



# PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS

Año: 2025

Autores

Fasolato, Alejandro Claudio, F-3684/6

Soso, Alvaro Francisco, S-5571/9

Zuliani, Agustín Marcelo, Z-1183/5

Director

Vazquez Sieber, Andrés



# Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Consideraciones generales.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Ensayos a baja potencia.....</b>	<b>5</b>
3.1. Objetivo.....	5
3.2. Mediciones.....	5
3.3. Protecciones.....	5
3.4. Verificaciones.....	5
3.5. Parámetros del ensayo.....	6
3.6. Ejemplo práctico.....	7
3.7. Cálculo del modo de conducción.....	7
<b>4. Ensayos de mediciones a LA.....</b>	<b>8</b>
4.1. Objetivo.....	8
4.2. Metodología.....	8
4.3. Resultados esperados.....	8
4.4. Parámetros del ensayo.....	9
4.5. Mediciones.....	10
<b>5. Ensayos de Verificación de funcionamiento.....</b>	<b>20</b>
5.1. Objetivo.....	20
5.2. Metodología.....	20
5.3. Comparación.....	20
5.4. Valores típicos y características.....	20
5.5. Parámetros para los ensayos.....	21
<b>6. Ensayos de caracterización y validación del modelo LA.....</b>	<b>22</b>
6.1. Objetivo.....	22
6.2. Metodología.....	22
6.3. Resultados esperados.....	22
6.4. Ensayos de Identificación.....	23
6.4.1. Ensayo 1 – Respuesta a variaciones de d0.....	23
6.4.2. Ensayo 2 – Respuesta temporal del bus ante variación de carga.....	24
6.4.3. Ensayo 3 – Respuesta a variaciones de tensión de entrada.....	25
<b>identificará rango operativo real y limitaciones.....</b>	<b>26</b>
<b>7. Ensayos de performance LC.....</b>	<b>27</b>
Re-cálculo de potencia la eficiencia.....	28
00 - Plantilla de ensayos a Baja Potencia - Fecha.....	29

01 - Plantilla de mediciones - Ensayo X - Fecha.....	30
02 - Plantilla de validación funcionamiento - Fecha.....	31
02 - Plantilla de validación funcionamiento - Cálculos - Fecha.....	32
03 - Plantilla de caracterización a LA - Fecha.....	33

# 1. Introducción

Para validar el funcionamiento del equipo será necesario realizar una serie de ensayos sobre el equipo. Primeramente se debe seguir el protocolo de conexionado y de puesta en marcha del equipo. Una vez encendido y funcionando en régimen, se realizará una serie de ensayos con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del convertidor a lazo abierto. Además, se efectuarán mediciones específicas para determinar la viabilidad de la implementación de controladores a lazo cerrado, dentro de ellos la caracterización de la respuesta a lazo abierto y validación del modelo.

Para validar la performance del control se realizarán ensayos de variación de carga y de tensión de fuente estudiando el rechazo a perturbaciones, como también el cambios de referencia. Se observará particularmente el tiempo y el sobrevalor de la respuesta.

La metodología adoptada será realizar una reunión donde se repasen y planifiquen las actividades a realizar previo a cada sesión de laboratorio, como también el análisis de las simulaciones correspondientes a reproducir en el laboratorio.

Se deberá contemplar el tiempo requerido para la realización de los mismos ya que entre cada uno se deberá resetear el convertidor para trabajar en condiciones seguras, y además tener en cuenta el tiempo de conexionado y guardado del SETUP. Detalles sobre la puesta en marcha se encuentran en el documento "Protocolo de puesta en marcha".

Todos los ensayos se documentarán mediante registro fotográfico, capturas de osciloscopio y logs del Data Logger. Cada sesión contará con una hoja de resultados firmada, asegurando trazabilidad y reproducibilidad.

## 2. Consideraciones generales

Se deberá tener en consideración qué elementos, instrumentos y disposiciones de laboratorio se utilizarán a la hora de realizar los ensayos del convertidor. Como equipamiento básico se tendrá una fuente variable de alta tensión continua (que permita entregar hasta 500 V y 6 A en sus bornes respectivos), sumado a distintas resistencias variables que permitan realizar las variaciones de carga necesarias. Como instrumental, se contará con un osciloscopio de 4 canales, sondas de medición de corriente y sondas diferenciales de medición de tensión (sin contar los básicos multímetros y pinzas amperométricas de medición de valor eficaz). Cabe destacar que el detalle de funcionamiento, conexión y ajuste será profundizado en la documentación “uso y calibración del instrumental”.

Algunas consideraciones a tener en cuenta respecto de la respuesta ante variaciones a lazo abierto de carga, referencias, y fuente de alimentación son:

- ❖ **Incrementar la Carga** (bajar la resistencia) implica una disminución de tensión de salida pero un aumento de corriente lo que resultaría en un aumento de corriente de entrada y en una caída de la tensión de bus
- ❖ **Incrementar  $V_o$**  (aumentar  $M$ ) incrementa la corriente de salida, por lo que la corriente de entrada también incrementa pero la  $V_{bus}$  cae.
- ❖ **Incrementar la  $V_b$**  (incrementar  $d_0$ ) implica un aumento en  $V_o$  y por lo tanto un incremento en la corriente de entrada y salida.
- ❖ **Incrementar la  $V_{in}$** , incrementa la  $V_{bus}$  lo que incrementa la  $V_o$  y por lo tanto la corriente de salida y de entrada consecuentemente.

Otras consideraciones generales respecto al funcionamiento del convertidor:

- ❖ **Pérdida de conexión** entre la pc y el dsp por el ruido de un transitorio.
- ❖ **Uso de redes de snubber activas** para todos los ensayos, verificando su correcto funcionamiento constantemente.

### 3. Ensayos a baja potencia

Primeramente se verificará el correcto funcionamiento del inversor en su conjunto, revisando que se genere correctamente la forma de onda a la salida y la secuencia de arranque sea correcta.

#### 3.1. Objetivo

Comprobar que el convertidor funciona en condiciones seguras antes de llevarlo a su punto de trabajo nominal.

#### 3.2. Mediciones

- ❖ **Tensión del bus DC:** alimentación con fuente limitada en corriente, esperar que VBUS suba y se estabilice.
- ❖ **Tensión de salida AC a baja carga:** verificar forma de onda senoidal y simetría.
- ❖ **Corriente de entrada:** debe ser continua y sin picos anormales, con bajo contenido armónico.

#### 3.3. Protecciones

Se ajustarán los valores de protecciones adecuándose a las limitaciones de cada ensayo. Esto cumple un doble objetivo, por un lado permitir una operación segura para el ensayo configurado y para las personas que manipulen el equipo, por el otro permite testear la efectividad de las mismas llegada la condición de activación.

#### 3.4. Verificaciones

Adicionalmente se observarán algunas mediciones del apartado 4.5, como las tensiones de gate de los transistores (4.5.B) para verificar las señales de conmutación sean generadas correctamente, las tensiones de snubber (4.5.C) para validar su funcionamiento y evitar fallas a futuro, y la tensión en bornes del diodo-transistor de la red qZ (4.5.E) para observar su comportamiento en conducción continua y discontinua.

### 3.5. Parámetros del ensayo

Para todos los ensayos la potencia será de 10W siendo un bajo porcentaje de la potencia en operación nominal. Los conjuntos de parámetros a configurar en cada repetición son:

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
1	50	80	50	120	0.1875	0.625
2	80	100	80	330	0.1	0.8
3	100	150	100	500	0.1666	0.6666
4	150	200	150	1100	0.125	0.75
5	200	300	200	2000	0.1666	0.6666

Siendo Vin la tensión de entrada, VBUS la tensión del bus de continua, Vo la tensión pico de salida y RL la resistencia de carga conectada a la salida.

- Las resistencias de carga para lograr trabajo a baja potencia se encuentran en el laboratorio y no son las mismas que las de disipación de alta potencia.
- Deberá utilizarse un enchufe para poder conectarse al toma de alta tensión AC, y conectar la carga en los extremos del mismo.



### 3.6. Ejemplo práctico

Los conjuntos de valores a utilizar en cada repetición son:

$$V_{in} = 50V, V_{BUS} = 80V, V_o = 50V, R_L = 120\Omega$$

Se requeriría, para elevar la tensión de Bus al valor deseado:

$$V_{bus} = V_i / (1 - 2 * d_0)$$

$$80 V = 50 V / (1 - 2 * d_0)$$

$$80 V (1 - 2 * d_0) = 50 V$$

$$160 * d_0 = 30 V$$

$$d_0 = 3/16 = 0.1875$$

Dejando un espacio para desarrollar la tensión de salida tal que:

$$M < 1 - d_0 = 1 - 0.1875 = 0.8125$$

$$V_{0\text{ máx}} \simeq V_{BUS} * 0.8125 = 80 V * 0.8125 = 65 V$$

### 3.7. Cálculo del modo de conducción

$$\frac{L f_{sw} I_o}{V_{in}} = D - D^2 \quad (25)$$

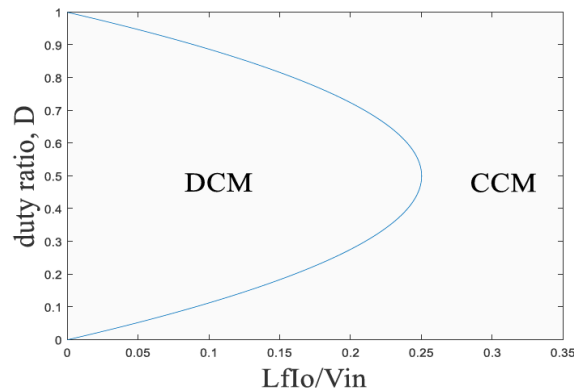


Fig. 5. DCM-CCM Boundary Transition for qZSI.

Donde  $L=L_1=L_2$ , y  $D=d_0$ .

Notar que a medida que aumenta la tensión de entrada o disminuye la corriente de carga, es más factible ingresar en DCM según la VB requerida quien impondrá  $d_0$ .

## 4. Ensayos de mediciones a LA

Una segunda serie de ensayos consiste en validar que todas las mediciones necesarias para la aplicación de los controladores sean correctas. Esto es, verificar que los valores registrados por el ADC, que llegan a los pines de la control card luego del acondicionamiento analógico y los que llegan crudos a los pines de la control board, se condigan con los medidos realmente sobre los circuitos, según sea el caso. Además se prestará particular atención al contenido de ruido sobre las mismas.

### 4.1. Objetivo

Comprobar que lo medido por el DSP a través del circuito analógico de acondicionamiento coincida con los valores reales. Esto asegura que los lazos de control puedan trabajar con información correcta.

### 4.2. Metodología

- ❖ Aplicar señales de referencia conocidas (ej. resistencia patrón, tensión de laboratorio). Este paso es crucial realizarlo en parada si no estuviera validado el funcionamiento.
- ❖ Medir con osciloscopio las señales que ingresan a la Control Board (antes del circuito analógico). Para posteriores ensayos, solamente se medirá en los test Points de la Placa de control.
- ❖ Medir con el osciloscopio en los Test Point antes de la ControlCard.
- ❖ Comparar contra la medición registrada por el ADC.
- ❖ Calcular Error relativo.

### 4.3. Resultados esperados

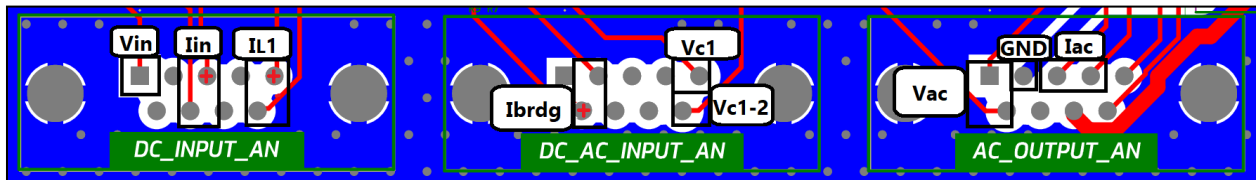
- ❖ Error < 5% entre medición real y digitalizada.
- ❖ Confirmación de la linealidad en la transferencia del circuito acondicionador.

#### 4.4. Parámetros del ensayo

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
1	50	80	50	120	0.1875	0.625
2	80	100	80	330	0.1	0.8
3	90	120	90	90	0.125	0.750
4	120	170	120	90	0.147	0.706
5	210	260	210	62	0.096	0.808
6	240	300	240	62	0.100	0.800

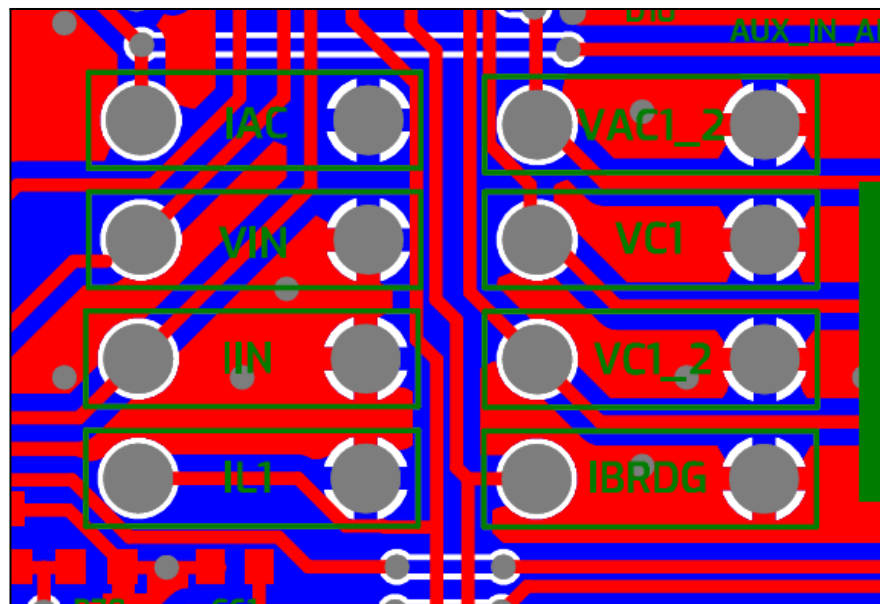
## 4.5. Mediciones

Todas las mediciones que puedan ser efectuadas sobre las fichas DB9 - DB15, se facilitarán al soldar pequeños conductores sobres los pines correspondientes.



Mediciones. GND como referencia para mediciones simples, polaridad marcada con símbolo + sobre los pines de referencia.

Todas las tensiones que ingresen a la ControlCard se medirán con osciloscopio sobre los TP ubicados en la placa de control.



Test Points de mediciones que ingresan a la Control Card.

**A. Tensión de BUS CC**

- ❖ **Dónde:** Cables celeste y blanco, provenientes de los puertos P2 y P6. Se toma la masa del puente como la misma que la de la placa de control.

- ❖ **Características de la medición**

La tensión de BUS conmuta entre VB y 0, es una onda cuadrada y se encuentra en 0 durante los períodos de shoot-through. Se deberá verificar que se alcancen los valores 0 (en shoot-through) y VB (en período activo). Además se observará un rizado de 100Hz sobre la misma.

- ❖ **Transferencia:** Además de medir la tensión que llega a la ctrl card, se deberá medir con osc sobre los test points en la control card.

- ❖ **Análisis de eventualidades y Plan contingencia**

¿Por qué motivos los valores y forma de onda de Vbus no son los esperados?

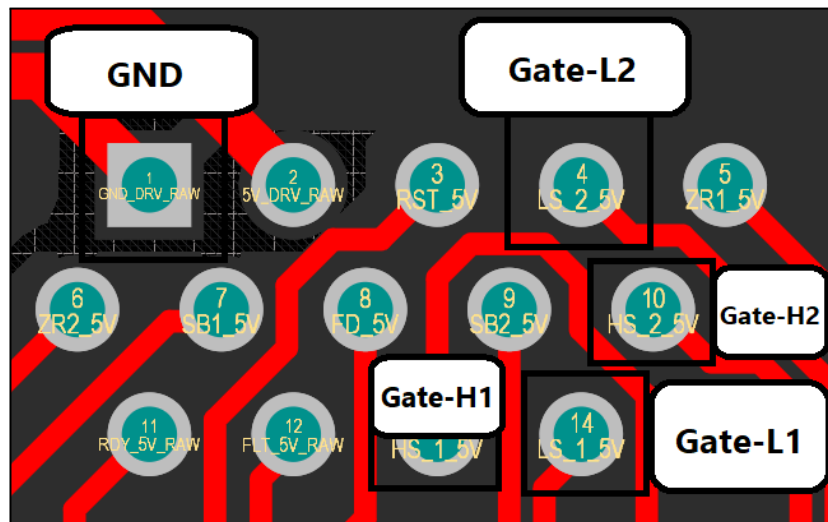
- ☐ Error en la carga del parámetro d0, o en su cálculo.
- ☐ Incorrecta configuración de carga, tensión de entrada o tensión de salida en valores distintos a los propuestos por dicho ensayo.
- ☐ La señal de shoot through no se efectúa debidamente, porque el PWM está mal configurado, ó porque los level shifters no responden correctamente, ó porque hay ruido en las señales que ingresan a los drivers, ó porque los drivers no se comportan debidamente.
- ☐ Porque los capacitores no se encuentran en condiciones.
- ☐ Se está trabajando en conducción discontinua debido a la baja carga.

## B. Tensión de gate Transistores de baja del puente

- ❖ **Dónde:** Se miden los gate de los transistores del puente, para observar las conmutaciones. Se realiza la medición sobre los gate de los transistores de baja puesto que se encuentran referenciados a masa, no así los de alta (flotantes) Esto para medir en S\_L\_1 y en S\_L\_2 referenciando la masa para el osciloscopio.

No se podrán realizar estas mediciones sobre dicha placa a alta tensión debido a la peligrosidad del hecho. Las mismas se realizan en la Placa de Control, sobre la salida de los level shifters.

Se rastrearon las señales desde la placa de control hasta el conector D9 de Drivers, para determinar cuáles señales se medirán para ver las conmutaciones de los IGBT's. Se deberá verificar el sincronismo entre los canales.



Mediciones. Referenciadas a GND, las 4 llaves respectivamente.

### ❖ Características de la medición

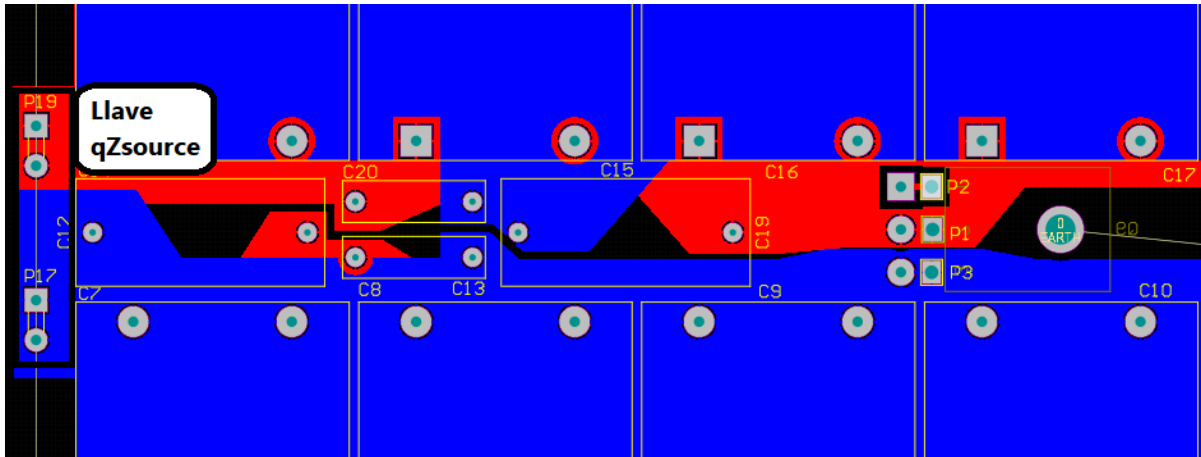
Se espera que la forma de onda sea una cuadrada de 0-5V SPWM variando su ancho de pulso. Además, comparando los canales A y B se podrá observar el desfase y sincronismo entre los mismos.

### ❖ Análisis de eventualidades y Plan contingencia

- ☐ Incorrecta configuración del SPWM, valores de comparación, clock, sincronismo
- ☐ Ruido sobre la medición.
- ☐ Alguna falla en los level-shifters, de alimentación por ejemplo.

### C. Diodo-Transistor qZS

- ❖ **Dónde** Para medir la conmutación del diodo  $V_d$ , se requerirá medir entre P1 y P3. Para acceder a la medición se deberá recurrir a cables auxiliares para la medición. También se observará la conmutación del gate del transistor sobre el DB15.



#### ❖ Características de la medición

Se puede observar la señal del gate del transistor / diodo qz cuando baja la carga (baja la corriente de salida por aumento de la  $R_l$  o disminución de  $V_o$ ), se puede entrar en modo conducción discontinua y allí debe verse la utilidad del transistor en permitir el paso de corriente en sentido contrario. Particularmente encendiéndose en los intervalos de NO-shoot-through, puesto que durante el shoot-through se produciría un corto entre los Capacitores de la red qZS.

Por otro lado, recordar que el diodo se pondrá en conducción ( $V_{diodo} = 0$ ) durante los intervalos NO-Shoot-through, y no conducirá en los intervalos shoot-through, resistiendo un valor en inversa equivalente a C1-C2.

#### ❖ Análisis de eventualidades y Plan contingencia

Que la tensión sobre el diodo no sea la mencionada es crítico ya que provocaría un valor de VBUS erróneo y posiblemente un cortocircuito.

- ☐ Porque existe una falla en los capacitores
- ☐ Porque existe una incorrecta activación del transistor correspondiente.
- ☐ Porque el shoot-through está funcionando incorrectamente.

#### **D. Tensión de salida Vac**

- ❖ **Dónde** Puntas diferenciales sobre la entrada de la señal a la placa de control, medición diferencial.

- ❖ **Características de la medición**

La señal de salida es una senoidal con valor de pico según el índice de modulación, deberá verificarse su simetría y pureza armónica.

- ❖ **Transferencia:** Además de medir la tensión que llega a la ctrl card, se deberá medir con osc sobre los test points en la control card.

- ❖ **Análisis de eventualidades y Plan contingencia**

Si la tensión de salida no cumple con su valor esperado puede deberse a:

- ☐ Una configuración errónea del índice de modulación.
- ☐ Una carga o tensión de bus no correspondiente al ensayo.
- ☐ Un incorrecto funcionamiento de la PWM y por lo tanto no producción del vector activo

Si no cumple con la forma deseada:

- ☐ Puede deberse a un malfuncionamiento de los drivers o level shifters,

Si no cumple con el contenido armónico:

- ☐ Falla en el filtro de salida
- ☐ Ruido en la medición



## **E. Tensión de snubber**

### **❖ Dónde**

### **❖ Características de la medición**

### **❖ Análisis de eventualidades y Plan contingencia**

**F. Corriente de salida Iac**

- ❖ **Dónde** se mide sobre los cables de salida con pinza amp, y osc en en el arribo de la señal que referencia la tensión entregada por el sensor de efecto hall.

- ❖ **Características de la medición**

Se espera que la corriente posea una forma de onda senoidal, por se la carga puramente resistiva apenas desfasada de la tensión debido al filtro de salida.

- ❖ **Transferencia:** Además de medir la tensión que llega a la ctrl card, se deberá medir con osc sobre los test points en la control card.

- **Transferencia del sensor hall**

$$V_{Hall} = V_{OFFSET} + I_{Hall} \cdot 56 \frac{mV}{A}$$

$$Con V_{OFFSET} = 2.5V$$

- ❖ **Análisis de eventualidades y Plan contingencia**

- ☐ Puede deberse a una incorrecta configuración de la carga.
- ☐ Falla en el sensor de efecto hall.
- ☐ Ruido en la medición.

**G. Corriente por el inductor L1**

- ❖ **Dónde** sobre un shunt para medir tensión sobre el mismo que llega a la placa de control, FLOTANTE, se puede poner el cocodrilo a masa y usar la diferencia de los dos canales. Medir la tensión que llega a la ctrl card.
- ❖ **Características de la medición**

Se espera que la corriente por el inductor L1 se comporte como una triangular, en la que durante los intervalos de shoot-through la misma se recarga por los capacitores, y durante los intervalos de NST devuelve la energía hacia los capacitores recargándolos.
- ❖ **Transferencia:** Además de medir la tensión que llega a la ctrl card, se deberá medir con osc sobre los test points en la control card.
- ❖ **Análisis de eventualidades y Plan contingencia**
  - ☐ Incorrecta activación del vector shoot-through
  - ☐ Falla en el diodo de la red Z
  - ☐ Conducción discontinua

## H. Corriente por el puente

- ❖ **Dónde** Se mide en la entrada al puente H y es IL1 + IL2 diferencial.
  - La I bridge será la de salida, pero muestreada en la mitad del vector activo. Alternativa para medir la corriente de salida  $i_0$ , que no es la misma que circula la carga!!!! Esa sería  $i_{load}$
  - IL1 + IL2 muestreadas en la mitad del vector shoot-through.
- ❖ **Características de la medición**  
**FALTA**
- ❖ **Transferencia:** Además de medir la tensión que llega a la ctrl card, se deberá medir con osc sobre los test points en la control card.
- ❖ **Análisis de eventualidades y Plan contingencia**
  - ☐ El muestreo no se está realizando adecuadamente en los intervalos.

### I. Corriente de entrada $I_{in}$

Si se debiera implementar algún MPPT será necesario verificar en detalle esta variable.

- ❖ **Dónde** Existe una R shunt que refleja el valor en tensión, la medición se efectuará sobre la placa de control
- ❖ **Características de la medición**

Se espera que la corriente de entrada sea lo más continua posible, debido al filtro de entrada y al inductor L1 de la red Z. Sin embargo como la misma se encuentra entre tensiones 0 y  $V_{in}$  por conmutación, aparecerá un ripple por la carga-descarga de L1.
- ❖ **Transferencia:** Además de medir la tensión que llega a la ctrl card, se deberá medir con osc sobre los test points en la control card.
- ❖ **Análisis de eventualidades y Plan contingencia**
  - ☐ Puede deberse a fallas en el filtro de entrada.
  - ☐ Fallas en los inductores de la red.
  - ☐ Configuración incorrecta de los parámetros del ensayo.

## 5. Ensayos de Verificación de funcionamiento

El grupo de ensayos descrito a continuación apunta a verificar el funcionamiento del equipo según lo informado en el proyecto base. Además de revalidar los resultados, se aprovechará la instancia para practicar, permitiendo así un mejor manejo del equipo a futuro.

### 5.1. Objetivo

El objetivo de esta serie de ensayos es confirmar que el equipo se comporta según los resultados de los ensayos del proyecto base.

### 5.2. Metodología

- ❖ Barrido de tensión del bus con distintas consignas de duty d0.
- ❖ Barrido de tensión de salida con distintas consignas de duty D.
- ❖ Medición de rizado de corriente de entrada a diferentes cargas.
- ❖ Verificación de forma de onda de salida a diferentes cargas.

### 5.3. Comparación

- ❖ Graficar resultados actuales vs resultados previos.
- ❖ Documentar diferencias (ej. por cambios en componentes, montaje o condiciones de laboratorio).
- ❖ Re-calcular la eficiencia.

**RESULTADOS ESPERADOS:** coherencia con curvas y tablas del informe anterior.

### 5.4. Valores típicos y características

- ❖ Cargas resistivas de valores entre 90 y 60.
- ❖ Tensiones de entrada entre 50 y 300V.
- ❖ No es deseable que la corriente de entrada  $I_n$  no sea cte. Para ello el filtro entre la fuente y la entrada.
- ❖ No es deseable que  $V_{in}$  no sea constante durante los períodos activos, pero como el equipo funcionará a LA oscilará entre ciclo y ciclo de switching.

## 5.5. Parámetros para los ensayos

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
1	90	120	90	90	0.125	0.750
2	120	170	120	90	0.147	0.706
3	150	200	150	90	0.125	0.750
4	180	230	180	90	0.109	0.783
5	210	260	210	90	0.096	0.808
6	240	300	240	90	0.100	0.800
7	270	350	270	90	0.114	0.771
8	290	385	290	90	0.123	0.753
9	300	400	300	90	0.125	0.750
10	150	200	150	62	0.125	0.750
11	210	260	210	62	0.096	0.808
12	240	300	240	62	0.100	0.800
13	270	350	270	62	0.114	0.771
14	300	400	300	62	0.125	0.763

## 6. Ensayos de caracterización y validación del modelo LA

Es de interés particular observar el tiempo de respuesta, sobrevalor, característica transitoria, y respuesta en frecuencia a lazo abierto para validar el modelo y los parámetros utilizados en las simulaciones.

### 6.1. Objetivo

El objetivo de esta etapa es caracterizar el comportamiento dinámico y estacionario del inversor quasi-Z-source en lazo abierto, con el fin de validar el modelo promediado y obtener parámetros experimentales equivalentes a los utilizados en simulación y diseño de control.

Se busca verificar la coherencia entre las variables teóricas, simuladas y medidas, identificando la frecuencia natural del sistema, el amortiguamiento y la respuesta ante perturbaciones de entrada, carga y consigna.

### 6.2. Metodología

Se aplicarán variaciones de carga, setpoint y fuente para cada ensayo sobre puntos de trabajo de baja potencia para evitar exigir el convertidor a lazo abierto. Como condición se deberá asegurar que las corrientes en inductores nunca caen a cero (sino, el modelo promediado pierde validez).

- ❖ **Regulación de Setpoint:** variación de  $V_{bus}$  al variar SP.
- ❖ **Line regulation:** variación de  $V_{bus}$  al variar  $V_{in}$ .
- ❖ **Load regulation:** variación de  $V_{bus}$  frente a cambios en resistencia de carga. Se producirán con un relé y un generador de señal, añadiendo o quitando cargas resistivas en paralelo.

### 6.3. Resultados esperados

Principalmente se busca obtener los valores reales del amortiguamiento y la frecuencia natural del sistema. Además se validará la transferencia entre las variaciones y la salida.



## 6.4. Ensayo 1 – Respuesta a variaciones de $d_0$

### 6.4.1. Objetivo

verificar la relación entre la tensión del bus  $V_{bus}$  y el ciclo de shoot-through  $d_0$ .

### 6.4.2. Procedimiento

1. Aplicar escalón de  $d_0$
2. Registrar  $V_{bus}$ ,  $V_{out}$  e  $I_{in}$  para cada punto, manteniendo carga y tensión de entrada constante.
3. Calcular la ganancia experimental:  $G = V_{bus}/V_{in}$   
y comparar con la expresión teórica:  $G_{teo} = 1/(1 - 2d_0)$
4. Identificar posibles desviaciones y justificar por pérdidas, ESR o caídas en diodos/MOSFETs.

### 6.4.3. Parámetros del ensayo

Ensayo	$V_{in}$	$V_{BUS}$	$V_o$	$R_L$	$d_0$	$M$
1	90	120 + 12	90	90	0.125	0.750
2	210	260 + 26	210	90	0.096	0.808

Ensayo	$V_{in}$	$V_{BUS}$	$V_o$	$R_L$	$d_0$	$M$
3	90	120	90 + 9	90	0.125	0.750
4	210	260	210 + 21	90	0.096	0.808

### 6.4.4. Resultado esperado

- ❖ **Incrementar  $V_o$**  (aumentar  $M$ ) incrementa la corriente de salida, por lo que la corriente de entrada también incrementa pero la  $V_{bus}$  cae.
- ❖ **Incrementar la  $V_b$**  (incrementar  $d_0$ ) implica un aumento en  $V_o$  y por lo tanto un incremento en la corriente de entrada y salida.

## 6.5. Ensayo 2 – Respuesta temporal del bus ante variación de carga

### 6.5.1. Objetivo

Determinar la frecuencia natural  $\omega_n$  y el factor de amortiguamiento  $\xi$  del sistema.

### 6.5.2. Procedimiento

1. Operar el inversor con un d0.
2. Conmutar escalonadamente una segunda carga resistiva mediante relé.
3. Registrar Vbus e Iin durante el transitorio.
4. Medir sobrepico y tiempo de establecimiento ts.
5. Calcular  $\xi$ , donde tr2% es el tiempo respuesta al 2% y Sv el sobrevalor relativo.

$$\omega_n = \frac{4}{\xi \cdot t_{r2\%}} \quad y \quad \xi = \frac{\log(Sv)}{\sqrt{\pi^2 + \log(Sv)^2}}$$

### 6.5.3. Parámetros del ensayo

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
5	90	120	90	90 - 30	0.125	0.750
6	210	260	210	90 - 30	0.096	0.808

### 6.5.4. Resultado esperado

- ❖ **Incrementar la Carga** (bajar la resistencia) implica una disminución de tensión de salida pero un aumento de corriente lo que resultaría en un aumento de corriente de entrada y en una caída de la tensión de bus

## 6.6. Ensayo 3 – Respuesta a variaciones de tensión de entrada

### 6.6.1. Objetivo

Evaluar la capacidad del qZ-network para mantener la proporción de ganancia  $G$  ante fluctuaciones de entrada.

### 6.6.2. Procedimiento

1. Fijar carga y  $d0$ .
2. Aplicar un escalón de  $V_{in}$ .
3. Registrar  $V_{bus}$  y corriente de entrada.
4. Comparar la variación de  $G=V_{bus}/V_{in}$  respecto a la simulación.

### 6.6.3. Parámetros del ensayo

Ensayo	$V_{in}$	$V_{BUS}$	$V_o$	$R_L$	$d0$	$M$
7	90 + 9	120 +	90	90	0.125	0.750
8	210 + 21	260 +	210	90	0.096	0.808

### 6.6.4. Resultado esperado

- ❖ **Incrementar la  $V_{in}$** , incrementa la  $V_{bus}$  lo que incrementa la  $V_o$  y por lo tanto la corriente de salida y de entrada consecuentemente.

## 7. Ensayos de performance LC

La última instancia de ensayos consiste en la verificación de la implementación de los controladores de tensión de bus y de salida. Adicionalmente, se propone someter al convertidor ante perturbaciones de carga y fuente, como variaciones de consigna para poder estudiar su performance en términos de tiempo de respuesta, sobrevalor y error en estado estacionario.

### 7.1. Objetivo

El objetivo de esta serie de ensayos es comprobar el desempeño de los controladores de tensión de bus y salida. Se replican las simulaciones realizadas para esta instancia.

No solo se deberá comprobar el tiempo de respuesta y sobrevalor ante perturbaciones y cambios de SP diseñados, sino también calcular la eficiencia a lazo cerrado y estudiar la forma de onda de salida.

### 7.2. Metodología

Al implementar por primera vez el controlador de  $V_{bus}$  o  $V_{out}$  se deberá realizar la prueba segura y verificar estabilidad.

La etapa consiste en dos series de ensayos, primero se evalúa al control de tensión de bus, y luego al de salida. Se aplicarán 3 juegos de ensayos de variación sobre 3 puntos de trabajo en potencia, a baja, media y alta potencia.

Por último, una vez validada la estabilidad, funcionamiento y performance, se realizará un ensayo en el que se exija al convertidor hasta su límite para poder así documentarlo.

#### **Variaciones sobre los puntos de trabajo:**

- ❖ Aplicar escalones de carga y medir sobrepico, tiempo de establecimiento y error en régimen permanente. Verificar la regulación.
- ❖ Aplicar cambios de  $V_{in}$  y verificar rechazo.
- ❖ Aplicar cambios de consigna y verificar seguimiento.

### 7.3. Re-cálculo de eficiencia

Con los resultados obtenidos se recalcula la eficiencia del convertidor, comparando con la obtenida a lazo abierto, esperando que el nuevo valor sea igual o levemente menor.

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in}$$

$$P_o = V_{o(RMS)} \cdot I_{o(RMS)}$$

$$\eta \% = \frac{P_o}{P_{in}}$$

### 7.4. Ajuste de parámetros en lazos

De ser necesario, se deberán ajustar los parámetros de los lazos para mejorar la performance de los mismos. Llegado el caso, se deberá documentar el cambio y su justificación adecuadamente, como también re-simular con los ajustes realizados.

### 7.5. Resultados esperados

Finalizada la serie de ensayos descrita en la sección 7, se apunta a obtener los siguientes valores de funcionamiento:

- ❖ Error estático < 5 % en ambos lazos.
- ❖ Tiempo de establecimiento < 5 ms para el bus, < 20 ms para la salida.
- ❖ Sobrevalor < 10 %.
- ❖ THD dentro de los límites normativos (< 5 %).
- ❖ Eficiencia > 80%.

Por último, se logrará caracterizar al inversor en su rango operativo y limitaciones según:

- ❖ Potencia máxima.
- ❖ Tensión de entrada mínima y máxima  $V_{in}$ .
- ❖ Tensión mínima y máxima de salida  $V_{out}$ .

## 7.6. Parámetros del ensayo variación para V bus

### Ensayo de estabilidad

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
1	30	50	30	180		

### Ensayos de variación para V bus

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
1	50	80	50	120	0.1875	0.625
1A	-5	REG	50	120		
1B	50	+8	50	120		
1C	50	REG	50	-12		

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
2	120	170	120	90	0.147	0.706
2A	-12	REG	120	90		
2B	120	+17	120	90		
2C	120	REG	120	-9		

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
3	240	300	240	62	0.100	0.800
3A	-24	REG	240	62		
3B	240	+30	240	62		
3C	240	REG	240	-6		

## 7.7. Parámetros del ensayo variación para V out

### Ensayo de estabilidad

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
1	30	50	30	180		

### Ensayos de variación para V out

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
1	50	80	50	120	0.1875	0.625
1A	-5	REG	REG	120		
1B	50	REG	+5	120		
1C	50	REG	REG	-12		

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
2	120	170	120	90	0.147	0.706
2A	-12	REG	REG	90		
2B	120	REG	+12	90		
2C	120	REG	REG	-9		

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
3	240	300	240	62	0.100	0.800
3A	-24	REG	REG	62		
3B	240	REG	+24	62		
3C	240	REG	REG	-6		

## 7.8. Parámetros de ensayos exigentes

### Consignas exigentes

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
1	120	300	195	62	0.3	0.650

### Carga (potencia de salida) exigente

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	do	M
2	300	400	311	62		



## 00 - Plantilla de ensayos a Baja Potencia - Fecha

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	Iin
1				
2				
3				
4				
5				

**Observación:**

Ensayo	Vo rms	Io rms	Pin	Pout	n
1					
2					
3					
4					
5					

## 01 - Plantilla de mediciones - Ensayo X - Fecha

Variable	m	h	Valor mínimo	Valor máximo	Resolución
$V_{IN}$	$0,00767 \frac{V}{V}$	$0V$	$0V$	$391,24V$	$95,52mV$
$V_{C1}$	$0,00584 \frac{V}{V}$	$0V$	$0V$	$513,64V$	$125,4mV$
$V_{C1-2}$	$0,00494 \frac{V}{V}$	$0V$	$0V$	$607,12V$	$148,22mV$
$V_{AC}$	$0,00395 \frac{V}{V}$	$1,5V$	$-380V$	$380V$	$185,55mV$
$I_{IN}$	$0,3 \frac{V}{A}$	$0V$	$0A$	$10A$	$2,44mA$
$I_{L1}$	$0,088 \frac{V}{A}$	$0,675V$	$-7,67A$	$29,82A$	$9,15mA$
$I_{BRDG}$	$0,0419 \frac{V}{A}$	$0,691V$	$-16,5A$	$55,16A$	$17,5mA$
$I_{AC}$	$0,146 \frac{V}{A}$	$1,497V$	$-10,25A$	$10,29A$	$5,01mA$

Medición	Valor real	CtrlCard	DSP	Error
	xx+-	Luego de la transfer nn	xx+-	Real-DSP/Real
V_BUS				
V_ac				
I_ac				
i_L1				
I_Bridge				
i_in				

**Observación:**

## 02 - Plantilla de validación funcionamiento - Fecha

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	Iin
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				

**Observación:**

## 02 - Plantilla de validación funcionamiento - Cálculos - Fecha

Ensayo	Vo rms	Io rms	Pin	Pout	n
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					

**Observación:**

$$P_{in} = V_{in} \cdot I_{in}$$

$$P_o = V_{o(RMS)} \cdot I_{o(RMS)}$$

$$\eta\% = \frac{P_o}{P_{in}}$$

## 03 - Plantilla de caracterización a LA - Fecha

Ensayo	Vin	VBUS	Vo	RL	lin	do	M
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

**Observación:**

## Plantilla de eficiencia para V bus

Ensayo	$I_{in}$	$V_{o\ rms}$	$I_{o\ rms}$	$P_{in}$	$P_{out}$	$\eta$
1						
2						
3						

**Observación:**

## Plantilla de eficiencia para V out

Ensayo	$I_{in}$	$V_{o\ rms}$	$I_{o\ rms}$	$P_{in}$	$P_{out}$	$\eta$
1						
2						
3						

**Observación:**

## Plantilla de eficiencia en ensayos exigentes

Ensayo	$I_{in}$	$V_{o\ rms}$	$I_{o\ rms}$	$P_{in}$	$P_{out}$	$\eta$
1						
2						

**Observación:**