



Universidad Técnica Federico Santa María
Departamento de Electrónica



Informe de Actividades en CERN

Nombre : Alam Toro S.

Introducción

Durante el primer semestre del año 2006, desde el 28 de marzo hasta el 22 de junio, se realizaron trabajos de post-grado en CERN o Centro Europeo para la Investigación Nuclear, con el fin de dar estudio y solución a fenómenos encontrados en dichas instalaciones.

Estos trabajos estuvieron relacionados con “Compatibilidad Electromagnética” o EMC y fueron coordinados con Georges Blanchot, ingeniero encargado de dicha área en CERN y Jorge Pontt, profesor encargado de la misma área en la Universidad Técnica Federico Santa María.

Los trabajos realizados durante este periodo se presentan a continuación a modo de informe, teniendo en cuenta la documentación exhaustiva de todos los documentos utilizados y examinados

Objetivos

- Los principales objetivos de esta estadía e informe fueron:
- Conocer la forma de trabajar de un centro de primera calidad como lo es CERN
- Observar problemas de compatibilidad electromagnética clásicos
- Observar problemas de compatibilidad electromagnéticas de complejidad mayor
- Reconocer problemas de compatibilidad electromagnética en convertidores DC/DC
- Dar respuesta a problemas de compatibilidad electromagnética de complejidad variable
- Entregar una documentación acabada de todos los problemas encontrados

Resumen del Trabajo Realizado

Las actividades tuvieron lugar en CERN, Ginebra, Suiza, durante un periodo que se prolongó desde el 28 de marzo hasta el 22 de junio, es decir 13 semanas. Durante este tiempo se realizaron muchas labores, las que se pueden dividir en 2 principales grupos: las relacionadas con la fuente de alimentación de bajo voltaje de Tile Calorimeter (TiCAL) o LVPS (low voltaje power supply) y la que no se relacionan directamente con ella.

Trabajos relacionados con LVPS de TiCAL

Los principales trabajos realizados tienen relación con la fuente de alimentación de TiCAL. Los trabajos fueron:

- Documentación del problema.
- Obtención de los niveles de emisiones de modo común de cada brick.
- Evaluación de Filtros de entrada
- Evaluación de Filtros de salida
- Caracterización de Ferritas bajo ambiente imperante.
- Evaluación de Plano de Tierra
- Simulación de un brick.

Documentación del problema

Esta tarea se extendió durante la primera semana de la estadía y en ella se obtuvo la información necesaria para la comprensión del problema imperante. Además, durante esta primera semana se hacen los cursos necesarios para tener acceso a las obras de ATLAS, en punto 1.

El problema consiste en que la fuente de alimentación de bajo voltaje (LVPS) presenta emisiones de modo común en las salidas de cada brick, presentando ruido que deteriora las señales observadas en los sensores más de lo admisible.

Tomando en cuenta la norma IEC-CISPR 11, referida a una carga de 50Ω , se ha determinado una norma interna¹ a seguir para realizar las estimaciones de cumplimiento de compatibilidad electromagnética. Esta norma se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Norma de EMC de Tile Calorimeter

9kHz - 500kHz	500kHz - 100MHz
45 dB μ A	39 dB μ A

Gracias a mediciones realizadas² antes de mi llegada se pudo determinar:

- Las emisiones son de modo común
- La entrada al LVPS (200VDC) no presenta emisiones por sobre la norma
- El conjunto de todas las salidas no presenta emisiones por sobre la norma
- La medición de cada una de las salidas por si sola, presenta 80dB μ A a 300[KHz] y sus armónicas 2°, 3°, 4° y 5° todavía persisten por sobre la norma

De este modo se puede suponer que las emisiones son provocadas como resultado de una interacción entre los bricks y no provienen de la fuente que los alimenta.

Obtención de los niveles de emisiones de modo común de cada brick

A partir de la segunda semana se comienza a trabajar en torno a la obtención de los niveles de emisión de modo común de cada brick en el LVPS.

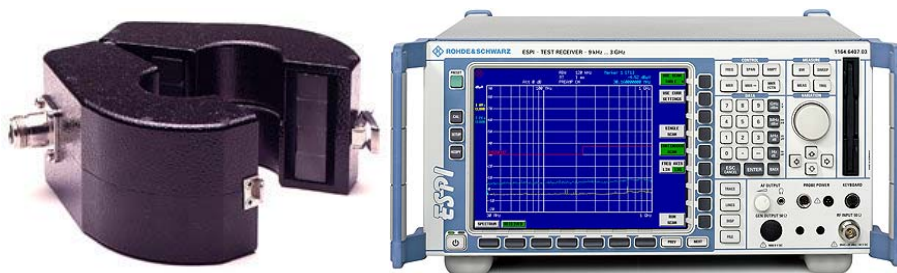


Figura 1. Equipos utilizados. Punta de corriente ETS-Lindgren 91550-1L y Test Receiver.

Las puntas utilizadas son de ETS-Lindgren 91550-1L y el equipo utilizado para realizar las pruebas es un EMI Test Receiver, modelo ESPI3 de Rohde and Schwarz.

En un principio se utilizó una carga resistiva pura (Dummy Load) para no tener las posibles emisiones provenientes de la carga no lineal, que corresponde a transmisores y los fotomultiplicadores. Pero luego se comenzó a utilizar la carga real para asegurarse de que la norma se cumpliese bajo condiciones reales.

Gracias a las mediciones realizadas y estudiando el caso se toman las mediciones de la figura 2, correspondientes a cada una de las salidas (tabla B1).

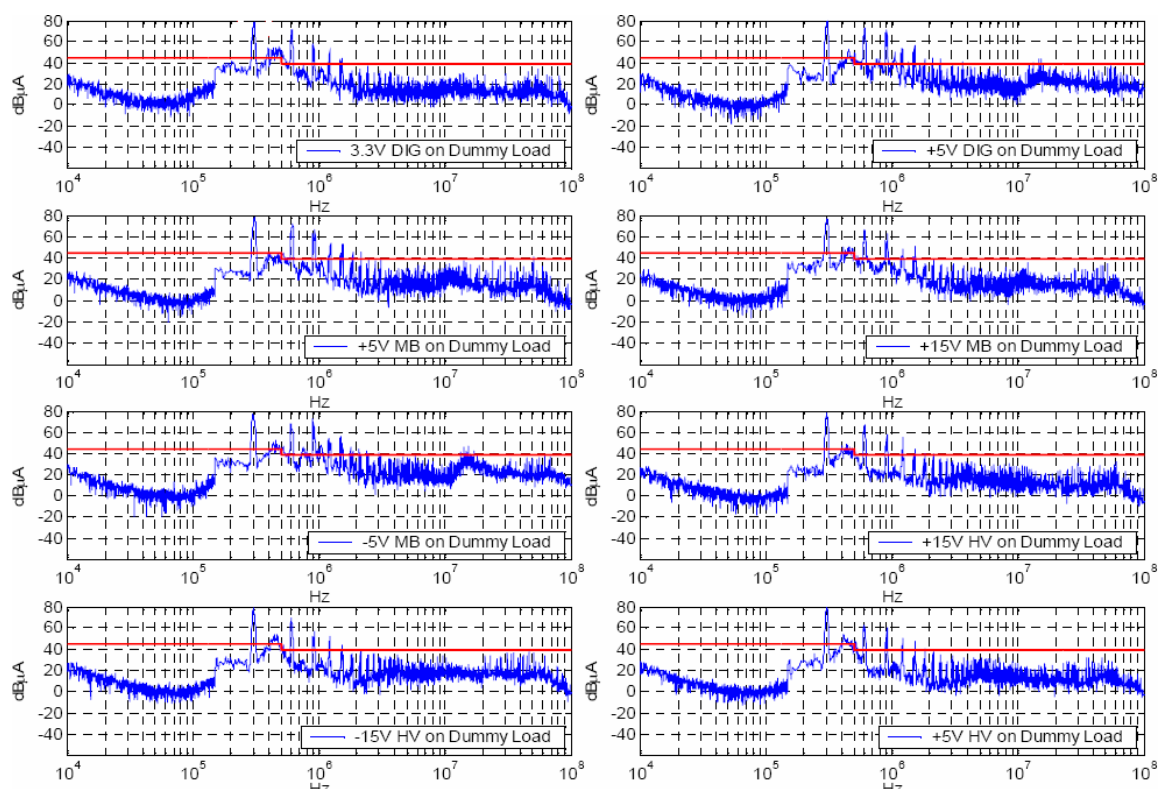


Figura 2. Mediciones de Modo Común realizadas a cada una de las salidas del LVPS.

Evaluación de filtros de entrada

Se prueba el efecto de ciertos filtros de modo común de entrada.

En la entrada se presentan niveles de corrientes más reducidos, por lo que se pretende poner filtros en esta etapa para reducir volumen de estos. El filtro corresponde a una inductancia de modo común implementada en la placa de fusibles.

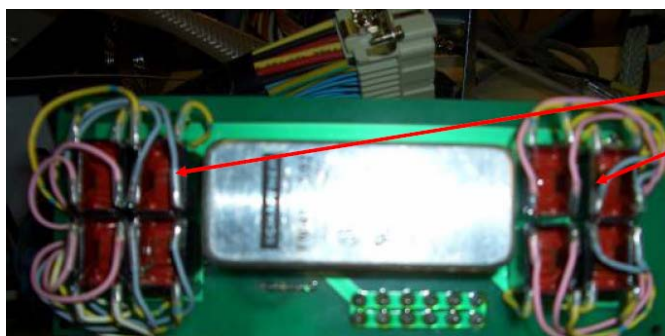


Figura 3. Inductancias de modo común puestas en la placa de fusibles

En la evaluación de estos filtros, no se observa mejora alguna. Si bien la entrada a la fuente presenta la forma más directa de ingresar a ella, también existe otra vía, la alimentación en el bus de control.

Se implementó un filtro de modo común para los buses de control, basados en inductancias de modo común de pequeño tamaño, como se aprecia en la figura 4.

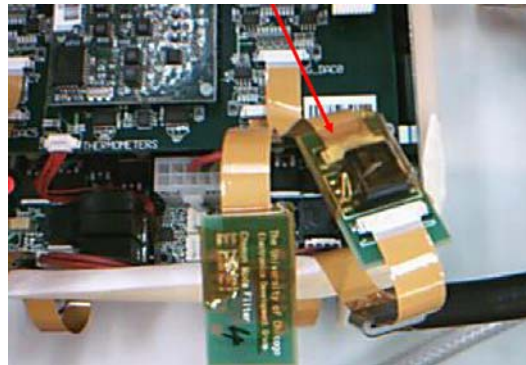


Figura 4. Inductancias de modo común en el bus de control de cada brick.

En forma posterior se evalúa el uso de filtros de modo común en el bus de comunicación con la tarjeta de control.

Este setup demostró dar buenos resultados, pero hacen a los bricks inestables, es decir, resulta sumamente difícil lograr encender todos los bricks en forma simultánea. Por lo que se deshecha y se sigue probando nuevas alternativas de filtros.

Evaluación de Filtros en la etapa de salida:

Se evalúa el uso de filtros de modo común en la etapa de salida de la LVPS. Es un principio se evalúan inductancias de modo común las que no son buena opción, ya que por la cantidad de corriente que es necesario por los filtros, estos deben crecer en tamaño, el cual excede con creces el volumen disponible.

Posteriormente se evalúa el uso de ferritas. Las ferritas utilizadas son de Würt Elektronik, modelos 742 7114 (la más pequeña), 742 7111 (la mediana) y 742 7122 (la más grande).

Los resultados obtenidos con estas ferritas no son muy alentadores para la frecuencia de conmutación y sus armónicas, pero en alta frecuencia (sobre los 10MHz) presentan buena respuesta y las emisiones están bajo la norma, como se puede apreciar en la figura 5.

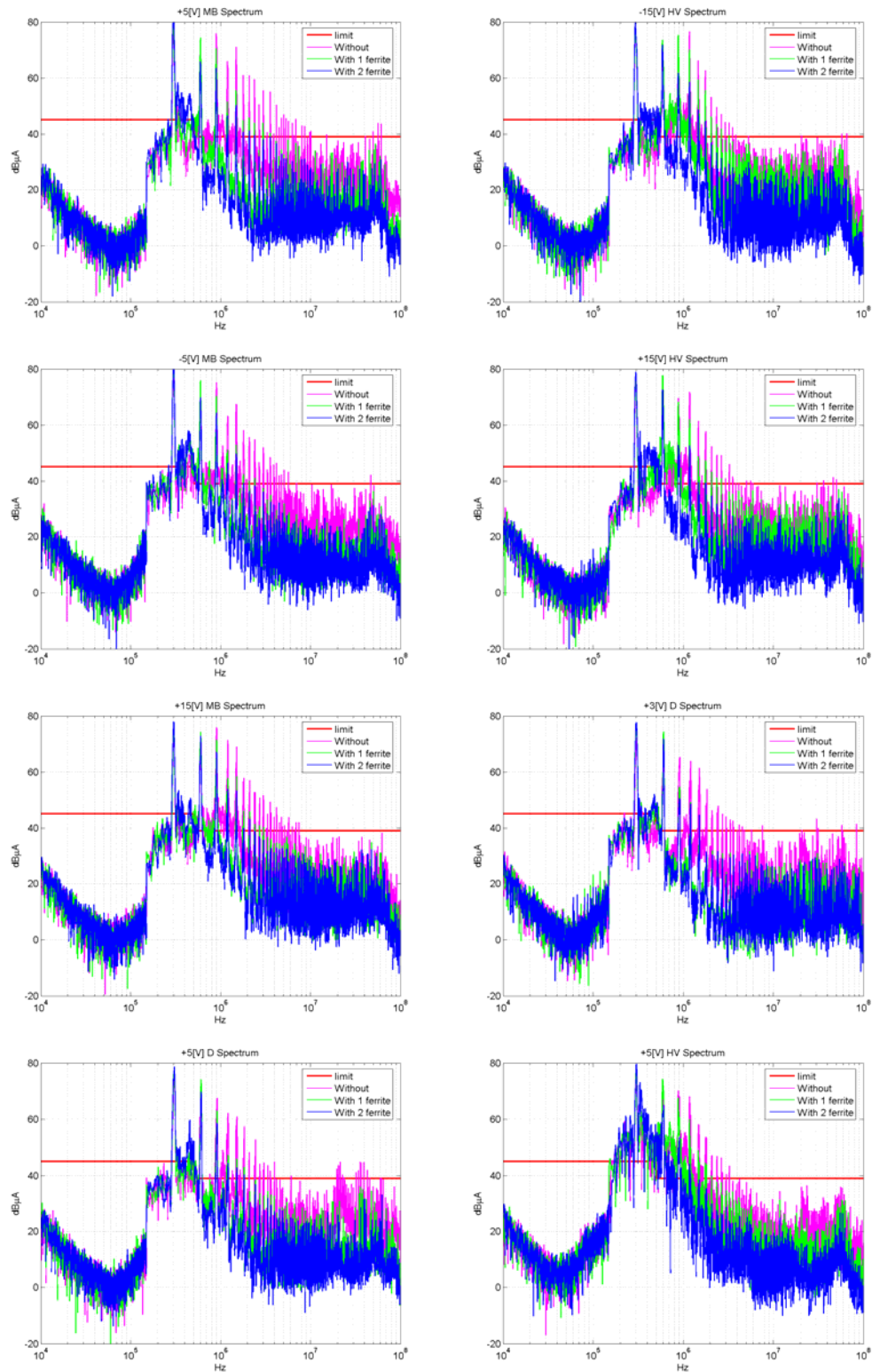


Figura 5. Comparación en el uso de 1 ó 2 ferritas en la salida de cada bricks.

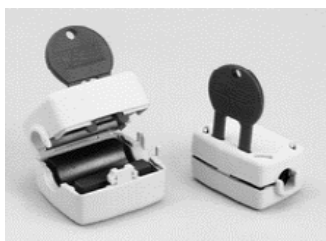


Figura 6. Ferritas utilizadas

Como se puede apreciar en las mediciones mostradas en la figura 5, la línea verde y la azul, nunca sobrepasan la norma sobre los 4 MHz, aproximadamente.

Realizando mediciones en el drawer, con todos los canales polarizados y dispuestos a funcionar, y fijándonos en un sólo canal, tomando muchas muestras de ese canal y utilizando herramientas estadísticas sobre esas mediciones, se obtienen los resultados de la figura 7.

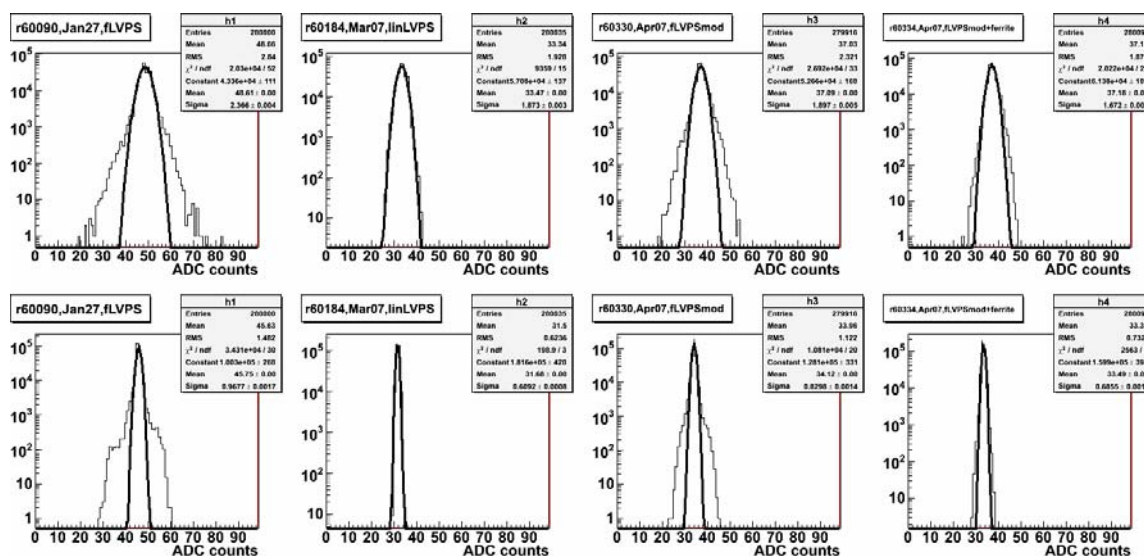


Figura 7. Representación del pedestal de las mediciones del canal 46. Arriba, canal high voltaje, Abajo, low voltaje.

Cada cuadro de la figura 6 muestra la amplitud del voltaje medido v/s el número de veces que fue observado en el canal 46. La línea gruesa corresponde a la campana de Gauss que mejor se le acerca. El primer cuadro corresponde a las mediciones sin ferrita. El 2º a la fuente de alimentación lineal, que se utiliza como patrón. La 3º corresponde a los filtros de entrada utilizados y la 4º corresponde a la misma fuente con ferritas.

De estas imágenes se puede deducir que el uso de ferritas, si bien no alcanzan el cumplimiento de la norma, dan un performance bastante aceptable al LVPS.

Caracterización de Ferritas

Debido a que el ambiente imperante dentro del drawer es de muy alto contenido de campo magnético³ (alrededor de 200Gauss) se hace necesario conocer el efecto de este campo sobre la eficiencia de la ferrita como filtro de modo común.

Para ello se evalúa el rendimiento de los tres modelos de ferritas utilizados, bajo campo el mismo campo magnético imperante en el interior del drawer, es decir, 200Gauss.



Figura 8. Instrumentos utilizados para la evaluación de las ferritas.

Para realizar una buena comparación se utiliza un setup, basado en el descrito en el apéndice C2 de la norma CISPR 22⁴, para obtener una representación de la impedancia, con el fin de caracterizar la Pérdida de Inserción, que es la forma más común de caracterizar un filtro. Los resultados obtenidos se pueden observar en la figura 9 y 10.

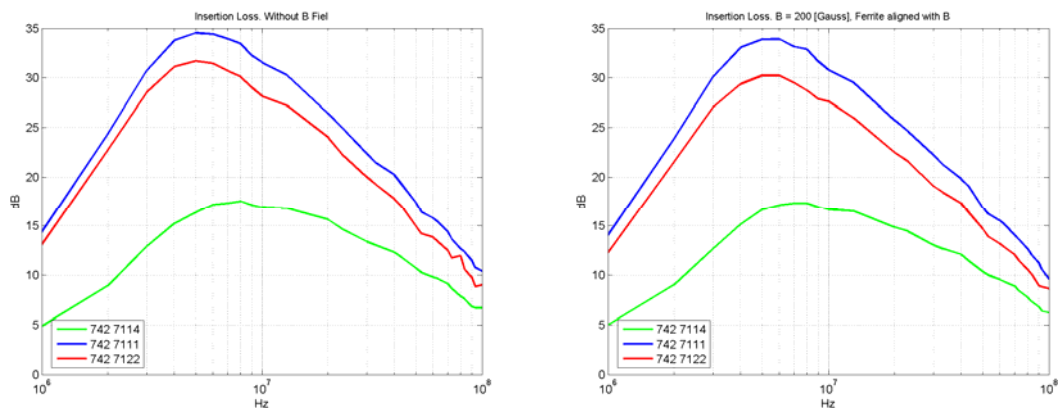


Figura 9. Pérdida de Inserción para los 3 tipos de ferritas, sin campo a la izquierda, con campo magnético de 200Gauss alineado con la ferrita a la derecha.

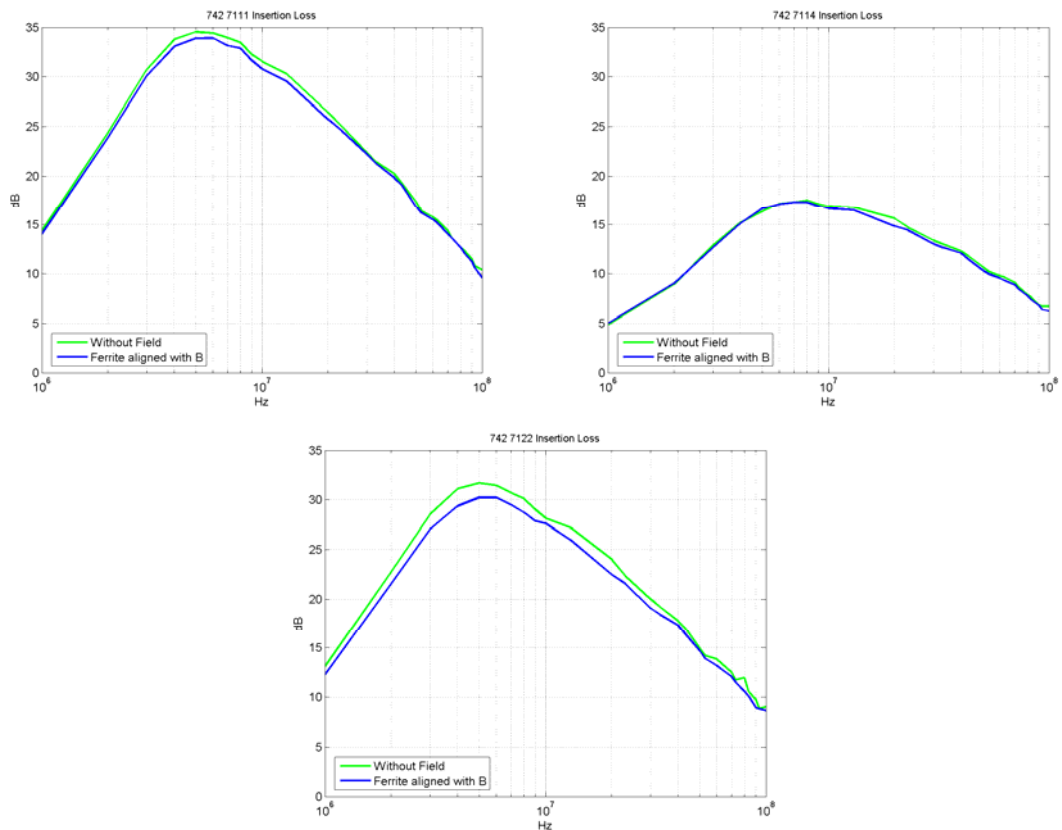


Figura 10. Comparación de la Pérdida de Inserción para cada una de los tipos de ferrita utilizados, con y sin campo.

Como resultado de las mediciones se puede concluir que el campo magnético actúa sobre las ferritas degradando su capacidad de filtraje, o disminuyendo su impedancia, pero a 200 Gauss, el efecto no es lo suficientemente grande como para afectar significativamente el filtraje original.

Hasta el momento es la mejor estrategia a seguir.

Evaluación de plano de tierra

Se estudia la posibilidad de crear un plano de tierra al que se conecten condensadores a modo de filtro de modo común con el fin de establecer una capacitancia determinada para cada brick con respecto a la tierra. Este plano de tierra se situó lo más cerca a las salidas y entradas, con el fin de reducir el valor de los componentes parásitos que comienzan a tomar importancia en altas frecuencias. La disposición del plano de tierra se aprecian en la figura 11 y 12.

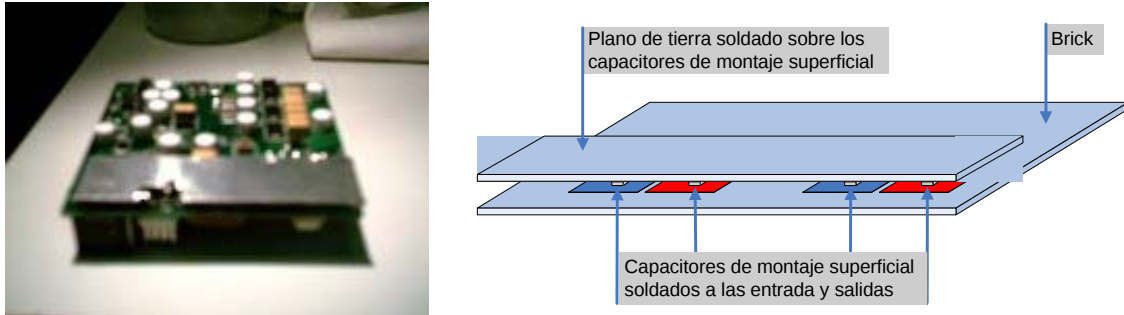


Figura 11. Disposición del plano de tierra sobre el brick

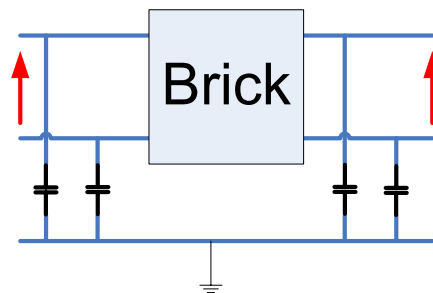


Figura 12. Esquemático eléctrico de la conexión del plano de tierra

Esta estrategia no pudo llegar a buen término debido a que en la primera prueba realizada se fundieron los capacitares y no se pudieron poner unos de mayor tamaño debido a la falta de espacio en esa zona.

Vin

Simulación de un brick

La idea es simular el funcionamiento de LVPS con el objetivo de predecir las emisiones anteriormente observadas y poder generar, en forma simulada, un filtro que cumpla con las expectativas. Además se busca dar explicación al riple observado en las salidas de más baja potencia entregada.

Para realizar esta tarea se comenzó a utilizar simuladores sencillos con el fin de simular la topología básica del brick, pero ante la nula observación de emisiones de esas simulaciones y con un análisis acabado del problema se decidió realizar las simulaciones con PSpice, software que simula cada uno de los componentes y sus similares parásitos, además de presentar una mejor representación al problema de la conmutación y entregar resultados directos de emisiones.

PSpice itera entre cada instante de tiempo y para cada componente con el fin de encontrar voltajes, corrientes, potencias y emisiones. Si al final de cada iteración existen diferencias que sobrepasan un umbral, se dispara un error el cual da la opción de volver a iterar, o cambiar el umbral. Dado que cambiar el umbral conlleva un aumento en el error de la simulación lo lógico es volver a iterar.

Al momento de finalizar la estadía en CERN, todavía no era posible simular un brick, debido principalmente a las siguientes razones:

- Diferencias grandes de constantes de tiempo. Si bien la frecuencia de conmutación es de 300kHz, la respuesta del filtro necesita varias conmutaciones para llegar a estado estacionario y analizar en ese estado, lo que significa hasta 1 hora de simulación.
- No se puede dejar al computador simulando mientras se realizan otras tareas, debido a que en cualquier momento se presenta una falla de convergencia y es necesario estar presente para corregir.
- El espacio requerido en disco duro y memoria para realizar la simulación excede con creces (20GB contra 100MB disponibles) la disponible en el computador asignado. Lo que significa esfuerzos extras de gestión y tiempo para la adquisición de una versión del software para la laptop.

La representación completa de un brick, bajo PSpice, conlleva la imposibilidad de realizar la simulación en el tiempo disponible. Esta tarea se concluye fuera del plazo de la estadía.

Conclusiones

Si bien el esquema de trabajo para enfrentar este tipo de problemas es de bastante sencillez en condiciones normales, en este caso tuvo un grado mayor de dificultad, debido principalmente a la falta de espacio dentro del equipo a intervenir (LVPS) lo que plantea mayores esfuerzos en la generación de una solución.

Otra aliciente fue el diseño mismo de los bricks, que no admitían ninguna forma de aterrizamiento, lo que definitivamente agravaba más la situación.

Si bien las ferritas no presentaban una buena solución, en cuanto a compatibilidad electromagnética se habla, debido al no cumplimiento de la norma, dieron buen resultado en el rango de frecuencia de trabajo, lo que definitivamente fue un notorio aumento del performance de la fuente en términos estadísticos (figura 7).

Este aumento del performance de LVPS significó que haya sido la solución más aceptada y la finalmente implementada para asegurar la correcta interpretación de los datos obtenidos por TiCAL.

Trabajos NO relacionados con LVPS

Dentro de los trabajos realizados, independiente a las fuentes de alimentación de TiCAL, se pueden mencionar:

- Puesta tierra de bandejas en ATLAS
- Instalación de rack's.

Puesta a tierra de bandejas

El trabajo consistió en la puesta a tierra de las bandejas que guiaban los cables de datos, control y potencia de los distintos subdetectores que forman el núcleo de ATLAS, desde TiCAL hasta el InnerDetector, con el fin de minimizar el área de separación entre estas guías de información y potencia y la tierra, minimizando, de esta forma, el ruido.

Normalmente, cuando las bandejas son instaladas por técnicos eléctricos, entendidos en la materia, estas bandejas son inmediatamente aterrizadas y conectadas entre si. Por alguna razón desconocida por el autor, algunas bandejas ubicadas entre la parte inferior de TiCAL y las Cámaras de Muones, no estaban conectadas entre sí, razón por la cual se procedió a unirlas, formando un camino de baja impedancia para cualquier corriente parásita circulante.

Este trabajo sirvió para bajar y observar los trabajos realizados en ATLAS.

Instalación de rack's

Existen dos salas, a nivel del suelo, en las que se hará un primer análisis de la información obtenida por los detectores de ATLAS. Estas salas cuentan con más de 60 rack's cada una, en los cuales se pretende instalar alrededor de 20 servidores en cada uno de ellos. El trabajo consiste en la instalación física de estos racks

Normalmente esta tarea es realizada por la gente encargada de ello. Pero, dada la fecha de trabajo y arribo de los racks es necesario hacer este trabajo en forma apresurada para evitar que estos se mojen y se deterioren con la lluvia.

Apéndice A: Tile Calorimeter

Tile Calorimeter es una de las tantas partes que componen a ATLAS. Este consiste en 3 cilindros, uno central y dos extensiones. El cilindro central es de 6 metros de largo, radio interior y exterior de 2,3 y 4,2[m] aproximadamente. Las dos extensiones son de iguales radios, pero de 3[m] de longitud, cada una.

Cada cilindro está compuesto de 64 partes dispuestas en forma radial. En la figura A1 se aprecia una de estas partes del cilindro central y una vista descriptiva de Tile Calorimeter.



Figura A1. Izquierda, una de las 64 partes que forman el cilindro central de Tile Calorimeter. Derecha, vista descriptiva de Tile Calorimeter.

Cada una de estas partes esta compuesta, como se aprecia en la figura A2 por pequeños cuadros o “tiles” de un material cintilante o que emite fotones cuando es traspasado por alguna partícula subatómica. Estos fotones son recogidos y dirigidos por una fibra óptica hasta un fotomultiplicador que los hace reconocibles en forma de señales eléctricas.

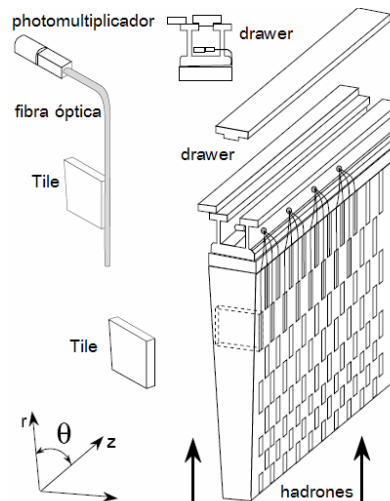


Figura A2. Estructura de Tile Calorimeter. ATLAS Technical Design Report

En el drawer o cajón que se aprecia en la parte superior de la figura, se aloja toda la electrónica necesaria para la recolección, conversión y transmisión de los datos recopilados, así como también se encuentran los fotomultiplicadores y la LVPS que los alimenta.

Apéndice B: Low Voltage Power Supply (LVPS)

En la figura 2 se puede apreciar una de las 64 partes que forman a Tile Calorímetro. El cilindro central se compone por 2 de estas partes, es decir, Tile Calorímetro consta de 64×4 de estas partes, es decir 256 partes. Cada una de ellas posee una fuente de alimentación que entrega los voltajes necesarios para su funcionamiento.

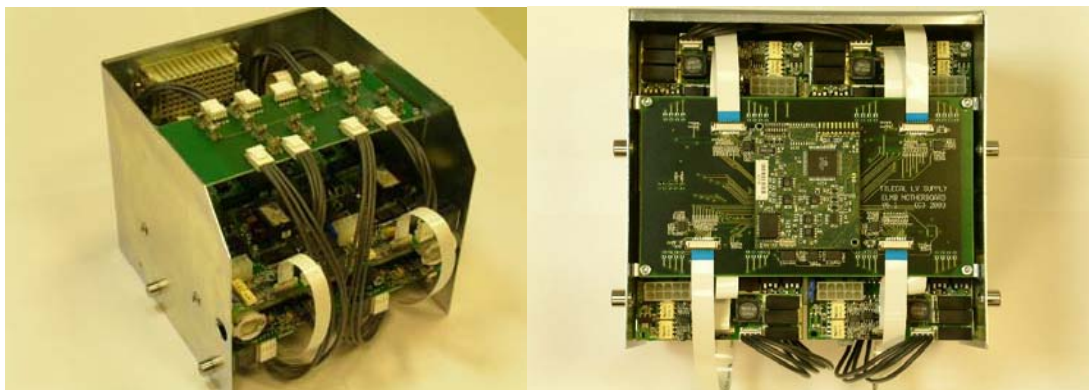


Figura B1. Fuente de alimentación de Tile Calorímetro

En la figura B1 se puede apreciar una vista interna de la fuente de alimentación de bajo voltaje. La fuente consta de 8 fuentes pequeñas o “bricks” para cada una de las distintas salidas requeridas, las que se disponen en grupos de 4 separados por la placa de refrigeración por agua que se encuentra en el centro. Además, el LVPS consta de una placa de fusibles y otra de control, ambas a cada extremo de la caja vista en la figura B1.

Cada una de los bricks que forman al LVPS está rotulada según el voltaje que entrega y la parte dentro del drawer que alimentan. De esta forma podemos encontrar las características de cada brick y sus características en una LVPS

Tabla B1. Características de cada brick

Rótulo	Corriente [A]	Potencia [W]
3.3 DIG	4.6	15.2
5 DIG	9	45
5 MB	16.5	82.5
15 MB	0.8	12
-5 MB	8.7	43.5
5 HV	0.3	1.5
15 HV	0.5	7.5
-15 HV	2,7	40.5

La placa de fusibles posee además el filtro EMI Schaffner FN410 para minimizar las emisiones provenientes de la alimentación primaria, el cual consta de 2 etapas de filtrado. Se adjunta datasheet del filtro. Algunas de las características del filtro se presentan a continuación:

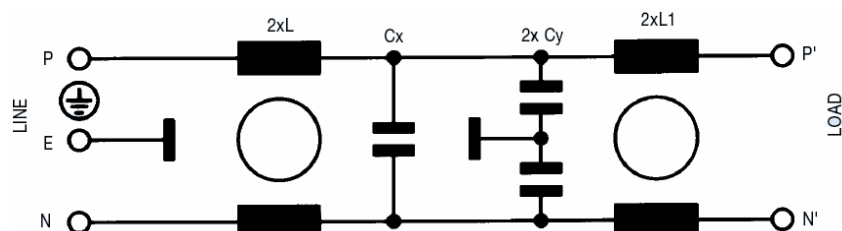


Figura B2. Esquemático de conexión del filtro Shacffner FN-410-6.

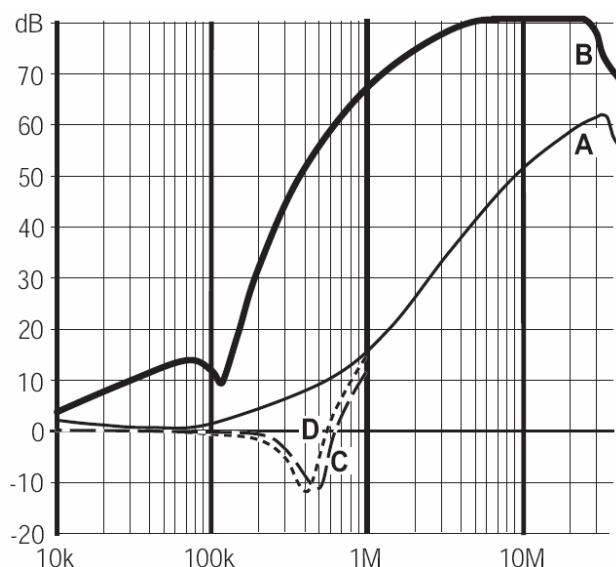


Figura B3. Pérdida de Inserción del filtro FN-410-6. Curva A 50Ω/50Ω sym, B 50Ω/50Ω asym, C 0.1Ω/100Ω sym, D 100Ω/0.1Ω sym.

Tabla B2. Valores del Filtro FN-410-6

Corriente	6 A
Inductancia	0.8 / 0.8 mH
Cx	33 nF
Cy	2.2 nF

La placa de control se denomina ELMB (Embedded Local Monitor Borrada) y se conecta con el control central de Tile Calorimeter por medio de la interfaz CANBus. Esta placa se encuentra principalmente constituida por el microcontrolador ATMEL

Cada brick (figura B4) corresponde a una fuente switching de topología medio puente, que se encuentra controlado por el chip de Linear Technology LT1681. El esquemático correspondiente se puede apreciar en la figura B5. El diagrama de bloques se presenta en la figura B6. Por razones de patentamiento se considera el esquemático de la figura 5 **CONFIDENCIAL**, por lo que se prefiere dejar en pequeño tamaño para ser difícil su reproducción.



Figura B4. Fuentes switching correspondientes a los bricks.

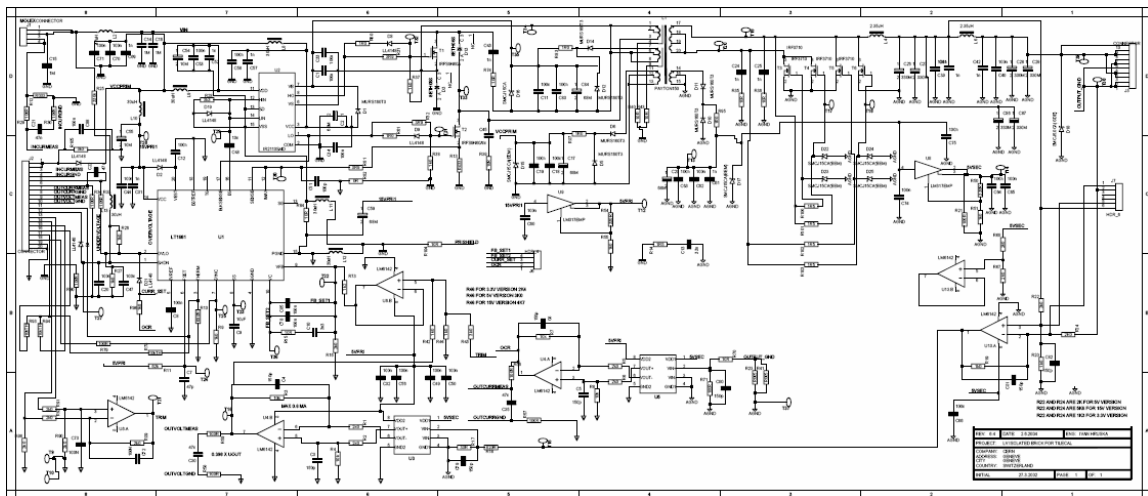


Figura B5. Esquemático de la Fuente Switching.

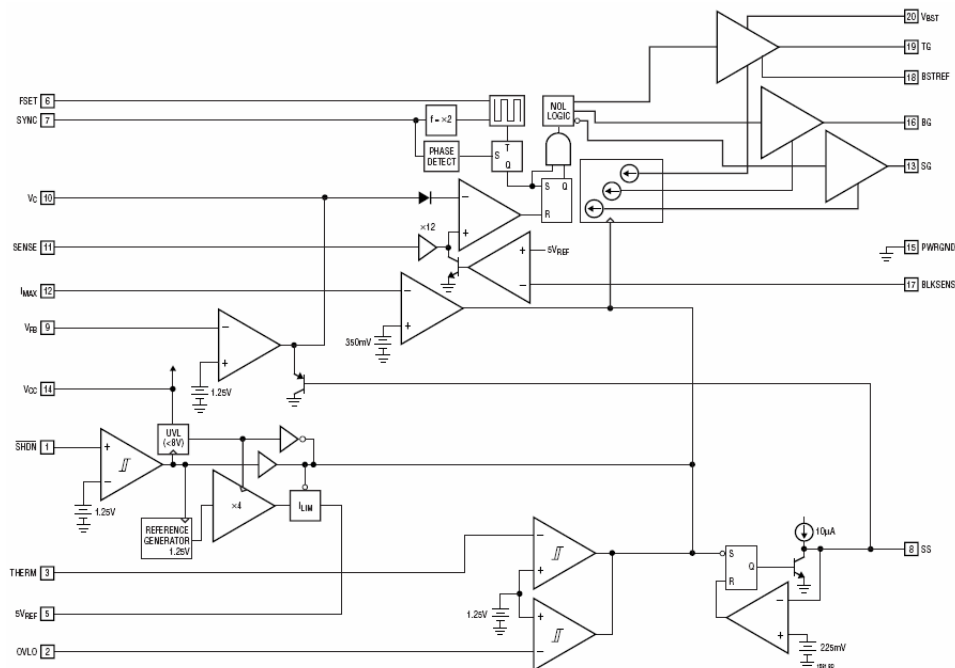


Figura B5. Diagrama de bloques del chip LT1681.

Conclusiones

En esta estadía se conoció un problema de complejidad media, pero con la aliciente de la falta de espacio, lo que conlleva a mayores grados de dificultad a la hora de entregar una solución posible.

Debido a variados problemas no fue posible entregar soluciones canónicas para este tipo de problemas, lo que llevó a un conocimiento más acabado de las soluciones disponibles en busca de una solución

También se conoció un centro de primer nivel, la organización y el tipo de convivencia dominante en el ambiente.

Referencias

¹ ATLAS EMC Policy, Gorges Blanchot, 04 de agosto del 2004, <https://edms.cern.ch/file/476490/1/ATLAS-EMC-POLICY.pdf>

² Tilecal FLVPS Conducted Emissions Test Report, october 26, 2005, Georges Blanchot
<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/FRONTEND/EMC/Archive/Reports/FLVPS%20Conducted%20Emissions%20Report.pdf#search=%22FLVPS%20Conducted%20Emissions%20Report%22>

³ The Magnetic Field in the special fingers and in the case of modified position of the shielding plate. T. Nikitina, University of Franche-Comte, Besancon
<http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/others/atlnot/Note/tilecal/tilecal-2002-012.pdf>

⁴ IEC - CISPR 22, Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurement, <http://www.iec.ch>