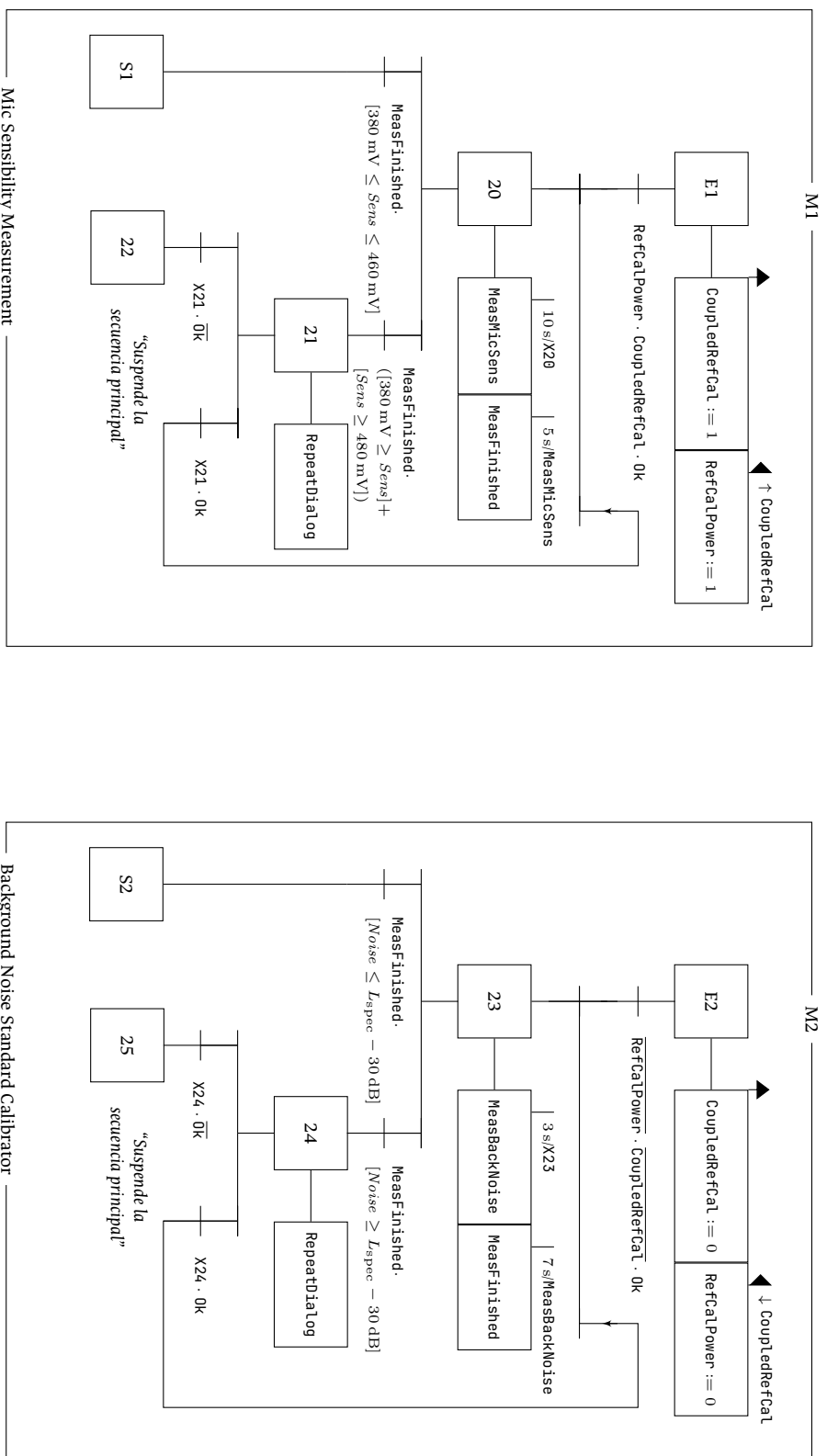


Figura 1-1: GRAFCET de la rutina principal de la calibración periódica de calibradores acústicos.

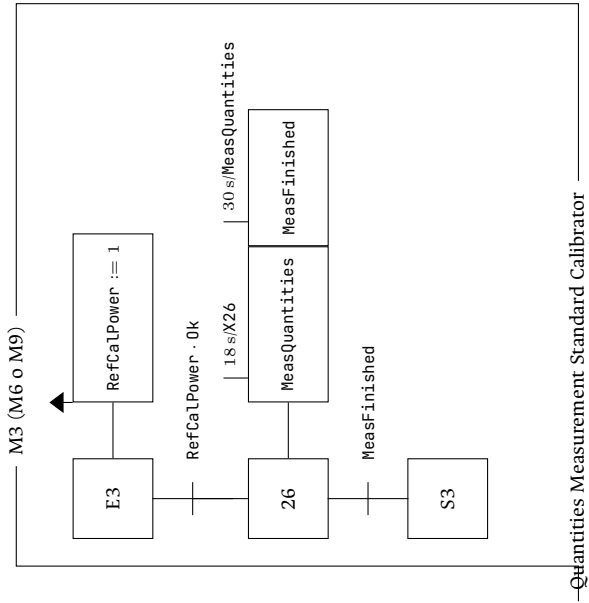


(a) Subrutina para la etapa macro 1: Medicion preeliminar de sensibilidad del micrófono.

(b) Subrutina para la etapa macro 2: Medición de ruido de fondo a  $L/0$  con el calibrador patrón.



(c) Subrutina para las etapas 3, 6 y 9: Medición de magnitudes con el calibrador patrón.



Cuadro 1-1: Descripción de los operandos del GRAFCET de la secuencia principal.

Operando	Descripción
RefCalPower	Estado del calibrador acústico patrón. True significa encender y False es apagar. Esta acción es realizada manualmente por el operador.
CoupledRefCal	Estado de acoplamiento del calibrador acústico patrón. True significa acoplar el calibrador al micrófono, False es desacoplar el calibrador. Esta acción es realizada manualmente por el operador.
CusCalPower	Estado del calibrador acústico bajo calibración. True significa encender y False es apagar. Esta acción es realizada manualmente por el operador.
CoupledCusCal	Estado de acoplamiento del calibrador acústico bajo calibración. True significa acoplar el calibrador al micrófono, False es desacoplar el calibrador. Esta acción es realizada manualmente por el operador.
Ok	Respuesta del usuario a un mensaje de diálogo con los botones “Aceptar” (True) o “Cancelar” (False).
MeasMicSens	Medir sensibilidad. Esta acción es automática.
MeasFinished	Señal que indica que la medición en curso ha finalizado.
MeasBackNoise	Medir ruido de fondo. Esta acción es automática.

### 1.1.2. Implementación en Python

#### Arquitectura de software

## 1.2. Automatización de la calibración periódica de sonómetros

### 1.2.1. Implementación en Python

#### Arquitectura de software

# Bibliografía

IEC technical committee 29: Electroacoustics (2013). Electroacoustics – sound level meters - part 1: Specifications. Standard IEC 61672-1:2013, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.

IEC technical committee 29: Electroacoustics (2017). Electroacoustics – sound calibrators. Standard IEC 60942:2017, International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.