

# PUESTA EN MARCHA

qZSI

2025

Director:

Vazquez Sieber, Andrés

Autores:

Fasolato, Alejandro Claudio,

Soso, Alvaro Francisco,

Zuliani, Agustín Marcelo,

<b>1. Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Objetivo.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Tareas preliminares.....</b>	<b>4</b>
3.1. Verificaciones sobre las placas.....	4
3.2. Conexionado externo.....	4
<b>4. Firmware.....</b>	<b>5</b>
4.1. Secuencia de arranque.....	5
4.1.1. Estados de la MEF.....	5
Condiciones que disparan FAULT.....	9
4.2. Configuraciones FIRMWARE.....	11
4.2.1. Archivo inverterConfig.h.....	11
4.2.2. Archivo qZSI.h.....	11
4.2.3. Archivo digitalPot.h.....	12
<b>5. Configuraciones externas.....</b>	<b>13</b>
5.1. Fuente.....	13
5.2. Carga.....	13
5.3. Instrumental.....	13
5.3.1. Osciloscopio.....	13
5.3.2. Sondas diferenciales.....	13
5.3.3. Multímetro.....	13
<b>6. Protocolo de encendido.....</b>	<b>14</b>
6.1. Configuraciones.....	14
6.1.1. Configuración de firmware.....	14
6.2. Conexiones seguras.....	14
6.3. Alimentación.....	15
6.4. Carga del código.....	15
6.5. Escalado de potencia.....	15
6.6. Desenergización segura.....	16
<b>7. Procedimiento en caso de falla – Inversor qZSI.....</b>	<b>17</b>
7.1. Detección inmediata.....	17
7.2. Parada segura.....	17
7.3. Aislamiento y diagnóstico inicial.....	17
7.4. Inspección del hardware.....	18
7.5. Plan de Rearme.....	18
7.6. Registro obligatorio.....	18
<b>8. Matriz de diagnóstico.....</b>	<b>19</b>

# 1. Introduction

El inversor monofásico quasi-Z-source (qZSI) desarrollado en el marco del proyecto final de la carrera de Ingeniería Electrónica, a diferencia de un inversor convencional de fuente de tensión, la inclusión de la red quasi-Z permite elevar la tensión de bus a partir de una fuente de entrada reducida mediante la inserción controlada de intervalos de *shoot-through*. Esta característica le otorga un funcionamiento más versátil, aunque al mismo tiempo introduce riesgos de operación asociados a la presencia de tensiones elevadas, corrientes pulsantes y circuitos de protección que deben verificarse antes de cada ensayo.

Dada la complejidad del equipo, resulta imprescindible contar con un protocolo estandarizado de encendido, destinado a guiar paso a paso el proceso de energización y las verificaciones intermedias necesarias para garantizar seguridad de las personas, preservación del hardware y validez de las mediciones obtenidas.

## 2. Objetivo

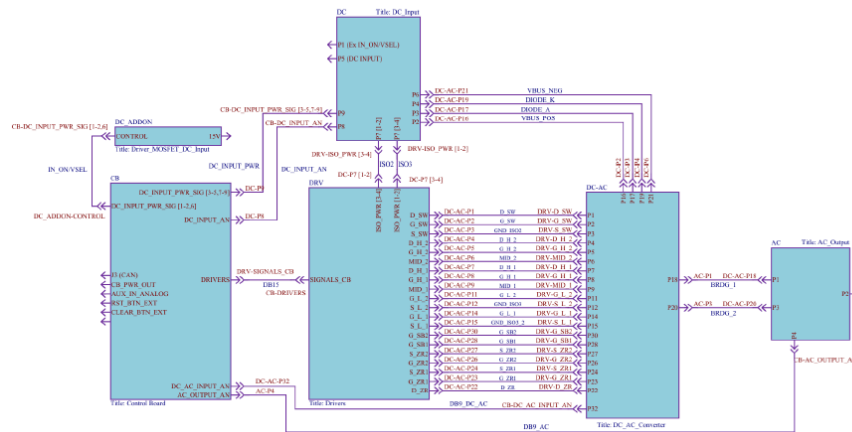
El objetivo de este documento es establecer un procedimiento detallado y seguro para la puesta en marcha del inversor qZSI, abarcando desde la preparación previa hasta la energización progresiva y las verificaciones de funcionamiento. Este protocolo permitirá:

- Reducir riesgos de daño al equipo y al personal durante los ensayos.
- Asegurar que las condiciones de prueba sean reproducibles.
- Facilitar la puesta en marcha mediante protocolos y configuraciones rápidas.
- Validar que los módulos de protección, sensado y control operan correctamente antes de aplicar potencia nominal.

### 3. Tareas preliminares

#### 3.1. Verificaciones sobre las placas

- ☐ Continuidad de masas.
- ☐ Continuidad entre conexiones.
- ☐ Valor de las tensiones de fuentes.



#### 3.2. Conexionado externo

- ☐ Conexión de la entrada CC del tablero a fuente de CC.
- ☐ Conexión de la salida CA del convertidor al Tablero de Seguridad.
- ☐ Conexión del Tablero de Seguridad a la alimentación auxiliar.
- ☐ Conexión de salida CA del Tablero de Seguridad a la carga.



## 4. Firmware

### 4.1. Secuencia de arranque

#### 4.1.1. Estados de la MEF

- **RESET-INICIO:** Inicialización de periféricos, colocar salidas en bajo.
  - ☐ Coloca la bandera de falla en cero.
  - ☐ PWM deshabilitado, inhabilita etapa entrada a drivers.
  - ☐ Limpia flag del flip flop de protecciones.
  - ☐ Habilita la salida de los level shifters.
  - ☐ Verificar que los drivers estén apagados con sus respectivas salidas.

#### TRANSICIONES

- Se detecta algún fault activo (UV, OV, OCP, emergencia) >> **FAULT**
- Espera 100ms, y si fault inactivo >> **CLEAR**

- **CLEAR\_INICIAL:** Resetea drivers y flip flop.

- ☐ Lee falla del driver.
- ☐ Lee falla en sensor de corriente AC de efecto Hall.
- ☐ Lee falla de hardware del GPIO.

#### MEDICIONES

- ❖ De existir errores, puede medirse sobre la placa con un multímetro los distintos estados de reset y fallas antes mencionados.

#### TRANSICIONES

- Error de inicialización, lectura inválida o tensión fuera de rango.>> **FAULT**
- Si no hay falla, todos los periféricos fueron inicializados correctamente y la calibración del ADC fue completada >> **INICIO - ARRANQUE**

- **INICIO\_ARRANQUE:** Se prepara para la carga del bus.

- ☐ Se colocan banderas V0 y VB de arranque.
- ☐ Asegura MOS de la entrada abierto.
- ☐ Secuencia '1' de Leds.
  - ☐ LED 2 = 0
  - ☐ LED 3 = 0
  - ☐ **LED 4 = 1**
- ☐ Coloca las referencias de V0 y VB en 0.

#### MEDICIONES

- ❖ Medir que la tensión VBUS = 0 (durante 5 seg).

#### TRANSICIONES

→ Transcurridos 5 segundos >> **CARGA**

- **SW\_IN\_RESISTIVO:** Carga de la red Z durante 10s.

- ☐ Se habilita "resistencia" de precarga para cargar capacitores del bus lentamente.
  - Si VBUS no sube, posible corto en bus o snubber → cortar y medir resistencia en bus.
- ☐ Secuencia '2' de Leds.
  - ☐ LED 2 = 0
  - ☐ **LED 3 = 1**
  - ☐ LED 4 = 0

#### MEDICIONES

- ❖ Medir VGS del Mosfet para ver la variación de su tensión.
- ❖ Medir la VBUS para observar su aumento y corroborar con los datos de la simulación.
- ❖ Medir forma de corriente de IL1 + IL2, Io. Corroborar con la simulación.

#### TRANSICIONES

→ Activación de protección por hardware (OCP, OV, UV). >> **FAULT**  
→ Tiempo de precarga 10 segundos transcurrido >> **AUMENTA VB**

- **AUMENTANDO\_VBUS:** Transición a LA desde Vin a Vb\*.

- ☐ MOSFET de entrada se polariza como llave cerrada.
- ☐ Enciende salida senoidal con **D máx** = 0,45.
- ☐ Setea referencia de **VBUS** y coloca **d0** a lazo abierto, esperando que **VBUS** incremente.
- ☐ Secuencia '3' de LEDs.
  - ☐ LED 2 = 0
  - ☐ **LED 3 = 1**
  - ☐ **LED 4 = 1**

## MEDICIONES

- ❖ VBUS
- ❖ Corrientes
  - IL1 + IL2
  - Io

## TRANSICIONES

- ➔ Activación de protección por hardware (OCP, OV, UV). >> **FAULT**
- ➔ Elevación de Vb=Vb\* >> **CONTROL VB ONLINE**

- **CONTROLADOR\_VBUS\_ENGANCHADO:** Valor de d0 comandado por Control.

- ☐ Baja la bandera de Vb arranque, logrando así enganchar el control de tensión de bus. Se comenzará a utilizar d0 proveniente del algoritmo de control.
- ☐ Secuencia '4' de Leds:
  - ☐ **LED 2 = 1**
  - ☐ LED 3 = 0
  - ☐ LED 4 = 0

Durante este tiempo valen las siguientes funciones para calcular los ciclos de trabajo:

- $d0 = (VBUS - V_{in}) / (2 \cdot VBUS)$
- $D = V_o / VBUS \cdot \sin(\omega t)$

## MEDICIONES

❖ **VBUS**

### **TRANSICIONES**

- Activación de protección por hardware (OCP, OV, UV). >> **FAULT**
- Tiempo de enganche de 5 segundos >> **CONTROL VB ONLINE VB**

- **AUMENTA\_V0:** Transición a LA desde Vo\_inicial a Vo\*

- ☐ Setea V0\* y coloca un D a lazo abierto, esperando que V0 incremente.
- ☐ Secuencia '5' de Leds:
  - ☐ **LED 2 = 1**
  - ☐ **LED 3 = 1**
  - ☐ LED 4 = 0

## MEDICIONES

❖ **Vout**

### **TRANSICIONES**

- Activación de protección por hardware (OCP, OV, UV). >> **FAULT**
- Elevación de V0=V0\* >> **CONTROL V0 ONLINE**

- **CONTROLADOR\_V0\_ENGANCHADO:** Valor de D comandado por Control.

- ☐ Baja la bandera de V0 arranque, logrando así enganchar el control de tensión de salida. Se comenzará a utilizar D proveniente del algoritmo de control.
- ☐ arranqueV0 = 0 → D se controla por el Lazo cerrado/abierto

## **MEDICIONES**

❖ **Vout**

### **TRANSICIONES**

- Activación de protección por hardware (OCP, OV, UV). >> **FAULT**
- Tiempo de enganche de 5 segundos >> **RUN**

- **RUN**

- ☐ LED de estado en RUN.

- Si VBUS se dispara, puede deberse a su controlador saturado. Además:  
Posible desconexión de la carga.
- Si la corriente de entrada es anómala, revisar inductores/cargas.

### **TRANSICIONES**

- Se detecta OCP, OV, UV, sobret temperatura o error de firmware. >> **FAULT**
- Se recibe comando de parada o fin de ensayo. >> **INICIO**

- **FAULT:** Aislar el inversor, guardar log de error y esperar intervención.

- ☐ Setea bandera de falla.
- ☐ Requiere reset manual. Borra la bandera de falla, reinicia periféricos
- ☐ LED estado falla.

### **MEDICIONES**

- ❖ **Flip Flop seteado**

### **TRANSICIONES**

- Se ejecuta reset manual >> **RESET FALLA**

### **Condiciones que disparan FAULT**

- Protección por hardware activada:
  - ◆ **OCP:** corriente > umbral de comparador analógico.
  - ◆ **OVP:** tensión de bus o snubber > límite.
  - ◆ **UVP:** tensión de alimentación fuera de rango.
  - ◆ **OTP:** sobret temperatura en drivers o control.
- Comando manual (pulsador de emergencia).
- Error de firmware detectado (ADC out-of-range, ISR colgada, watchdog).

- **RES FALLA**

- ☐ Apaga la etapa de entrada de los drivers.

**TRANSICIONES**

→ Tiempo de apagado 100ms >> **WAIT HW READY.**

- **WAIT HW READY**

- ☐ Reseta drivers y sensor efecto hall.
- ☐ Resetea tripzone.
- ☐ Baja la bandera de falla.

**MEDICIONES**

- ❖ **Drv reseteados**
- ❖ **Tripzone reseteado**

**TRANSICIONES**

→ Hardware ready >> **INICIO ARRANQUE.**

## 4.2. Configuraciones FIRMWARE

### 4.2.1. Archivo inverterConfig.h

En este archivo se puede configurar el funcionamiento general del inversor, activando o desactivando distintos bloques que lo componen, y seteando las tensiones de referencia deseadas. Las macros disponibles son:

- **SALIDA\_SENOIDAL**: si vale 1, la salida del inversor será senoidal, en caso contrario, será una tensión continua. Es una macro útil para testear el funcionamiento en las etapas iniciales.
- **HARDWARE\_PROTECTIONS**: si vale 1, las protecciones por hardware del inversor están activadas, en caso contrario, estarán desactivadas. Es útil si por alguna razón se producen disparos espurios de las protecciones por hardware y se quiere investigar su origen.
- **SOFTWARE\_PROTECTIONS**: análoga a la anterior, permite activar o desactivar las protecciones por software del inversor.
- **OUTPUT\_VOLTAGE\_CLOSED\_LOOP**: si vale 1, la tensión senoidal de salida del inversor funciona a lazo cerrado, en caso contrario, a lazo abierto. Es útil a la hora de probar el funcionamiento del controlador de salida implementado.
- **BUS\_VOLTAGE\_CLOSED\_LOOP**: análoga a la anterior, permite activar o desactivar el lazo de control de la tensión del bus de CC.
- **OPEN\_LOOP\_VIN**: es el valor de la tensión de entrada al momento del arranque del inversor, ya que se utiliza para generar la tensión del bus de CC a lazo abierto.
- **DC\_BUS\_VOLTAGE\_REFERENCE**: es el valor de referencia deseado para la tensión del bus de CC.
- **MAX\_OUTPUT\_VOLTAGE\_REFERENCE**: es el valor de referencia deseado para la tensión de salida del inversor, siendo este el valor de pico y no el RMS

#### 4.2.2. Archivo qZSI.h

En este archivo se puede configurar el comportamiento dinámico, la tensión de salida inicial en el arranque y los valores de protección por software del inversor. Las macros disponibles son:

- **STEP\_TIME\_MS**: es el tiempo de delay deseado entre pasos de un setpoint, ya que todo cambio de setpoint se realiza de forma gradual, de a una unidad cada STEP\_TIME\_MS milisegundos. Por ejemplo, si STEP\_TIME\_MS = 50, el set-point deseado del bus de CC está seteado en 100V y el mismo se cambia a 200V, este irá incrementando de a 1V cada 50ms, llegando a 200V en 5s. En caso de requerir que la rampa de subida sea más rápida, se puede reducir el tiempo del escalón, pero el aumento de tensión seguirá siendo siempre de 1V por paso.
- **INITIAL\_D**: es el valor deseado del ciclo de trabajo máximo del vector activo presente en la etapa 3 de la secuencia de arranque descrita anteriormente.
- **DC\_BUS\_XI**: es el valor de la constante de amortiguamiento  $\xi$  del sistema de segundo orden formado por la red Z y el controlador del bus de CC.
- **DC\_BUS\_WN**: es el valor de la frecuencia natural  $\omega_n$  del sistema de segundo orden formado por la red Z y el controlador del bus de CC. Estas últimas dos macros permiten configurar el comportamiento dinámico de la tensión del bus de CC.
- **MAX\_IL1, MIN\_IL1, MAX\_lin, MAX\_VC1, MAX\_Vac, MAX\_lac, MIN\_lac**: son los valores de umbral de las protecciones por software. Si la respectiva variable medida supera a sus valores de umbral, se activará la protección por software (en caso de que esté habilitada).

#### 4.2.3. Archivo digitalPot.h

Mediante las macros **VREF\_IACm, VREF\_IACp, VREF\_VC12, VREF\_lin, VREF\_IL1m, VREF\_IL1p, VREF\_IBRDGm, VREF\_IBRDGp** es posible configurar las tensiones de referencia utilizadas en los comparadores que accionan las protecciones por hardware. Gracias a la utilización de potenciómetros digitales, que se comunican con el DSP mediante el protocolo I2C, es posible configurar en el firmware los valores de referencia para la comparación. Estas macros mencionadas deben ser iguales al valor de tensión de referencia (en Voltios) deseado para cada caso. Al inicio del programa, se configuran los potenciómetros a partir de los valores seteados en estas macros. Aquellas macros cuyos nombres difieran en la última letra, siendo esta p o m, configuran la tensión de referencia para la misma señal, pero en el caso de p es la tensión de umbral máxima y en el de m, la tensión de umbral mínima.

## 5. Configuraciones externas

### 5.1. Fuente

- ☐ Encadenar los canales de la fuente y encender la fuente
- ☐ Configurar las tensiones de salida ...
- ☐ Configurar la limitación de corriente
- ☐ Medir en bornes la tensión y verificar que coincida con la deseada.

### 5.2. Carga

- ☐ Ajustar o interconectar la carga en el valor deseado.
- ☐ Medir en bornes y verificar el valor.
- ☐ Si se utilizará escalón de carga, configurar el generador de onda para realizar la conmutación el rele y verificar el correcto funcionamiento.

### 5.3. Instrumental

#### 5.3.1. Osciloscopio

- ☐ Encender el equipo y ajustar los canales en el rango de medición esperado
- ☐ Configurar cursores...
- ☐ Configurar....
- ☐ Verificar los canales y sus configuraciones con un generador de onda

#### 5.3.2. Sondas diferenciales

- ☐ Alimentar las sondas y configurar para la medición deseada
- ☐ verificar sus canales con el generador de onda.

#### 5.3.3. Multímetro

- ☐ Ajustar al rango y tipo de medición deseada.

## 6. Protocolo de encendido

### 6.1. Configuraciones

Configurar los instrumentos de medición, fuentes y cargas de manera adecuada, según lo requerido por el ensayo.

- ☐ Verificar que la **fuentes de alimentación programable** funcione correctamente; medir en vacío con multímetro que entregue la tensión seteada. Y limitación de corriente activada.
- ☐ Conectar el **banco RC** a la salida de la fuente para suavizar la corriente de entrada.
- ☐ Revisar que las **térmicas** estén abiertas y que el pulsador de emergencia (“golpe de puño”) no esté accionado.
- ☐ Medir la **resistencia de carga** y comprobar que coincide con el valor esperado.
- ☐ Montar la **protección plástica** sobre la placa de control para evitar contacto con alta tensión.

#### 6.1.1. Configuración de firmware

- ☐ Programar el DSP C2000 con el código de control.
- ☐ Verificar configuración inicial de PWM y ADC (sin aplicar tensión de potencia).
- ☐ Verificar que el firmware a cargar en el DSP sea el correcto, y que todos los parámetros sean acordes a lo configurado en el instrumental.
- ☐ Verificar además la conexión entre la Control Board y la Docking Station.
- ☐ Poner las variables que necesitamos ver en el código para ver que funcione como corresponde y ver la evolución.

### 6.2. Conexiones seguras

Realizar y verificar que todas las conexiones eléctricas sean correctas de acuerdo al ensayo a realizar.

- ☐ Conexión de la entrada CC a fuente de CC.
- ☐ Conexión de la salida CA del convertidor al Tablero de Seguridad.
- ☐ Conexión del Tablero de Seguridad a la alimentación auxiliar.
- ☐ Conexión de salida CA del Tablero de Seguridad a la carga.
- ☐ Colocar las **sondas de osciloscopio** en los puntos de medición definidos y configurar escalas adecuadas.

- ☐ Verificar que no haya cables sueltos.
- ☐ Acomodarse en los puestos designados:

En caso de ser dos personas: una será la encargada de la alimentación del inversor y de tomar nota, mientras que otra realizará la carga del código y manejará el osciloscopio.

En caso de ser tres personas: una será la encargada de la alimentación del inversor, otra tomará nota y manejará el osciloscopio, mientras que otra cargará el código.

- ☐ Confirmar que todos los participantes estén listos.

### 6.3. Alimentación

- ☐ Verificar que el tablero de control esté alimentado.
- ☐ Dar aviso de que se está por energizar el equipo.
- ☐ Activar la salida de la fuente de tensión.
- ☐ Cerrar la térmica principal y aplicar tensión de entrada desde la fuente programable.
- ☐ Verificar que el inversor esté alimentado correctamente, midiendo las tensiones auxiliares del mismo generadas por su fuente flyback interna

### 6.4. Carga del código

- ☐ Usar la “**prueba segura**” recomendada:

$V_{IN} \approx 30\text{ V} \rightarrow V_{BUS} \approx 50\text{ V} \rightarrow V_O \approx 30\text{ V}$

- ☐ Esperar a que el inversor finalice su secuencia de arranque, condición indicada cuando su LED de estado deja de titilar y queda encendido todo el tiempo.
- ☐ Confirmar que la forma de onda de salida es la esperada a baja potencia con carga inicial de  $180\ \Omega$  para 10W de potencia.

### 6.5. Escalado de potencia

- ☐ Incrementar gradualmente la tensión de entrada y la potencia entregada.
- ☐ Tras cada incremento, verificar tensiones, corrientes y forma de onda.

**Si aparece algún fenómeno extraño (picos, ruidos, oscilaciones), cortar inmediatamente con el golpe de puño.**

## 6.6. Desenergización segura

- ☐ Reducir la tensión de la fuente a 0 V.
- ☐ Abrir térmica principal.
- ☐ Desenergizar alimentación auxiliar.
- ☐ Descargar capacitores de bus (verificar caída de tensión).
- ☐ Guardar los logs de osciloscopio/mediciones para análisis posterior.
- ☐ Al cabo de 3 minutos notificar a todos que es seguro manipular el equipo.

## 7. Procedimiento en caso de falla – Inversor qZSI

### 7.1. Detección inmediata

- ☐ Picos de tensión/corriente inesperados.
- ☐ Forma de onda distorsionada o fuera de rango.
- ☐ Ruidos inusuales (golpes eléctricos).
- ☐ LEDs de protección encendidos o alarma en firmware.

**Acción inmediata:** cortar energía **desde el pulsador de emergencia (“golpe de puño”)** o apagar la fuente programable.

### 7.2. Parada segura

- ☐ Abrir térmicas principales.
- ☐ Bajar a cero la consigna de la fuente programable.
- ☐ Verificar que los capacitores del bus DC se descarguen (tensión < 10 V), 3 min.
- ☐ Retirar alimentación auxiliar del sistema de control.

### 7.3. Aislamiento y diagnóstico inicial

Identificar en qué condición ocurrió la falla:

- ☐ Encendido inicial / baja potencia / potencia nominal.
- ☐ Escalón de carga o cambio de consigna o de alimentación.

Anotar variables relevantes en ese instante:

- ☐ VIN, VBUS, IO, corriente de entrada, duty aplicado.
- ☐ Revisar registro en osciloscopio o logs de DSP si estaban activos.

## 7.4. Inspección del hardware

- ☐ Buscar signos de daño (humos, olores, componentes oscurecidos).
- ☐ Revisar cables flojos o conectores sueltos.
- ☐ Medir continuidad/resistencia de inductores, MOSFETs, snubbers y drivers antes de reencender.
- ☐ Verificar fusibles y TVS de protección.

## 7.5. Plan de Rearme

Si la falla fue leve (ej. saturación de consigna o medición fuera de escala):

- ☐ Repetir ensayo en la **configuración de “prueba segura”** ( $V_{IN} \approx 30\text{ V}$ ,  $V_{BUS} \approx 50\text{ V}$ ).
- ☐ Confirmar que señales recuperaron los valores esperados.

Si persiste el problema:

- ☐ Documentar síntomas.
- ☐ No reintentar hasta revisar detalladamente el circuito afectado.

## 7.6. Registro obligatorio

- ☐ Documentar fecha, condición de prueba, síntoma y acción tomada.
- ☐ Guardar capturas de osciloscopio/telemetría.
- ☐ Registrar si hubo intervención de protecciones hardware (OCP, OV, UV, snubber).

**Nunca subir potencia nuevamente después de una falla sin antes hacer la “prueba segura” a baja tensión. Esto protege al equipo y confirma si el problema fue transitorio o persiste.**

## 8. Matriz de diagnóstico

Síntoma	Posibles causas	Prueba rápida	Acción
vbus no sube / cae al cargar	ST deshabilitado, d0 saturado bajo, precarga activa	Log de d0 medir caída en precharge	Habilitar ST, revisar consigna Vbus,refVbus, bypass precharge
Rizado vbus <b>alto</b> a 2f	Baja carga, ESR bajo, control rápido	Medir carga	Aumentar Carga or ESR, bajar $\omega_n$ del lazo (con margen)
Sobrepico al escalón de carga o fuente o referencia	$\xi$ bajo, retardo de muestreo,	registro d0	Subir $\xi$
d0 cerca de 0.5	Exigencia de boost alta, Vin bajo	Medir Vin y carga	Reducir salida o aumentar Vin; proteger d0 máx
Corriente de diodo negativa (DCM)	Carga liviana	Medir iDi e iPN	Forzar CCM incrementando al carga
Medidas ruidosas/saturadas	Escala ADC/divisores, SNR, offset	Revisar ADC	Re-escalar, filtro digital, offset y calibración