

**DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO (PCB)
PROTOTIPO PARA UN ACELERÓMETRO
BASADO EN TECNOLOGÍA MEMS**

María Patino Esteban, Jose Antonio López Pérez,
Carlos Almendros Muñoz, José Benito Bravo

IT-CDT 2013-5

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS	2
ÍNDICE DE TABLAS	2
ACRÓNIMOS.....	3
1 Introducción	4
2 Descripción del circuito.....	5
3 Circuito impreso (PCB)	9
4 ANEXO: DATASHEETS	13

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Esquema general del Sistema de Captación y Registro de Aceleraciones del Suelo ..	4
Figura 2-1. Esquema eléctrico del acelerómetro basado en tecnología MEMES	5
Figura 2-2. Acelerómetro MEMS LIS331DLH.....	5
Figura 2-3. STEVAL-MKI089V1.....	6
Figura 2-4. Esquema eléctrico tarjeta adaptadora STEVAL-MKI089V1.....	6
Figura 2-5. Switch I2C PCA9545AD.....	7
Figura 2-6. Regulador TPS73133DBVT	7
Figura 3-1. Disposición de los elementos en el PCB.....	9
Figura 3-2. PCB (Top Layer)	10
Figura 3-3. PCB (Bottom Layer)	10
Figura 3-4. PCB Top	11
Figura 3-5. PCB Bottom	11
Figura 3-6. PCB prototipo para un acelerómetro basado en tecnología MEMS.....	12

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Componentes para el acelerómetro basado en tecnología MEMS	8
-----------------------------------------------------------------------------	---

ACRÓNIMOS

CDT	Centro de Desarrollos Tecnológicos
DC	Corriente Continua (Direct Current)
Filtro EMI	Filtro de Interferencia Electromagnética (Electromagnetic Interference)
GPRS	Servicio General de Paquetes vía Radio (General Packet Radio Service)
I ² C	Inter-Circuitos Integrados (Inter-Integrated Circuit)
LED	Diodo Emisor de Luz (Light-Emitting Diode)
MEMS	Sistemas Microelectromecánicos (Microelectromechanical Systems)
PCB	Tarjeta de Circuito Impreso (Printed Circuit Board)
RSN	Red Sísmica Nacional
USB	Bus Universal en serie (Universal Serial Bus)

1 Introducción

La Red Sísmica Nacional (RSN) ha realizado un *Sistema Integrado de Captación y Registro de Aceleraciones del Suelo, basado en Tecnología MEMS y Comunicaciones GPRS*, que permite capturar aceleraciones del suelo en un equipo remoto, optimizar los datos capturados y transmitirlos a un centro de recepción de datos. El esquema principal de este sistema puede observarse en la siguiente figura.

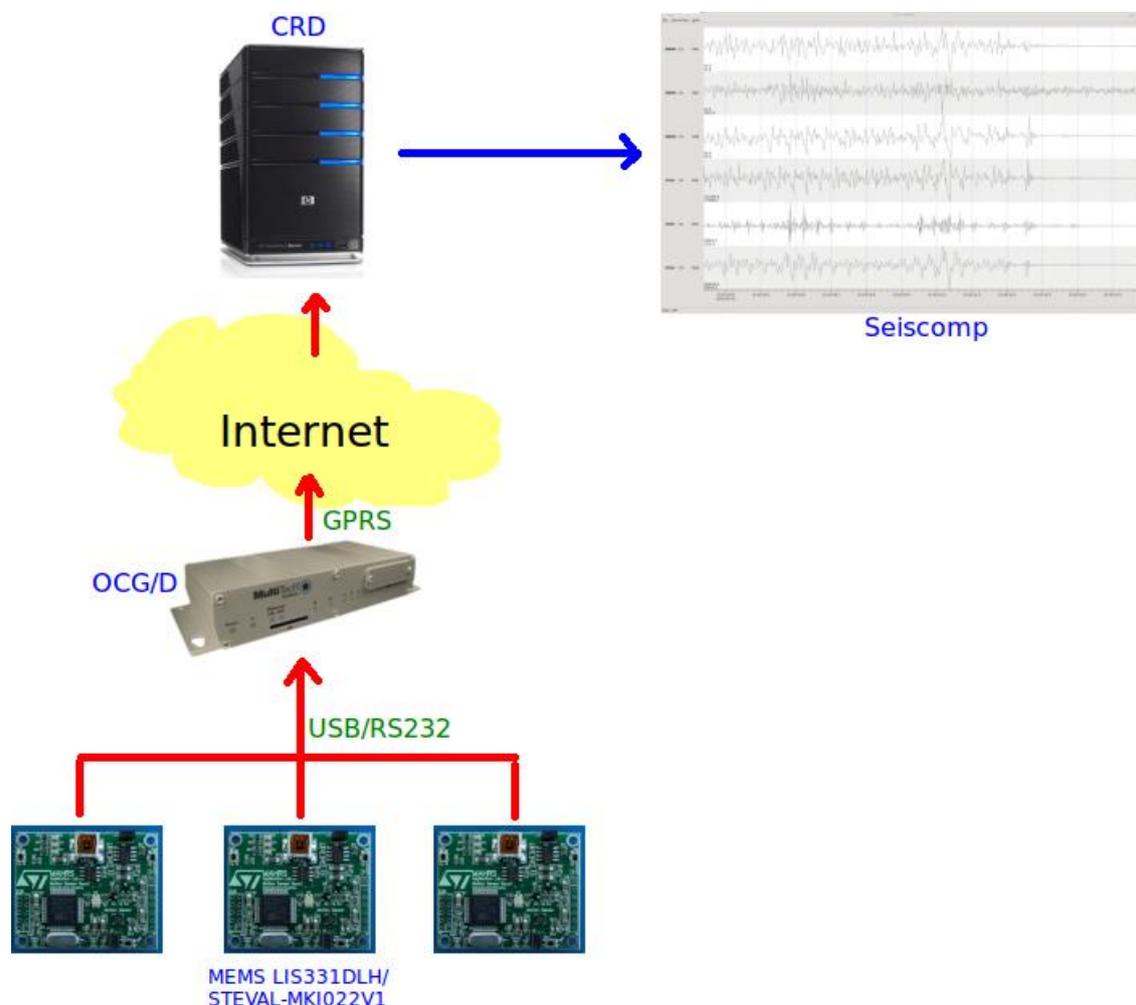


Figura 1-1. Esquema general del Sistema de Captación y Registro de Aceleraciones del Suelo

Los sensores MEMS empleados son tres tarjetas de evaluación de ST Microelectronics (STEVAL-MKI022VI), que contienen un MEMS LIS331DLH, y disponen de conectividad USB.

El objetivo del Centro de Desarrollos Tecnológicos (CDT) de Yebes ha sido, a petición de la Jefatura de Servicio de Datos Sísmicos del IGN, el diseño e implementación de una tarjeta PCB prototipo, que incluya el máximo número de chips LIS33DLH y facilite la comunicación con el resto del sistema, para sustituir las tres tarjetas de evaluación actuales por una sola. Con este fin, se ha optimizado el diseño eléctrico obteniendo un circuito más compacto, con una sincronización más precisa gobernada por el reloj del bus I²C, una implementación más cómoda y un menor coste de producción.

2 Descripción del circuito

El esquema propuesto agrupa cuatro acelerómetros LIS331DLH de tecnología MEMS en una sola tarjeta y puede verse en la Figura 2-1. Cada uno de los MEMS es capaz de medir las aceleraciones en los ejes X, Y y Z. Por tanto, se podrán promediar las cuatro lecturas en cada eje, reduciendo así el error de las medidas en un factor 2, y, por tanto, la dispersión de las mismas, asumiendo que las lecturas de los sensores MEMS son independientes.

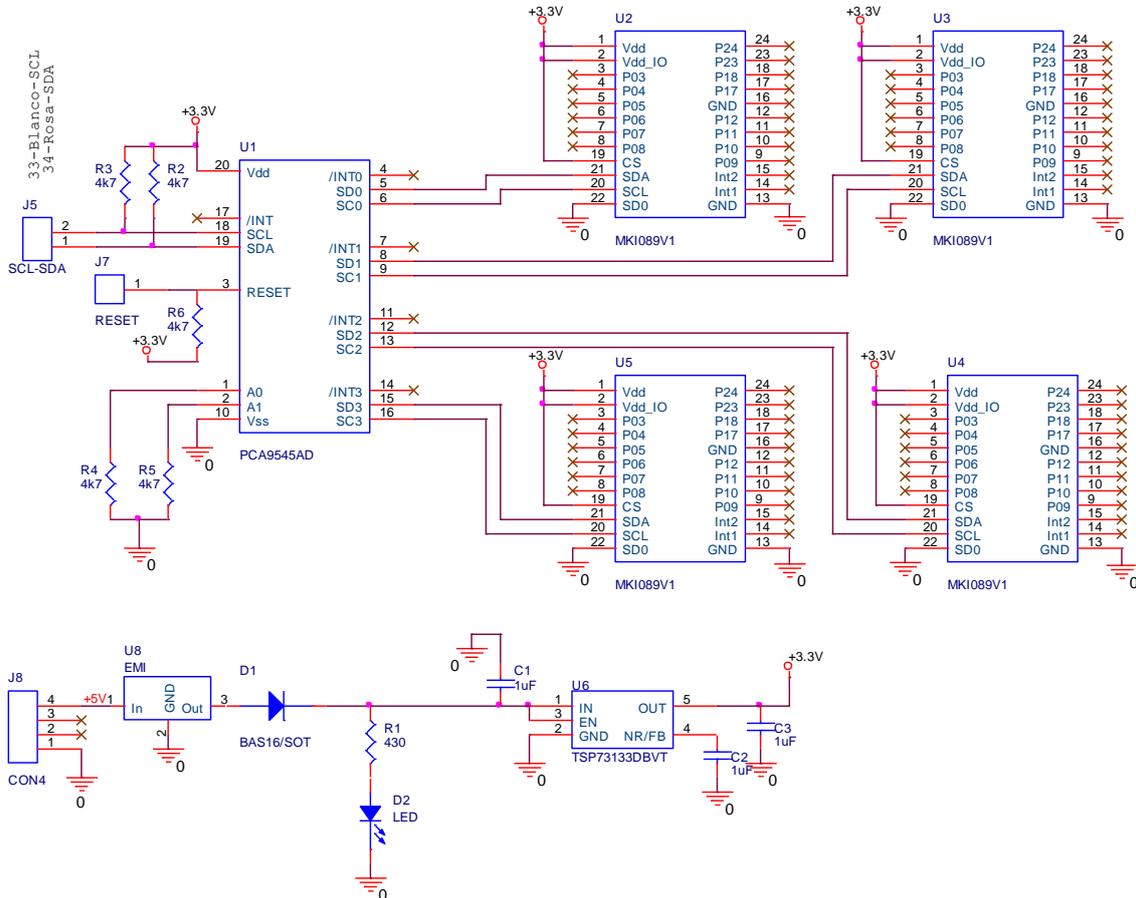


Figura 2-1. Esquema eléctrico del acelerómetro basado en tecnología MEMS

Como se ha referido en el apartado anterior, el acelerómetro MEMS requerido es el chip LIS331DLH de ST Microelectronics, por sus características y su gran disponibilidad en el mercado. Su encapsulado es LGA-16 de dimensiones 3x3x1 mm y se muestra en la Figura 2-2.

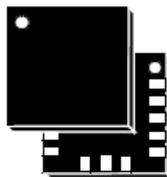


Figura 2-2. Acelerómetro MEMS LIS331DLH

Debido a limitaciones técnicas del Laboratorio de Electrónica del CDT, no es posible soldar este dispositivo en la implementación del PCB por el tipo de encapsulado que dispone. Para ello sería necesario un equipamiento especial del cual carece este laboratorio. Como el objetivo es

Diseño del circuito impreso (PCB) prototipo para un acelerómetro basado en tecnología MEMS

realizar una tarjeta prototipo, compacta, se emplea una tarjeta adaptadora para un zócalo estándar DIL-24 que contiene el LIS331DLH, la tarjeta **STEVAL-MKI089V1** de ST Microelectronics, cuyo esquema eléctrico puede verse en la Figura 2-4. De las conexiones disponibles sólo son necesarias para la implementación del circuito las de alimentación DC y las de control I²C, no utilizándose las conexiones para interrupciones.

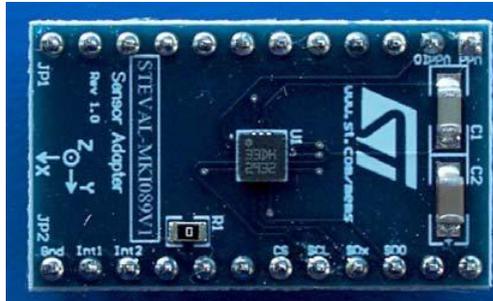


Figura 2-3. STEVAL-MKI089V1

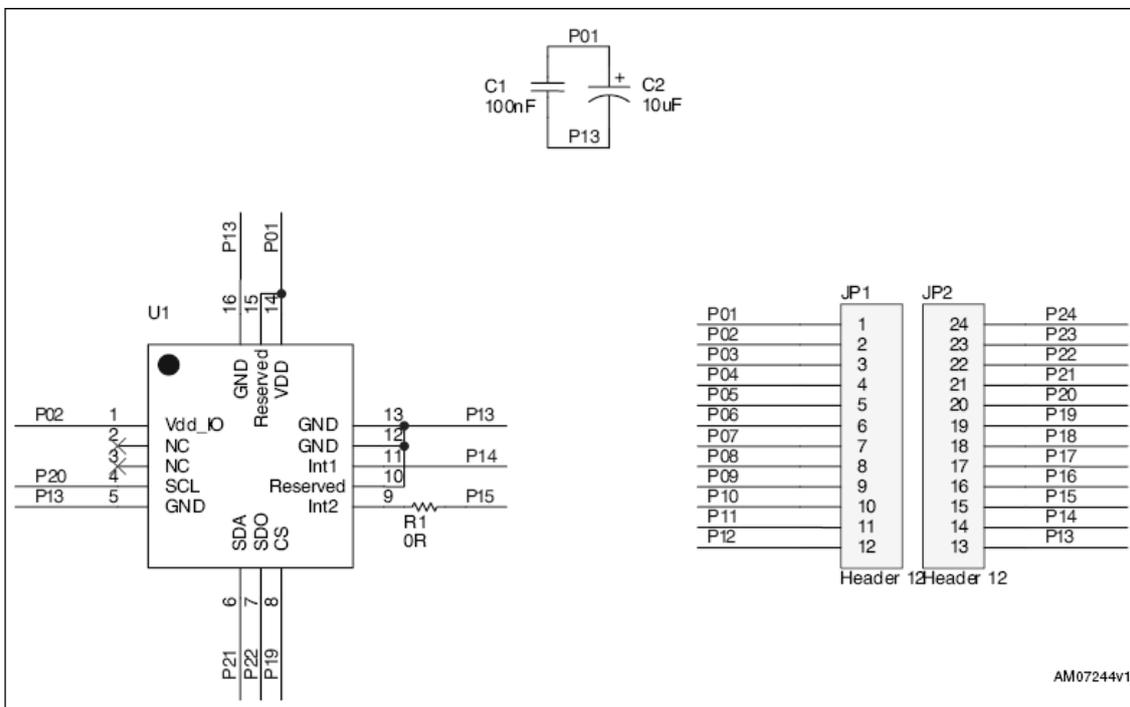
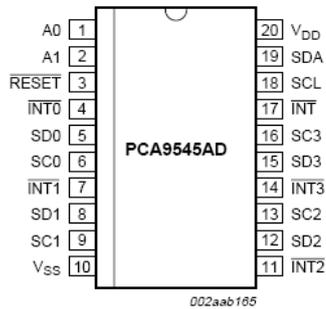


Figura 2-4. Esquema eléctrico tarjeta adaptadora STEVAL-MKI089V1

Se va a emplear la interfaz de salida digital I²C proporcionada por el acelerómetro para comunicarse con el procesador. Teniendo esto en cuenta, se busca un switch I²C que permita tener comunicación con varios dispositivos simultáneamente. Para un primer prototipo se emplea el switch I²C de 4 canales, el **PCA9545AD** de NXP, con un encapsulado SO-20, como se muestra en la figura 2-5.



Symbol	Pin		Description
	SO20, TSSOP20	HVQFN20	
A0	1	19	address input 0
A1	2	20	address input 1
RESET	3	1	active LOW reset input
INT0	4	2	active LOW interrupt input 0
SD0	5	3	serial data 0
SC0	6	4	serial clock 0
INT1	7	5	active LOW interrupt input 1
SD1	8	6	serial data 1
SC1	9	7	serial clock 1
V _{SS}	10	8	supply ground
INT2	11	9	active LOW interrupt input 2
SD2	12	10	serial data 2
SC2	13	11	serial clock 2
INT3	14	12	active LOW interrupt input 3
SD3	15	13	serial data 3
SC3	16	14	serial clock 3
INT	17	15	active LOW interrupt output
SCL	18	16	serial clock line
SDA	19	17	serial data line
V _{DD}	20	18	supply voltage

[1] HVQFN20 package die supply ground is connected to both the V_{SS} pin and the exposed center pad. The V_{SS} pin must be connected to supply ground for proper device operation. For enhanced thermal, electrical, and board-level performance, the exposed pad needs to be soldered to the board using a corresponding thermal pad on the board, and for proper heat conduction through the board thermal vias need to be incorporated in the PCB in the thermal pad region.

Figura 2-5. Switch I2C PCA9545AD

Por otra parte, el modulo OCG/D del sistema (módem GPRS) proporciona una tensión de alimentación de +5V a través de una conexión USB. Puesto que los dispositivos empleados requieren una tensión de alimentación de +3.3V es necesario emplear un regulador de tensión para obtener el valor deseado. Para este fin se ha empleado el regulador **TPS73133DBVT** de Texas Instruments con encapsulado SOT-23, como se muestra en la figura 2-6.

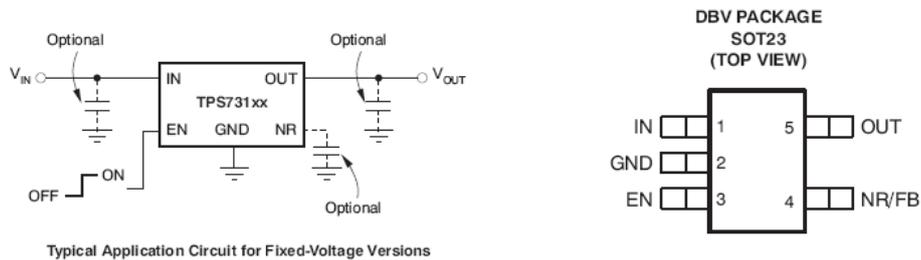


Figura 2-6. Regulador TPS73133DBVT

En el esquema eléctrico mostrado en la Figura 2-1, además de los componentes anteriormente citados, se han tenido en cuenta las resistencias y condensadores necesarios para el buen funcionamiento de los dispositivos. A modo de resumen, en la Tabla 2-1, se muestra un listado de los componentes necesarios.

Diseño del circuito impreso (PCB) prototipo para un acelerómetro basado en tecnología MEMS

Componente	Referencia	Fabricante	Código RS	Ud. necesarias
Acelerómetro MEMS	STEVAL-MKI089V1	ST Microelectronics	717-3751	4
Switch I ² C	PCA9545AD	NXP	725-8865	1
Regulador 3.3V	TPS73133DBVT	Texas Instruments	620-1445	1
Filtro EMI		Mitsubishi	214-6079	1
Diodo rectificador	BAS16	NXP	436-7773	1
Diodo LED	SML-211YTT86K	ROHM	1685057 (Farnell)	1
Condensador 1μF				3
Resistencia 430Ω				1
Resistencia 4K7				4

Tabla 2-1. Componentes para el acelerómetro basado en tecnología MEMS

3 Circuito impreso (PCB)

Una vez realizado el esquema eléctrico del circuito, y analizadas las conexiones necesarias entre los dispositivos que lo forman, se realiza el diseño del circuito impreso con ayuda del programa CADStar. En las siguientes figuras se puede ver la disposición final de los distintos elementos en la tarjeta así como los planos Top y Bottom del PCB.

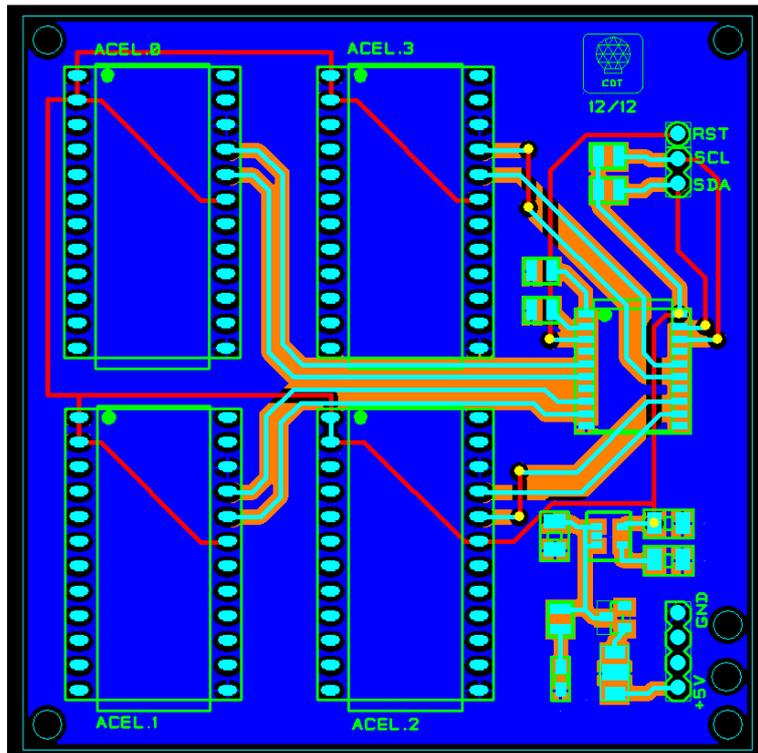


Figura 3-1. Disposición de los elementos en el PCB

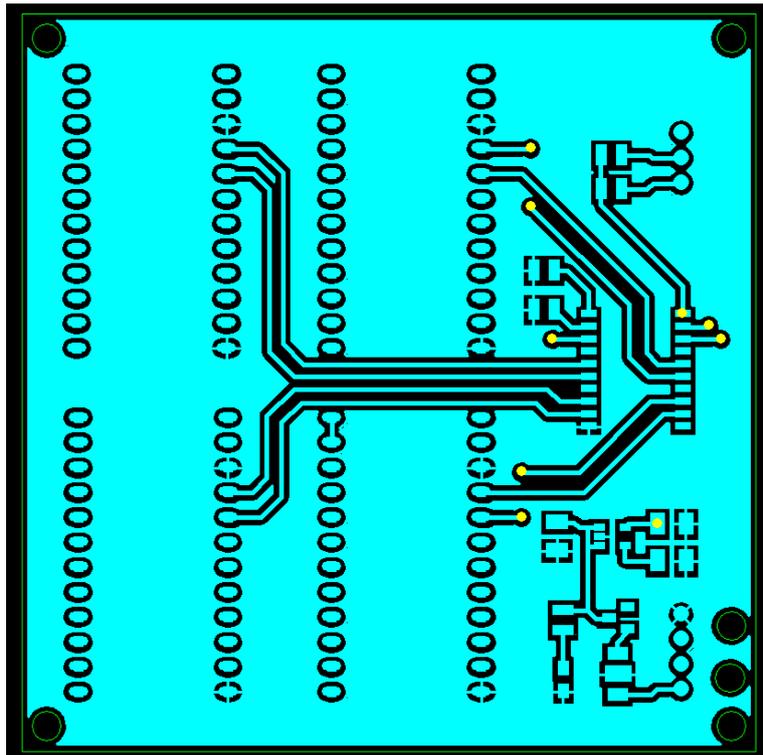


Figura 3-2. PCB (Top Layer)

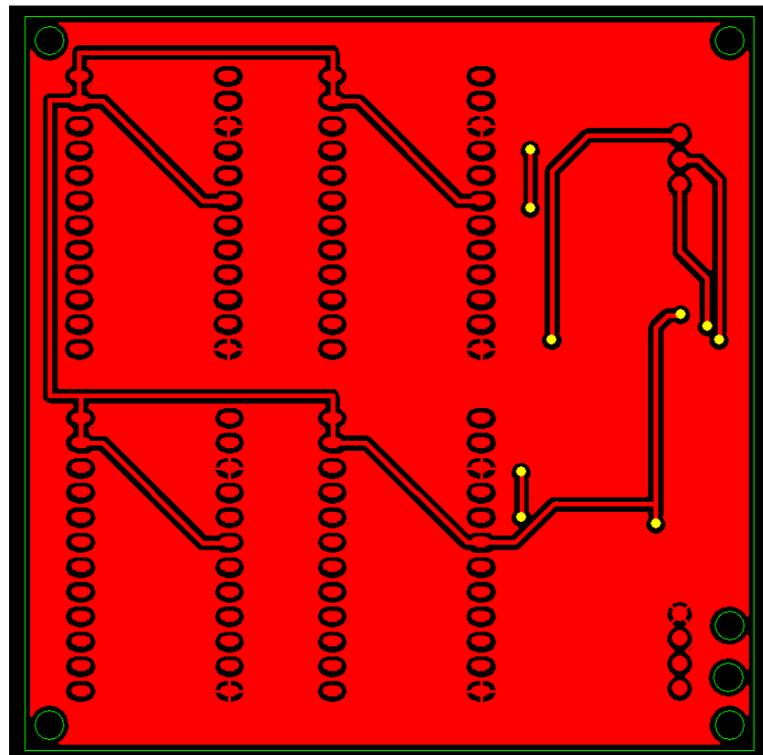


Figura 3-3. PCB (Bottom Layer)

La fabricación de la tarjeta se ha realizado con ayuda de la fresadora LPKF disponible en el laboratorio de electrónico del CDT y la metalización de las vías se ha llevado a cabo en el laboratorio de química del centro.

Diseño del circuito impreso (PCB) prototipo para un acelerómetro basado en tecnología MEMS

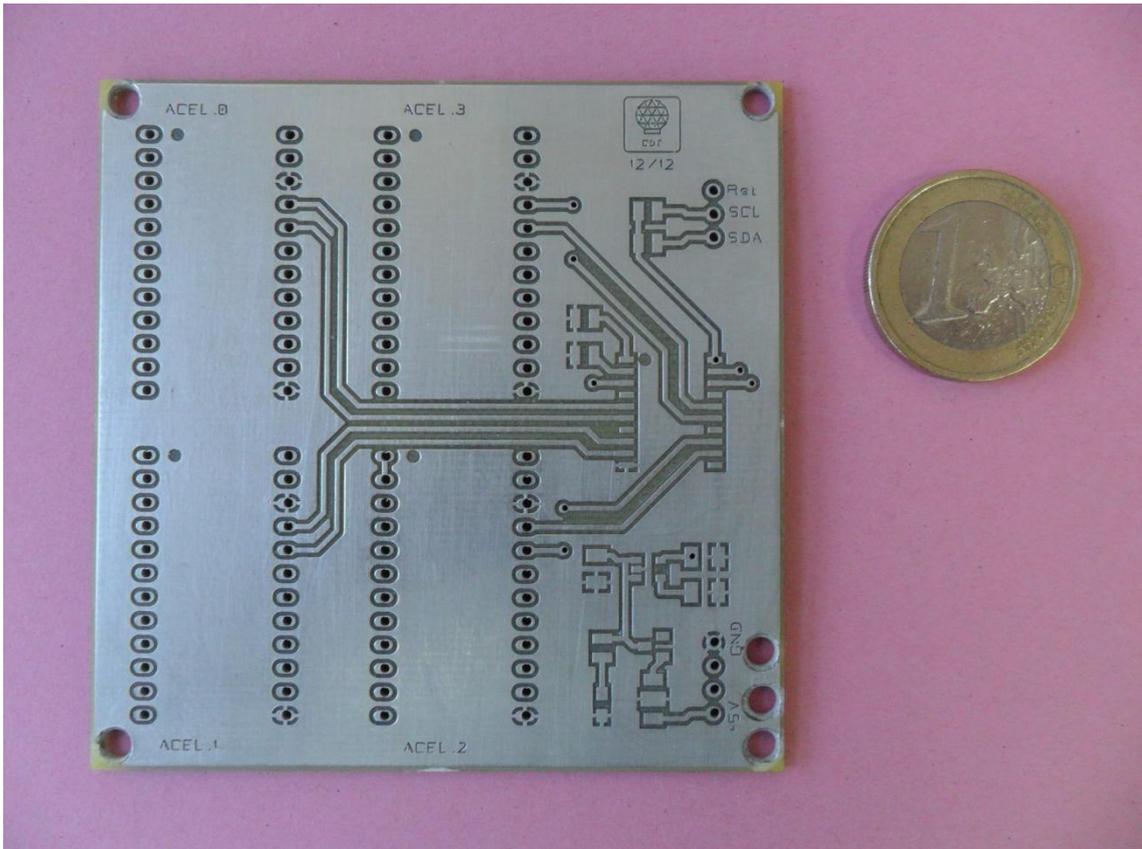


Figura 3-4. PCB Top

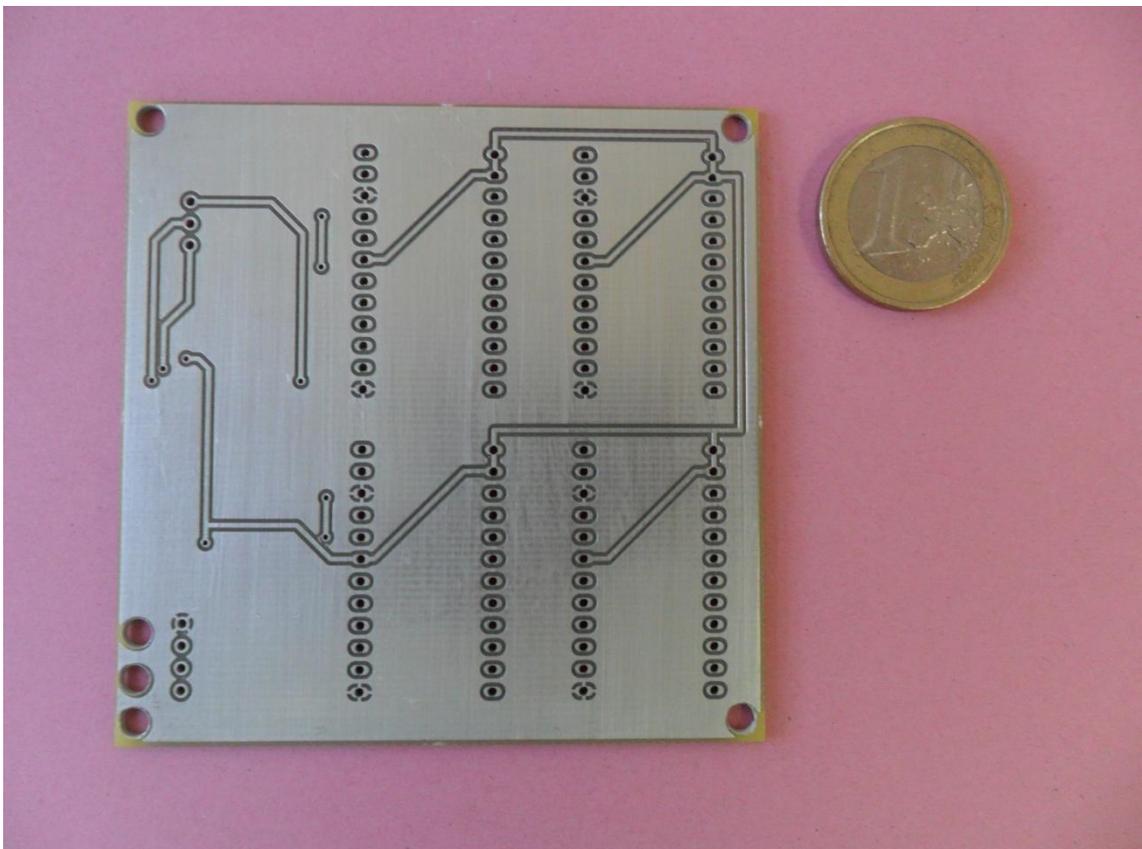


Figura 3-5. PCB Bottom

Diseño del circuito impreso (PCB) prototipo para un acelerómetro basado en tecnología MEMS

Y para finalizar el proceso de fabricación se sueldan los componentes en su lugar correspondiente. El resultado final se observa en la siguiente imagen.

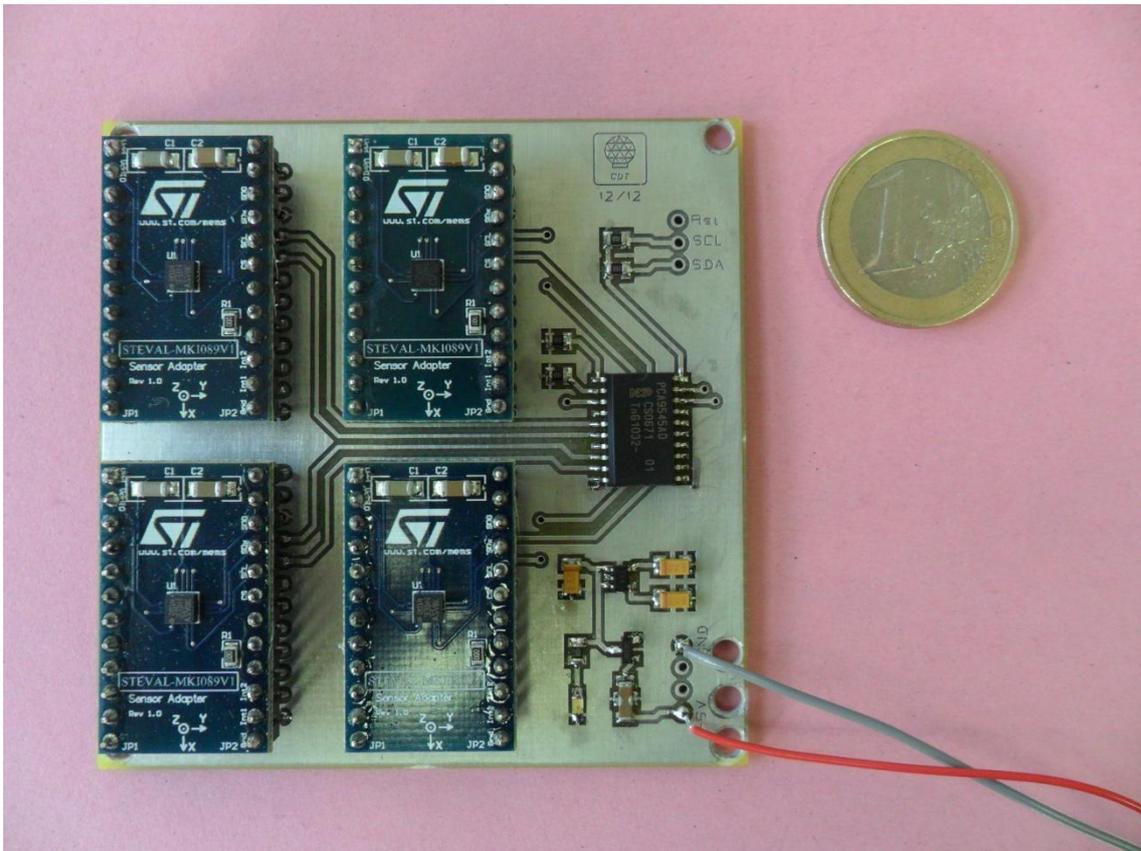
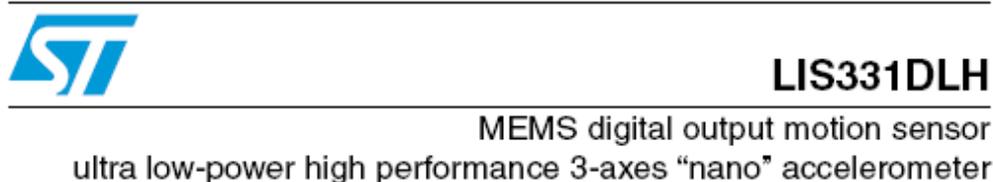


Figura 3-6. PCB prototipo para un acelerómetro basado en tecnología MEMS

4 ANEXO: DATASHEETS

Las características de cada dispositivo se pueden ver en la hoja de características dada por el fabricante. A continuación se muestran los enlaces donde se pueden consultar.

- Acelerómetro MEMS LIS331DLH de ST Microelectronics
 - <http://www.st.com/internet/analog/product/218132.jsp>
 - http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00213470.pdf

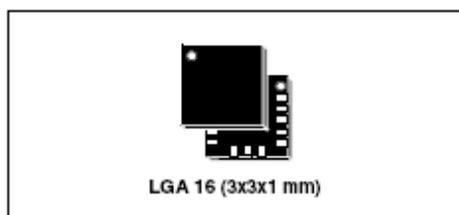


Features

- Wide supply voltage, 2.16 V to 3.6 V
- Low voltage compatible IOs, 1.8 V
- Ultra low-power mode consumption down to 10 μ A
- $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ dynamically selectable full-scale
- I²C/SPI digital output interface
- 16 bit data output
- 2 independent programmable interrupt generators for free-fall and motion detection
- Sleep to wake-up function
- 6D orientation detection
- Embedded self-test
- 10000 g high shock survivability
- ECOPACK[®] RoHS and "Green" compliant (see [Section 8](#))

Applications

- Motion activated functions
- Free-fall detection
- Intelligent power saving for handheld devices
- Pedometer
- Display orientation
- Gaming and virtual reality input devices
- Impact recognition and logging
- Vibration monitoring and compensation



Description

The LIS331DLH is an ultra low-power high performance three axes linear accelerometer belonging to the "nano" family, with digital I²C/SPI serial interface standard output.

The device features ultra low-power operational modes that allow advanced power saving and smart sleep to wake-up functions.

The LIS331DLH has dynamically user selectable full scales of $\pm 2g/\pm 4g/\pm 8g$ and it is capable of measuring accelerations with output data rates from 0.5 Hz to 1 kHz.

The self-test capability allows the user to check the functioning of the sensor in the final application.

The device may be configured to generate interrupt signal by inertial wake-up/free-fall events as well as by the position of the device itself. Thresholds and timing of interrupt generators are programmable by the end user on the fly.

The LIS331DLH is available in small thin plastic land grid array package (LGA) and it is guaranteed to operate over an extended temperature range from -40 °C to +85 °C.

Table 1. Device summary

Order codes	Temperature range [°C]	Package	Packaging
LIS331DLH	-40 to +85	LGA 16	Tray
LIS331DLHTR	-40 to +85	LGA 16	Tape and reel

- Tarjeta adaptadora DIL-24: STEVAL-MKI089V1 de ST Microelectronics
 - <http://www.st.com/internet/evalboard/product/250480.jsp>
 - http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATA_BRIEF/CD00272391.pdf



STEVAL-MKI089V1

LIS331DLH adapter board for standard DIL 24 socket

Data brief

Features

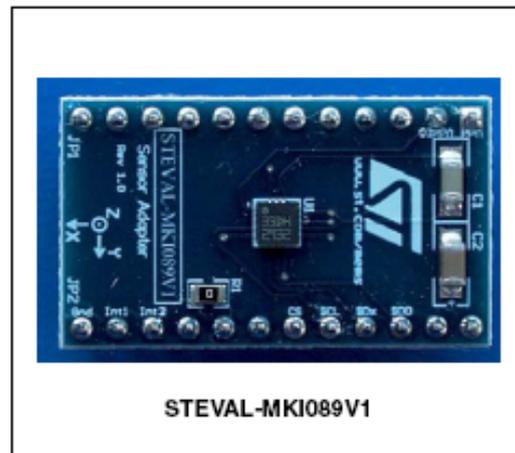
- Complete LIS331DLH pinout for a standard DIL 24 socket
- Fully compatible with all other available adapter boards
- RoHS compliant

Description

The STEVAL-MKI089V1 is an adapter board designed to facilitate the evaluation of MEMS devices in the LIS331DLH product family. The board offers an effective solution for fast system prototyping and device evaluation directly within the user's own application.

The STEVAL-MKI089V1 can be plugged into a standard DIL 24 socket. The adapter provides the complete LIS331DLH pinout and comes ready-to-use with the required decoupling capacitors on the V_{DD} power supply line.

The pinout of the adapter is fully compatible with all other available adapter boards, making it possible to easily switch from one sensor to another during device evaluation without the need for board redesign.



- Switch I²C: PCA9545A/45B/45C de NXP
 - http://www.nxp.com/products/interface_and_connectivity/i2c/i2c_multiplexers_switches/series/PCA9545A_45B_45C.html
 - http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCA9545A_45B_45C.pdf



PCA9545A/45B/45C

4-channel I²C-bus switch with interrupt logic and reset

Rev. 07 — 19 June 2009

Product data sheet

1. General description

The PCA9545A/45B/45C is a quad bidirectional translating switch controlled via the I²C-bus. The SCL/SDA upstream pair fans out to four downstream pairs, or channels. Any individual SCx/SDx channel or combination of channels can be selected, determined by the contents of the programmable control register. Four interrupt inputs, INT0 to INT3, one for each of the downstream pairs, are provided. One interrupt output, INT, acts as an AND of the four interrupt inputs.

An active LOW reset input allows the PCA9545A/45B/45C to recover from a situation where one of the downstream I²C-buses is stuck in a LOW state. Pulling the RESET pin LOW resets the I²C-bus state machine and causes all the channels to be deselected as does the internal power-on reset function.

The pass gates of the switches are constructed such that the V_{DD} pin can be used to limit the maximum high voltage which will be passed by the PCA9545A/45B/45C. This allows the use of different bus voltages on each pair, so that 1.8 V or 2.5 V or 3.3 V parts can communicate with 5 V parts without any additional protection. External pull-up resistors pull the bus up to the desired voltage level for each channel. All I/O pins are 5 V tolerant.

The PCA9545A, PCA9545B and PCA9545C are identical except for the fixed portion of the slave address.

2. Features

- 1-of-4 bidirectional translating switches
- I²C-bus interface logic; compatible with SMBus standards
- 4 active LOW interrupt inputs
- Active LOW interrupt output
- Active LOW reset input
- 2 address pins allowing up to 4 devices on the I²C-bus
- Alternate address versions A, B and C allow up to a total of 12 devices on the bus for larger systems or to resolve address conflicts
- Channel selection via I²C-bus, in any combination
- Power-up with all switch channels deselected
- Low R_{on} switches
- Allows voltage level translation between 1.8 V, 2.5 V, 3.3 V and 5 V buses
- No glitch on power-up
- Supports hot insertion
- Low standby current
- Operating power supply voltage range of 2.3 V to 5.5 V



- 5 V tolerant inputs
- 0 Hz to 400 kHz clock frequency
- ESD protection exceeds 2000 V HBM per JESD22-A114, 200 V MM per JESD22-A115, and 1000 V CDM per JESD22-C101
- Latch-up protection exceeds 100 mA per JESD78
- Three packages offered: SO20, TSSOP20, and HVQFN20

3. Ordering information

Table 1. Ordering information

Type number	Package		Version
	Name	Description	
PCA9545ABS	HVQFN20	plastic thermal enhanced very thin quad flat package; no leads; 20 terminals; body 5 × 5 × 0.85 mm	SOT662-1
PCA9545AD	SO20	plastic small outline package; 20 leads; body width 7.5 mm	SOT163-1
PCA9545APW	TSSOP20	plastic thin shrink small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm	SOT380-1
PCA9545BPW			
PCA9545CPW			

3.1 Ordering options

Table 2. Ordering options

Type number	Topside mark	Temperature range
PCA9545ABS	9545A	-40 °C to +85 °C
PCA9545AD	PCA9545AD	-40 °C to +85 °C
PCA9545APW	PA9545A	-40 °C to +85 °C
PCA9545BPW	PA9545B	-40 °C to +85 °C
PCA9545CPW	PA9545C	-40 °C to +85 °C

- Regulador 3.3V: TPS73133DBVT de Texas Instruments
 - <http://www.ti.com/product/tps73133>
 - <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps73133.pdf>



TPS731xx

www.ti.com

SBVS034M – SEPTEMBER 2003 – REVISED AUGUST 2009

Cap-Free, NMOS, 150mA Low Dropout Regulator with Reverse Current Protection

FEATURES

- Stable with No Output Capacitor or Any Value or Type of Capacitor
- Input Voltage Range of 1.7V to 5.5V
- Ultralow Dropout Voltage: 30mV Typ
- Excellent Load Transient Response—with or without Optional Output Capacitor
- New NMOS Topology Provides Low Reverse Leakage Current
- Low Noise: 30 μ V_{RMS} Typ (10kHz to 100kHz)
- 0.5% Initial Accuracy
- 1% Overall Accuracy over Line, Load, and Temperature
- Less Than 1 μ A Max I_Q in Shutdown Mode
- Thermal Shutdown and Specified Min/Max Current Limit Protection
- Available in Multiple Output Voltage Versions
 - Fixed Outputs of 1.20V to 5.0V
 - Adjustable Outputs from 1.20V to 5.5V
 - Custom Outputs Available

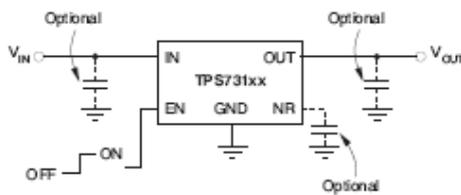
DESCRIPTION

The TPS731xx family of low-dropout (LDO) linear voltage regulators uses a new topology: an NMOS pass element in a voltage-follower configuration. This topology is stable using output capacitors with low ESR, and even allows operation without a capacitor. It also provides high reverse blockage (low reverse current) and ground pin current that is nearly constant over all values of output current.

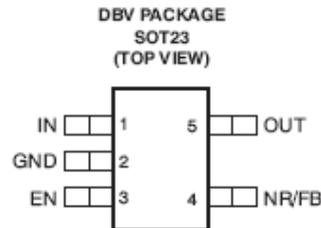
The TPS731xx uses an advanced BiCMOS process to yield high precision while delivering very low dropout voltages and low ground pin current. Current consumption, when not enabled, is under 1 μ A and ideal for portable applications. The extremely low output noise (30 μ V_{RMS} with 0.1 μ F C_{NR}) is ideal for powering VCOs. These devices are protected by thermal shutdown and foldback current limit.

APPLICATIONS

- Portable/Battery-Powered Equipment
- Post-Regulation for Switching Supplies
- Noise-Sensitive Circuitry such as VCOs
- Point of Load Regulation for DSPs, FPGAs, ASICs, and Microprocessors



Typical Application Circuit for Fixed-Voltage Versions



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

All trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2003–2009, Texas Instruments Incorporated