

**ESTUDIO DE LOS DAC SETTING PARA EL CHIP DE PÍXELES
DEL EXPERIMENTO CMS**

Por

Pedro Ttito Guzmán

Tesis sometida en cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS

en

FÍSICA

**UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ**

Junio, 2007

Aprobada por:

Héctor Méndez, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Eduardo Ramírez, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Ángel López, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Dorothy Bollman, Ph.D.
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Héctor Jiménez, Ph.D.
Director del Departamento

Fecha

ABSTRACT

A charged particle passing through the pixel detector of the ‘Compact Muon Solenoid’ (CMS), generated a pulse height that is proportional to the ionized charge collected by the pixel. The pulse height is one of the most important pieces of information used to obtain a good spatial resolution to study the pixel response when a charge is injected. In particular, we study the effect of some of the ‘DACs’ (Digital to Analog Converter) as a function of the pulse height (PH) by varying the read-out chip parameters. We study the observed dependence and its effect. This chip has 29 internal parameters called DAC. They control the operation properties of the chip and a good adjustment of them implies an optimal functionality of the detector.

Several tests under different experimental conditions were carried out. We changed the detector temperature and the DAC values under study, while the polarization voltage remained fixed. This study was conducted using several scripts, which are programs designed to test the detector.

Resumen de Disertación Presentado a Escuela Graduada
de la Universidad de Puerto Rico como requisito parcial de los
Requerimientos para el grado de Maestría en Ciencias

ESTUDIO DE LOS DAC SETTING PARA EL CHIP DE PÍXELES DEL EXPERIMENTO CMS

Por

Pedro Ttito Guzmán

Junio 2007

Cuando una partícula cargada pasa a través del detector de píxeles del ‘Compact Muon Solenoid’ (CMS), se genera un pulso cuya altura es proporcional a la cantidad de carga ionizada y recolectada por el pixel. La altura del pulso generado (PH), es la información más relevante para obtener una buena resolución espacial y así estudiar adecuadamente las interacciones físicas producidas. En éste trabajo, reportamos los estudios realizados sobre la respuesta del pixel cuando le inyectamos carga. En particular, estudiaremos el efecto de algunos ‘Digital to Analog Converter’ (DAC) sobre la altura del pulso (PH). Para éste fin hacemos variar algunos parámetros internos del chip de lectura. Estudiamos el tipo de dependencia observada y señalamos su efecto. Este chip tiene 29 parámetros internos, los cuáles son llamados DAC. Los DAC controlan propiedades de operación del chip y un buen ajuste de los mismos determina un óptimo funcionamiento del detector.

Realizamos pruebas en las cuáles cambiamos las condiciones de experimentación. Cambiamos la temperatura para realizar las pruebas del detector y cambiamos los valores de los DAC bajo estudio. El voltaje de polarización se mantiene fijo. Para realizar estos estudios se utilizaron ‘scripts’, los cuáles son programas que contienen instrucciones sobre el modo de cómo se deben realizar las pruebas sobre el detector.

Copyright © 2007

por

Pedro Ttito Guzmán

Dedicado :

A mis Padres Octavio Ttito y Fidelia Guzmán

Por haberme enseñado con su trabajo, fuerza y espíritu que:

Nuestro futuro será el fruto del trabajo que hoy realizamos

Nuestra Madre tierra nos da la vida y la fuerza que necesitamos

y ... a mi querida Ciudad del Cusco, su energía y fortaleza siempre me acompaña.

AGRADECIMIENTOS

Ruway k'uskiyniy tukusqaymantan, songoy chaninta kusikun chaymi añanchani llapa runa reqsisqayta paykunan yanapawanku kay ñanpi. K'uskiyniy ukhupi reqsirani allin munay chanin runakunata chaymi mañakuni Taytanchis Qhapaq Intita, ñanninta allin k'anchaykunapaq chay runakunata, ayllunkunapapas uywaykuspa qoñiyninta apachimuchun ama hayk'apapas pisichunchu mijunakuna noqanchispaq, pacha mamanchis qowasun llaqanchispaq. Qosqo llaqtaymanta karupi tarikuqtiy paykunan chaskiywan reqsisqata hina, remaykuspa mumayta yanapawan k'uskiyniy ruwayniypi.

Askha reqsikuy munakuyuniywanmi songo ukhuymanta paqariqwan añanchakuyki:

Simon Kwan paypa pusawasqan k'uskiy qawachiyniyta, cheqaq yachayninwan chaninpi qhawaykuspa ruwayninta tukurgan.

Héctor Méndez qan reqsikuq munakuywan yanapawasqaykimanta kay k'uskiy tukuyniypi allin runa kayniyki.

Lorenzo Uplegger munayniykiwan llank'achiwasqaykimanta k'uskina wasipi, allin yuyaywan llank'ay yachachiwasqaykimanta maskay makinakunawan.

Eric Spencer kunpay kaspayki askha watan llank'aq hina yachachiwanki imayna llank'ayta chay llank'ayniypaq nisqakunawan.

Sudhir y Ashish munakuq kausaywan sumaq rimayniyku, ruwasqanchiswan askha pacha llank'aypi paykunawan.

Llapa kunpaykuna reqsisqaywan ayllu ukhupi, llapawan munay kausayniypi munay kausayta, munay sukhapi, ancha kuisqa lonpoq qhepanpi Inti Taytaq lloqsimuy kawariqninchis.

Qosqo llaqtapi kunpaykunapaq Frida, Osbert y Lenin, paykuna qallariymanta pacha yanapawanku Puerto Rico nisqaman chayanaykama.

Taytanchis Qori Inti Qosqo llaqtapi, allin ñanman apawasun llapa runakunata q'oñiyninta qoywasun chiripi ayllunchiskunatapas qhawaringa kutimunanchis kama askha munaskay kunpaykuna.

TABLA DE CONTENIDO

	<u>pagina</u>
ABSTRACT ENGLISH	ii
RESUMEN EN ESPAÑOL	iii
AGRADECIMIENTOS	vi
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
LISTA DE SIMBOLOS	xiv
 1 INTRODUCCIÓN	 1
1.1 El Modelo Estándar	2
1.2 La Física del LHC	6
1.3 Desafíos experimentales	8
1.3.1 ‘Pile up’	8
1.3.2 Ruido QCD	10
1.4 La búsqueda del bosón de Higgs	10
 2 OBJETIVOS Y TRABAJOS PREVIOS	 12
2.1 Objetivos	12
2.2 Trabajos previos	12
 3 MODULOS Y LECTURA ELECTRÓNICA	 17
3.1 El ‘Compact Muon Solenoid’: CMS	17
3.1.1 CMS Concepto global	18
3.2 El detector de pixeles	19
3.2.1 La Plaqueta	20
3.2.2 El Panel	22
3.3 El Chip de lectura: PSI46	24
3.3.1 Mecanismo de lectura para las columnas	24
3.3.2 Diseño de la periferie de la columna	25
3.3.3 Lectura de datos	25

4	EL EXPERIMENTO	28
4.1	Configuración experimental	28
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS	37
6	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	54
	DATOS BIOGRÁFICOS	58

LISTA DE TABLAS

<u>Tabla</u>		<u>pagina</u>
1-1	Fermiones	4
1-2	Propiedades físicas de los quarks	4
1-3	Propiedades físicas de los leptones	5
1-4	Interacciones fundamentales	5
3-1	Características del chip PSI46	24
5-1	Ajustes para Vsf	46
5-2	Ajustes para VoffsetOP	50
5-3	Ajustes para VoffsetRO	52

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>pagina</u>
1-1 Generaciones de materia	3
1-2 El anillo del LHC	6
1-3 Desplazamiento de las constantes de acoplamiento. En teoría SUSY, las constantes de acoplamiento electromagnética (α_1), fuerte (α_3) y débil (α_2) se unen en un sólo punto α_G y la gran unificación es posible	9
2-1 Regiones de linealidad	13
2-2 PH Vs Vcal para diferentes valores de VoffsetOP	14
2-3 PH vs Vcal: Malos ajustes	14
2-4 Efecto de Vsf sobre PH	15
2-5 PH Vs VhlDel	16
3-1 Vista completa de CMS	18
3-2 Vista transversal del detector CMS con un trayectoria de muón atravesando los detectores que lo conforman	19
3-3 Detector de pixeles	20
3-4 Plaqueta (Estructura Multicapas)	21
3-5 Sección de un detector de pixeles. El sensor es ‘Bump Bonded’ sobre el chip. Los ‘bumps’ de Indio son mostrados en una fotografía electrónica	21
3-6 Dos paneles del detector de pixeles de CMS	22
3-7 Un Panel 3R con plaquetas reales	23
3-8 Capa del chip de pixeles	23
3-9 Lectura en cadena	26
3-10 Composición de la señal proveniente del sensor vista en el osciloscopio	27

4-1	Representación esquemática del detector bajo prueba, conexiones necesarias para la realizar la inyección de carga y equipos electrónicos utilizados	29
4-2	Setup 1	30
4-3	Plaqueta en el interior de la caja de enfriamiento	31
4-4	Señal proveniente del detector observada en el osciloscopio	32
4-5	Señal en el osciloscopio y gráficas en ‘ROOT’	32
4-6	‘Hit’ sobre el sensor	33
4-7	DACs y ‘registers’	34
4-8	Lista de DAC	35
5-1	Acción de algunos DAC sobre la cadena de señales análoga	38
5-2	DAC ajustados	40
5-3	PH vs CalDel a Temperatura ambiente y a $T = -10^0C$	41
5-4	PH vs VoffsetRO a temperatura ambiente y a $T = -10^0C$	41
5-5	PH vs VoffsetOP a temperatura ambiente y a $T = -10^0C$	42
5-6	PH vs Vsf temperatura ambiente y a $T = -10^0C$	42
5-7	PH vs Vcal a temperatura ambiente y a $T = -10^0C$	43
5-8	PH vs VbiasPH a temperatura ambiente y a $T = -10^0C$	43
5-9	PH vs VhlDel a temperatura ambiente y a $T = -10^0C$	44
5-10	PH vs Vcal: Vsf= 0, 21, 42	45
5-11	PH vs Vcal, Vsf= 63, 84, 105, 120, 126, 128, 130 y 147	47
5-12	PH vs Vcal: Vsf= 168, 180, 195, 210	48
5-13	PH vs Vcal: Vsf= 231, 250	48
5-14	PH vs Vcal: VoffsetOP= 0, 10, 20, 30, 40, 60 y 90	49
5-15	PH vs Vcal: VoffsetOP= 120, 150, 200 y 250	50
5-16	PH vs Vcal: VoffsetRO= 0, 30, 60, 90, 120, 130, 140	51
5-17	PH vs Vcal: VoffsetRO= 170, 200, 220 y 250	52

LISTA DE ABREVIATURAS

ADC	Analog to Digital Converter
ALICE	A Large Ion Collider Experiment
ATLAS	A Toroidal LHC ApparatuS
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit
CERN	European Organization for Nuclear Research
CMS	Compact Muon Solenoid
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
DAC	Digital to Analog Converter.
DAQ	Data AcQuisition
FEC	Front-End Control
GUI	Graphical User Interface
LHC	Large Hadron Collider.
ROC	ReadOut Chip
RTD	Resistance Temperatura Detector
TBM	Token Bit Manager chip
LHCb	Large Hadron Collider beauty
MS	Modelo Estándar
SUSY	SUperSYmmetry
QCD	Quantum Chromo Dynamics
PH	Pulse Height
PCI	Peripheral Component Interconnet
PSI	Paul Scherrer Institute
1LT	First Level Trigger
VHDI	Very High Density Interconnect
HDI	High Density Interconnect

LISTA DE SIMBOLOS

A	Amperio
C	Coulomb
K	Kelvin
ns	nanosegundos
T	Tesla

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

El ‘Large Hadron Collider’ (LHC), es un colisionador de partículas cargadas que proveerá la primera colisión protón-protón (pp), con una energía de centro de masa de 14 TeV. Con él se pretende estudiar la estructura más íntima de la materia y conocer mejor las interacciones fundamentales existentes entre sus constituyentes más básicos. El LHC está localizado en el laboratorio Europeo del CERN (Consejo Europeo para la Investigación Nuclear), en Ginebra Suiza. El objetivo principal es descubrir la partícula Higgs, la cual es responsable de la generación de masa en el modelo estándar de las partículas elementales.

CMS es un detector de propósito general en el LHC . El dispositivo de rastreo de partículas cargadas más interno es el detector de pixeles. El detector de pixeles de CMS será el detector más cercano al punto de interacción cuando ocurra la colisión pp en el LHC. En un medio como este de alta luminosidad y energía donde el flujo de partículas cargadas es extremadamente alto a distancias pequeñas, se requiere que los análisis de reconocimiento de trayectorias en las capas más internas del detector sean realizados por dispositivos compuestos de pixeles. La altura del pulso generado por el paso de cada partícula cargada a través del detector de pixeles es grabada como una señal análoga y proporciona una medida de la carga ionizada y recolectada por el pixel.

El sistema de pixeles contribuirá a tener precisos puntos de rastreo en r, θ y z . A través de esto, la reconstrucción 3D del vértice en el espacio es posible, el cual será importante para reconstruir vértices secundarios de multiplicidad baja producto de

los decaimientos de las partículas. Esto mejora la resolución de posición debido a la carga compartida y ayuda a separar señales reales y ruido provenientes del detector.

Los bloques constituyentes básicos del detector de pixeles, son sensores de Silicio finamente segmentados con sus respectivos ‘Readout chip’ (ROC). El ROC fue diseñado para responder eficientemente a los daños de radiación, producidos por el alto número de trayectorias y por el flujo de partículas cargadas. Los ROC tienen que registrar la posición y la carga de todas las partículas que atraviesen el sensor (‘hits’), con un tiempo de resolución de 25 nanosegundos. El ROC tiene en total 29 parámetros internos los cuáles son llamados DAC.

1.1 El Modelo Estándar

El modelo estándar (MS), resume nuestro conocimiento actual de la materia y el de las interacciones responsables de todos los procesos físicos en el nivel más fundamental. Cientos de partículas subatómicas y sus propiedades son ahora entendidas en terminos de seis constituyentes básicos llamados quarks y otras seis llamados leptones, de las cuáles toda la materia está constituida. Tres interacciones: electromagnética, fuerte y débil son ahora comprendidas a través de ésta teoría. Varios experimentos han sido ideados para poder desafiar cada aspecto del modelo estándar, para encontrar alguna desviación de sus predicciones. En cada caso, ha sobrevivido exitosamente a todos los ingeniosos desafíos, cada predicción ha demostrado ser correcta, algunos de ellos con gran precisión. Pero el modelo estándar no lo explica todo, la gravedad no esta incluida en ella.

Generaciones de materia

La figura 1-1, nos permite distinguir los tres conjuntos de pares de quarks y de leptones. Cada conjunto de estas partículas es llamada generación o familia, el par up/down es la primera generación de quarks, mientras que el par electrón/electrón-neutrino es la primera generación de leptones. En los procesos de decaimiento, las partículas masivas decaen hacia otras más ligeras, por lo cual podemos esperar que

la primera generación de quarks y leptones sea la más abundante en el Universo. Desconocemos por qué el mundo natural necesita las otras dos generaciones y por qué hay exactamente tres generaciones. Como se observa en la tabla 1-2, la masa de los quarks se incrementa en cada generación, las partículas de la tercera generación son las más masivas y son difíciles de descubrir. El descubrimiento de estas ha sido posible gracias a experimentos donde las partículas colisionan a altas energías.

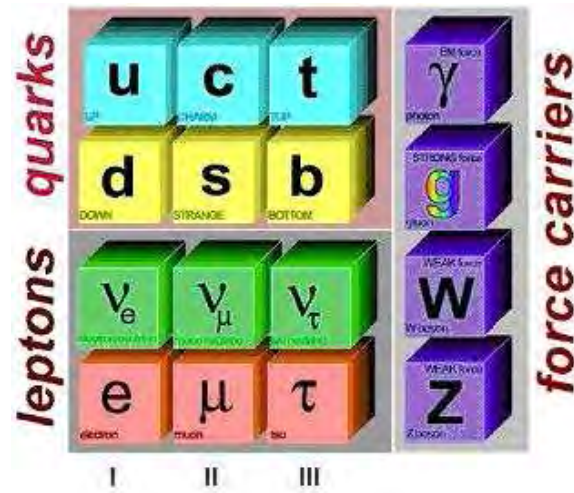


Figure 1-1: Generaciones de materia

El modelo estándar no puede explicar por qué una partícula tiene cierta masa. Se ha teorizado la existencia del llamado campo de Higgs, el cual en teoría interactúa con otras partículas para darles masa a ellas. El campo de Higgs requiere de una partícula llamada, el boson de Higgs. El boson de Higgs no ha sido aún observado, pero los físicos se encuentran tratando de descubrirla en el LHC. En la actualidad, una de las principales metas de la física de partículas es unificar las fuerzas fundamentales: fuerte, electromagnética y débil, en una sola teoría de unificación, la cual ofrece un entendimiento más elegante de la organización del Universo. Enseguida indicamos en la tabla 1-1, los nombres de las partículas que conforman el grupo de quarks y leptones.

Table 1–1: Fermiones

QUARKS	LEPTONES
Up	Electrón
Down	Electrón-neutrino
Strange	Muón
Charm	Muón-neutrino
Bottom	Tau
Top	Tau-neutrino

Fermiones

Los fermiones se dividen en quarks y leptones (tabla 1–2 y tabla 1–3). Son partículas con spin semientero ($1/2, 3/2, \dots$), los mismos obedecen el principio de exclusión de Pauli, el cual establece que dos fermiones no pueden existir en el mismo estado, al mismo tiempo y en el mismo lugar.

Table 1–2: Propiedades físicas de los quarks

Quark	Símbolo	Carga($ e $)	Masa(MeV/c^2)
Down	(d)	-1/3	4.2
Up	(u)	+2/3	7.5
Strange	(s)	-1/3	150
Charm	(c)	+2/3	1100
Bottom	(b)	-1/3	4200
Top	(t)	+2/3	174000

Quarks

Un fermión fundamental el cual tiene interacciones fuertes. La materia que observamos a nuestro alrededor está compuesta de protones y neutrones, los cuáles están compuestos por quarks. Los quarks (up, charm, top) tienen carga de $+2/3$ la carga eléctrica del electrón. Los quarks (down, strange, bottom), tienen $-1/3$ de la carga eléctrica del electrón. El protón compuesto por dos quark up y un quark down, tiene carga electrica $+1$. La carga del electrón es aproximadamente $1.6 \times 10^{-19}C$. La tabla 1–2, nos permite conocer el nombre, símbolo, carga eléctrica y la masa de los quarks.

Table 1–3: Propiedades físicas de los leptones

Leptón	Símbolo	Carga($ e $)	Masa(MeV/ c^2)
Electrón	(e^-)	-1	0.511
Electrón-neutrino	(ν_e)	0	< 0.003
Muón	(μ^-)	-1	105.6
Muón-neutrino	(ν_μ)	0	< 0.19
Tau	(τ^-)	-1	1784
Tau-neutrino	(ν_τ)	0	< 18.2

Lepton

Un fermión fundamental que no participa en interacciones fuertes. Los leptones cargados eléctricamente son: el electrón(e^-), muón(μ^-), tau(τ^-) y sus antipartículas. Leptones eléctricamente neutros son llamados neutrinos. La tabla 1–3, nos da las propiedades físicas de los leptones.

Interacciones y portadores

Reconocemos la existencia de cuatro tipos de fuerzas o interacciones fundamentales en la naturaleza, los mismos son responsables de todos los procesos físicos observados a nuestro alrededor. Existen también asociadas con estas interacciones, partículas portadoras de fuerza, las cuáles son conocidas como bosones, las mismas tienen spin entero (0,1,2,...). En la tabla 1–4 podemos observar el tipo de interacción, los portadores de la fuerza, su masa, el rango de acción, su carga eléctrica, su spin total y la paridad (J^P) de estos mediadores.

Table 1–4: Interacciones fundamentales

Fuerza	Portador	Masa (GeV/ c^2)	Rango de acción (m)	Carga ($ e^- $)	J^P
Fuerte	Gluón (G)	0	10^{-15}m	0	1^-
	Fotón(γ)	0	$\propto \approx (\frac{1}{r^2})$	0	1^-
Débil	Bosón ($W^\pm$)	81.8	10^{-18}m	± 1	1^-
Débil	Bosón (Z^0)	92.6	10^{-18}m	0	1^+
Gravitacional	Gravitón (g)?	0 ?	$\propto \approx (\frac{1}{r^2})$	0 ?	2^-

1.2 La Física del LHC

El LHC en el CERN es un acelerador de partículas que permitirá estudiar colisiones protón-protón a 14 TeV en el centro de masas y luminosidad de $10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ [1, 2]. Las colisiones ocurrirán cada 25 ns. El estudio directo de ésta región de energías y la posibilidad de lograr medidas de precisión son la razón de su construcción, cuyo inicio de operaciones está prevista para mediados del 2008. Este nuevo acelerador se está instalando en el tunel que albergaba LEP. Cuatro experimentos de gran embergadura (ATLAS, CMS, LHCb y ALICE) se están terminando de ensamblar para estudiar las interacciones que se producirán.

Podemos observar en la figura 1–2 la distribución de estos cuatro detectores en el anillo del LHC. CMS y ATLAS están localizados en lugares diametralmente opuestos, mientras que ALICE y LHCb están localizados en los octantes 2 y 8 respectivamente.

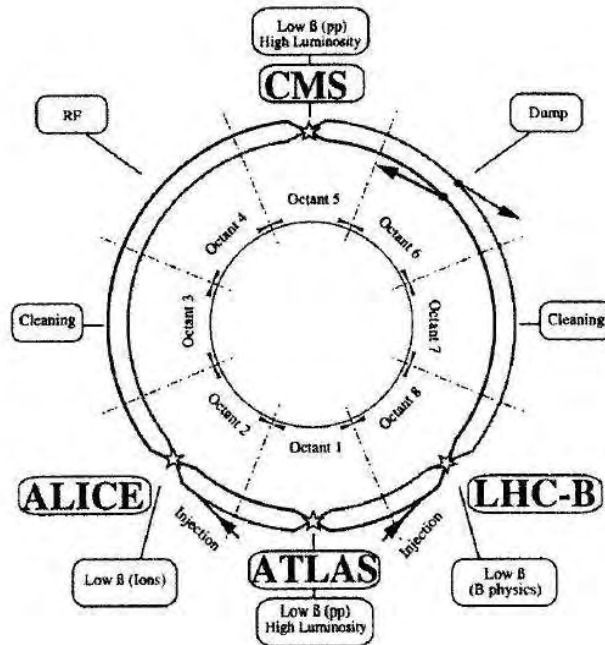


Figure 1–2: El anillo del LHC

Durante el primer año de pruebas físicas, el LHC alcanzará una luminosidad pico de $L = 2 \times 10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Se espera realizar la primera corrida con iones pesados en el 2008, luego de esto la primera corrida para la física pp tendrá lugar en

el LHC. Esta compuesto con aproximadamente 9000 magnetos, de los cuáles 1232 son dipolos criogénicos. Estos son magnetos superconductores operando a 1.9 K, los mismos producen un campo de 8.4 T. La corriente en el interior de los magnetos es de ~ 11700 A. Existe la fuerte convicción de que éste acelerador permitirá descifrar importantes temas pendientes, como establecer la naturaleza de la observada ruptura de simetría electrodébil (mecanismo de Higgs), deducirá la posible existencia de partículas supersimétricas -o de otro tipo- así como de nuevas interacciones, extra dimensiones, pondrá de manifiesto el desconfinamiento de los quarks y la transición de fase hadrones-plasma de quarks y de gluones.

Podemos resumir las motivaciones de investigación física tomadas en cuenta para la construcción del LHC, en los siguientes puntos [3] :

- **Entender el origen de la masa de las partículas.** El MS no explica el origen de la masa de las partículas y el motivo para la jerarquía de la masa de los leptones, quarks y bosones gauge. En el MS el mecanismo de Higgs rompe la simetría electrodébil y permite la existencia de partículas con masa. Como consecuencia de esto, una partícula escalar es predecida, el boson de Higgs. Su masa no debería exceder 1TeV para conservar la unidad a altas energías. El LHC intentará, mediante sus experimentos, encontrar el boson de Higgs en la región de masas desde 120 GeV hasta 1 TeV.
- **Investigar más alla del modelo estándar.** Se cree que el MS no es la última teoría por un cierto número de razones. En el MS el boson de Higgs tiene poca justificación física y conduce a correcciones divergentes para la masa del boson de Higgs, a menos que cálculos bien finos sean realizados. Además, en teorías más generales, como Supersimetría (SUSY), las constantes de acoplamiento de las interacciones electromagnética, fuerte y débil se reúnen en un solo punto α_G (figura 1-3) y la gran unificación es posible. Como vemos en la figura 1-3, una vez

que las constantes de acoplamiento en el modelo estándar son extrapoladas desde sus valores experimentales, éstas se unen en un punto.

- **Respuesta a muchas preguntas abiertas.** Hay muchos temas que el LHC podría clarificar como: si leptones y quarks son partículas elementales, si hay familias adicionales de quarks, leptones y bosones gauge. El LHC también podría investigar el origen de la asimetría materia-antimateria en el universo y el origen del confinamiento QCD.
- **Realizar medidas de precisión.** Medir tantas propiedades como sea posible de las partículas conocidas y sus interacciones con la más alta precisión, será un logro complementario para la búsqueda directa de física nueva.

1.3 Desafíos experimentales

Los experimentos del LHC tienen que enfrentar dos principales dificultades experimentales. La primera de ellas es ‘Pile up’, que está relacionada con la luminosidad del detector, la segunda es el ruido ‘QCD’, relacionado con el estudio de la física de las colisiones pp.

1.3.1 ‘Pile up’

Los protones son agrupados en paquetes de $\sim 10^{11}$ protones colisionando cada 25 nanosegundos. Operando a alta luminosidad, el promedio de interacciones es $\sim 10^9$, un promedio de 25 interacciones suaves (‘minimum bias events’) ocurrirán simultáneamente en cada cruce de paquetes. Esto da origen, cada 25 ns, alrededor de 1000 partículas cargadas en el detector en la región de pseudorapidez $|\eta| < 2.5$. Por lo tanto, cuando un evento de gran dispersión es producido durante un cruce de paquetes, éste evento es sobrepuesto con 25 eventos suaves adicionales, los cuáles son llamados ‘Pile up’. ‘Pile up’ es una de las dificultades experimentales más serias para la operación del LHC. Los requerimientos de mayor importancia para el diseño del detector se resumen en:

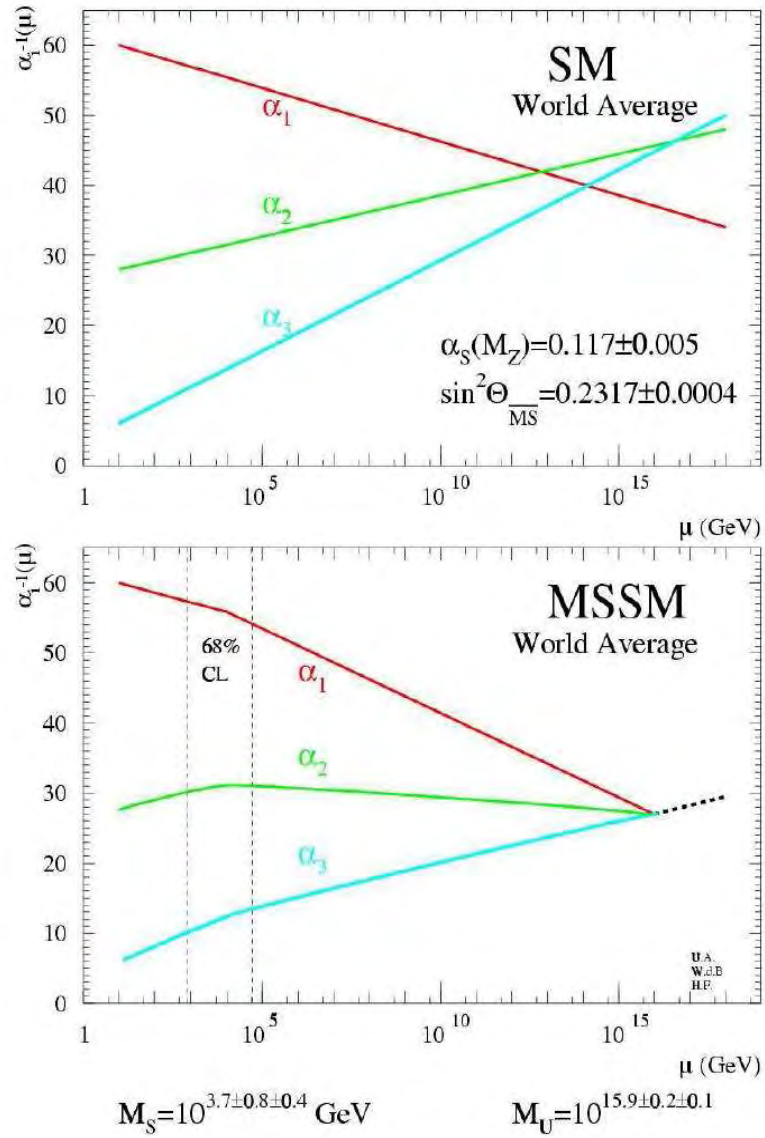


Figure 1–3: Desplazamiento de las constantes de acoplamiento. En teoría SUSY, las constantes de acoplamiento electromagnética (α_1), fuerte (α_3) y débil (α_2) se unen en un sólo punto α_G y la gran unificación es posible

- Los detectores del LHC deben de tener un tiempo de respuesta rápido, de lo contrario la señal del detector sería integrada sobre muchos paquetes y por consiguiente el ‘Pile up’ sería muy grande. El tiempo de respuesta usual está en el rango de 20-50 ns, los cuáles corresponden para integrar 1-2 paquetes y por lo tanto sumar de 25 a 50 ‘minimum bias events’.
- Los detectores del LHC deben tener una lectura de salida externa fina con la finalidad de minimizar la probabilidad de tener presencia de ‘minimum bias events’ en el mismo canal donde hay eventos interesantes. Esto implica tener un número de canales electrónicos bastante grande.
- Los detectores del LHC deben ser resistentes a la radiación por causa del alto flujo de partículas provenientes de las colisiones pp. Este flujo de partículas podría dañar la estructura del detector, reduciendo la cantidad de carga recolectada y conducir eventualmente al deterioro definitivo del detector.

1.3.2 Ruido QCD

El número grande de eventos p_T en los colisionadores de hadrones está dominado por la producción de ‘jet’ QCD. Estos ‘jets’ se originan como resultado de la fragmentación de quarks y gluones en el estado final.

1.4 La búsqueda del bosón de Higgs

Uno de los principales desafíos de la física de altas energías es el entendimiento de la ruptura de simetría electrodébil y el origen de la masa. En el modelo estándar la interacción electrodébil está descrita por una teoría de campo gauge, basado en el grupo de simetría $SU(2)_L \times U(1)_Y$. Las masas pueden ser introducidas por el mecanismo de Higgs. En la forma más sencilla, desarrollada en el modelo estándar, un campo fundamental escalar llena el vacío y adquiere un valor esperado diferente de cero, y la simetría de $SU(2)_L \times U(1)_Y$ es espontáneamente rota hacia la simetría electromagnética $U(1)_{EM}$ [4]. Los bosones gauge y los fermiones obtienen su masa interactuando con éste campo de Higgs. Relacionada con ésta descripción hay una

partícula escalar masiva, el bosón de Higgs. De los datos reunidos de los cuatro experimentos realizados en LEP, la región más inferior para un bosón de Higgs neutro está establecida en 114.4 GeV [5]. Investigaciones sobre el bosón de Higgs también han sido realizadas en el Tevatrón (Fermilab), el rango de sensibilidad de los dos experimentos CDF y DO deberían ser capaces de excluir el bosón de Higgs arriba de $m_H = 130$ GeV [6].

El LHC tendrá varios desafíos que experimentar, ésto por causa del tiempo de colisión entre paquetes de protones bastante pequeño, el cual es de 25 ns, el gran número de interacciones y el elevado flujo de partículas cargadas. El detector de pixeles es una tecnología adecuada para solucionar éstos problemas. Con el fin de disminuir los desafíos técnicos del LHC, el chip de lectura tiene un conjunto de parámetros, los cuáles serán completamente funcionales durante el tiempo de vida del experimento.

La forma como los diseñadores controlan el chip, es contar con varios parámetros que puedan manipular. De ésta manera, se puede ajustar el funcionamiento del detector sobre el tiempo de vida del experimento. Esto es posible mediante el control de varios ‘Digital to Analog Converter’ (DAC). Por lo tanto, es importante entender la funcionalidad y la respuesta detallada de varios DAC, porque ellos son utilizados para ajustar el punto de operación del chip.

CAPITULO 2

OBJETIVOS Y TRABAJOS PREVIOS

2.1 Objetivos

El objetivo principal de ésta investigación fué estudiar el efecto que tienen los DAC : VoffsetRO, VoffsetOP, Vsf y VhlDel sobre la altura del pulso generado (PH), cuando inyectamos carga en el detector. Otro objetivo importante es estudiar el efecto de éstos DAC sobre la linealidad de la distribución resultante.

Los DAC [7, 8], son parámetros internos del chip de lectura, los cuáles se pueden ajustar para tener un buen punto de operación del chip y así obtener un mejor funcionamiento del detector durante el tiempo de vida del experimento.

2.2 Trabajos previos

Estudios previos acerca del efecto de varios DAC, sobre la altura del pulso, fueron realizados por Sarah Dambach [9]. Las principales motivaciones en sus estudios fueron: Maximizar la resolución de carga depositada en el pixel y reducir el número de parámetros de ajuste para la calibración de la altura del pulso. La gráfica 2-1, muestra la dependencia de la altura del pulso generado (PH) en función de la carga inyectada (VCal) en el pixel. A ésta dependencia la llamaremos PH vs VCal. Estudios de calibración para el detector fueron realizados en el ‘Test Beam’ en Fermilab. Los mismos dieron como resultado, en el rango pequeño (0-280mV), que: 1 unidad ADC = 60 electrones [10], [11], [12].

El estudio de PH vs VCal, nos permite conocer la respuesta del detector cuando le inyectamos carga de calibración de diferentes magnitudes. Podemos observar también en la grafica 2-1, que el detector presenta básicamente dos regiones de

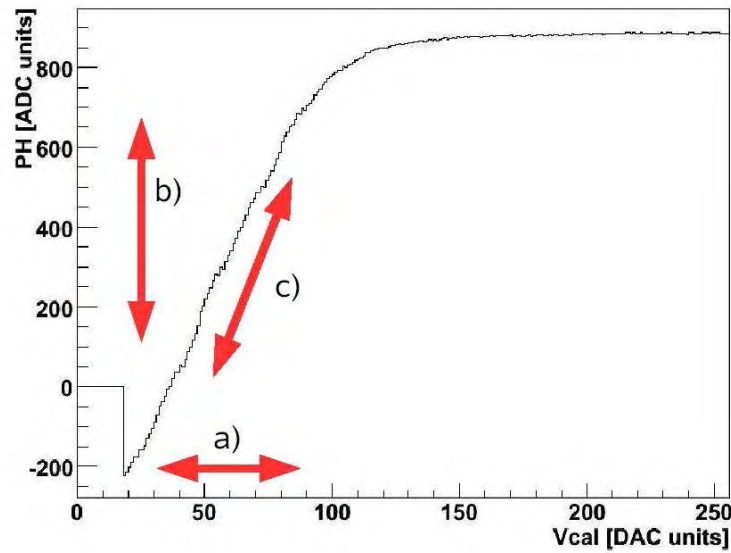


Figure 2-1: Regiones de linealidad

respuesta distinguibles. Una de ellas es la región de respuesta lineal, la cual estudiaremos, y la otra es la región de saturación. En la región de respuesta lineal podemos realizar tres medidas de longitud.

Estas medidas son:

- a) longitud del rango lineal en la dirección de Vcal,
- b) longitud del rango lineal en la dirección PH y
- c) longitud de la parte lineal en la distribución.

En ésta misma figura 2-1, observamos que la región lineal comienza con valores bajos de Vcal (aproximadamente 20). La región lineal continua hasta valores de VCal cercanos a 100. Para valores más altos de Vcal se tiene saturación.

En las figuras 2-2 y 2-3, observamos la respuesta del detector para diferentes cargas de calibración y para valores de los DAC VoffsetOP y VoffsetRO diferentes en cada prueba. VoffsetOP y VoffsetRO controlan la amplificación de la altura del pulso (PH).

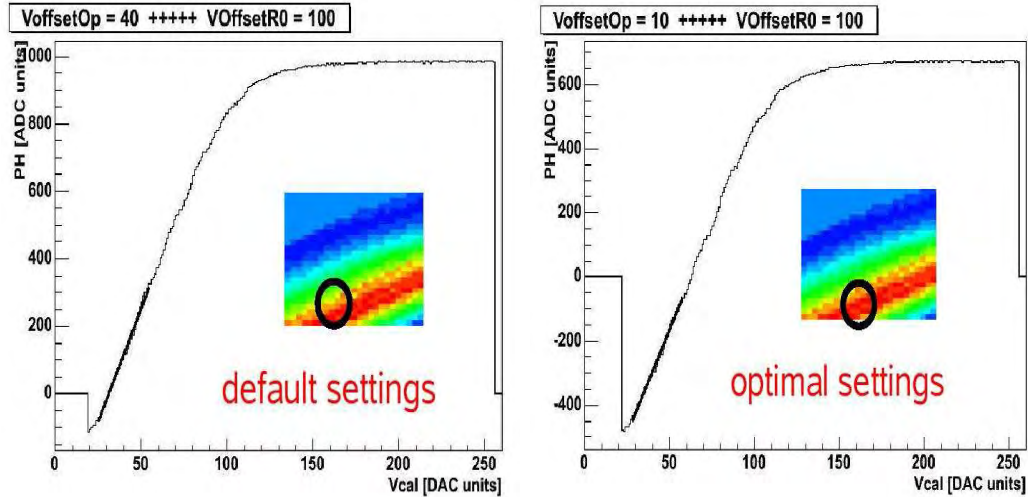


Figure 2-2: PH Vs Vcal para diferentes valores de VoffsetOP

En la parte izquierda de la figura 2-2, vemos la gráfica de PH en función de Vcal. Aquí se fijó VoffsetOP=40 y VoffsetRO=100. En la parte derecha, vemos la gráfica para VoffsetOP=10 y VoffsetRO=100, los cuáles son óptimos por el incremento en la altura del pulso observado.

La figura 2-3, nos permite observar claramente las diferencias existentes entre dos ajustes bastante diferentes para VoffsetOP y VoffsetRO. Aquí, la región lineal y la altura del pulso son afectados significativamente.

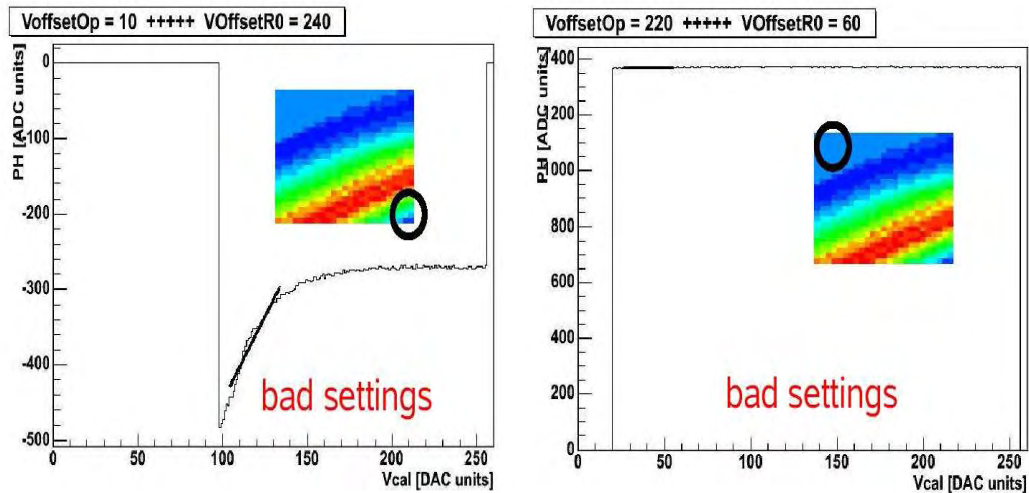


Figure 2-3: PH vs Vcal: Malos ajustes

Los cuadros en medio de cada gráfica (figuras 2-2 y 2-3), nos permiten observar la ubicación de los valores ajustados en un 'scan' entre VoffsetOP y VoffsetRO.

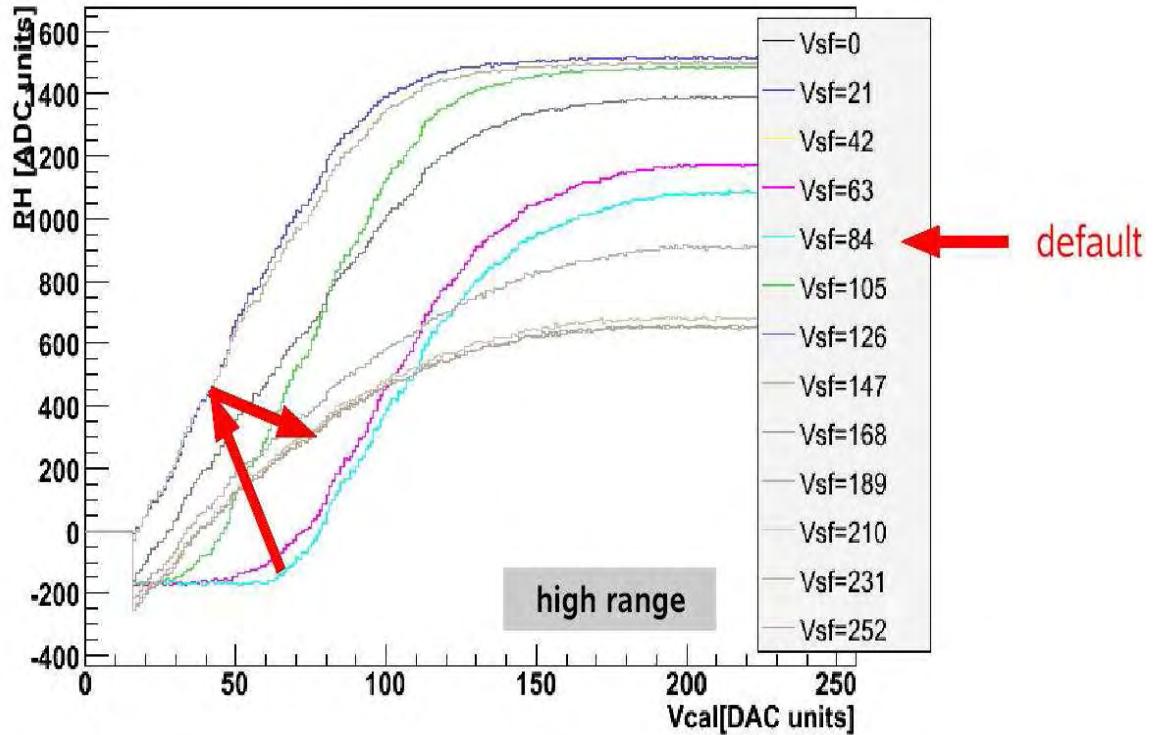


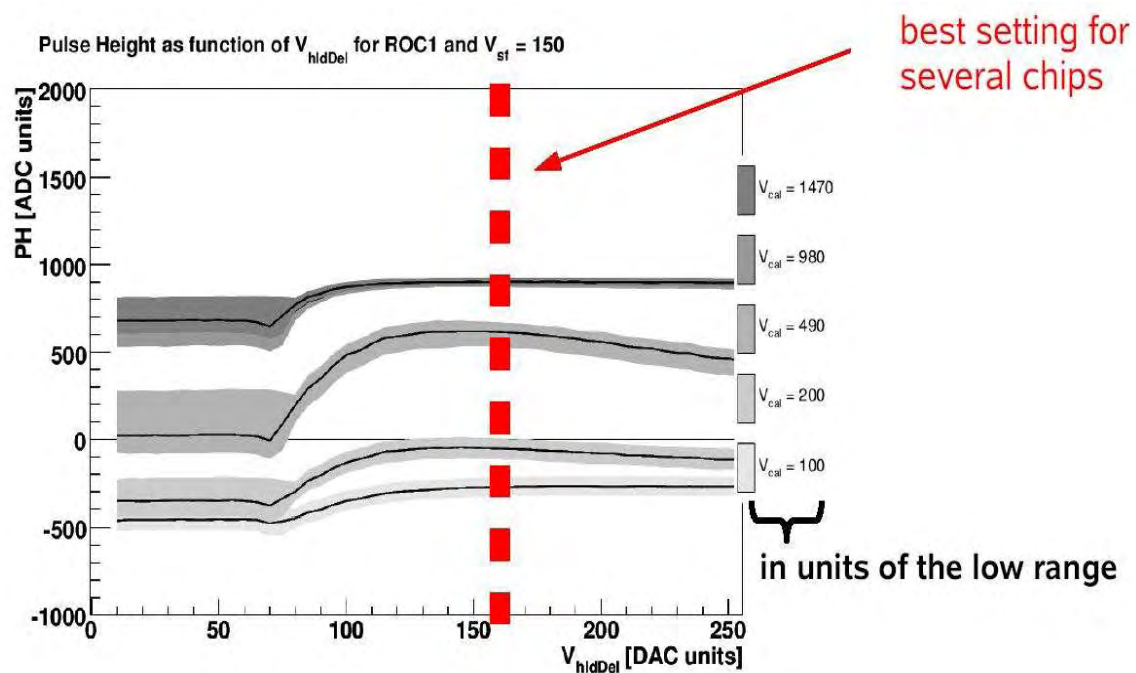
Figure 2-4: Efecto de Vsf sobre PH

- **Estudio de Vsf**

El efecto del DAC Vsf, sobre la altura del pulso (PH), se observa en la figura 2-4. Esta gráfica nos permite observar, como cambia la pendiente y la altura del pulso generado para diferentes valores del DAC Vsf. Vsf tiene una fuerte influencia sobre la linealidad en las regiones bajas de Vcal.

- **Estudio de VhlDel**

La altura del pulso como función del DAC VhlDel (PH vs VhlDel), se observa en la figura 2-5. Esta distribución es hecha para diferentes valores de Vcal. Aquí, se encuentra que un ajuste óptimo para VhlDel es alrededor de 160. En esa región la gráfica es plana y se puede distinguir los diferentes valores de Vcal.

Figure 2-5: PH Vs V_{hldDel}

CAPITULO 3

MODULOS Y LECTURA ELECTRÓNICA

3.1 El ‘Compact Muon Solenoid’: CMS

CMS es un detector de propósito general. Está diseñado para correr a alta luminosidad, pero también está diseñado para realizar estudios con luminosidad inicial más baja. Su diseño está optimizado para descubrir el bosón de Higgs a través del rango completo de masa permitido por la teoría y por el límite experimental ya alcanzado. Podemos resumir las principales tareas a cumplir por CMS en los siguientes puntos:

- Óptima identificación de muones y resolución de momentum sobre un amplio rango de momentum en la región de pseudorapidez $|\eta| < 2.5$
- Óptima resolución de momentum de partículas cargadas y reconstrucción eficiente en el rastreador interno.
- Óptima resolución de energía electromagnética, buena resolución de masa de difotones y dielectrones.
- Medidas de la dirección de fotones y/o determinar la correcta localización de vértices de interacción primaria.

Finalmente, CMS tendrá la capacidad de contribuir significativamente a estudios sobre violación CP en los sistemas de mesones B. Realizará medidas de alta precisión sobre la Física del modelo estándar, e investigará el plasma de quark-gluón en corridas para iones pesados.

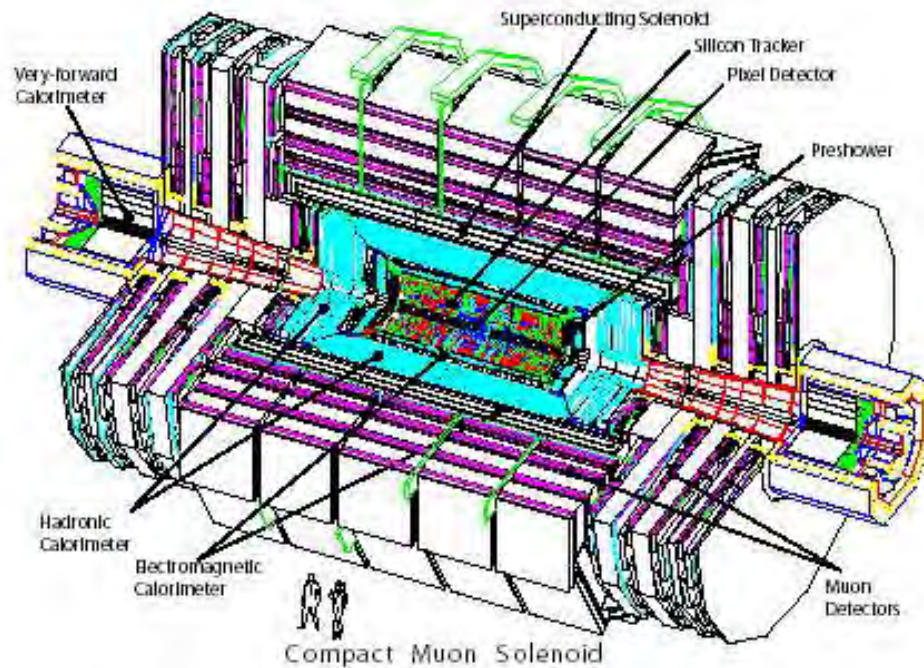


Figure 3–1: Vista completa de CMS

3.1.1 CMS Concepto global

Uno de los principales requerimientos de CMS, es entregar óptima resolución de momentum para muones, lo cual es posible cuando se tiene la capacidad de curvar la trayectoria de las partículas. Esto se logra con el uso de tecnología de superconductores para los magnetos. El esquema del detector CMS, se muestra en la figura 3–1.

Las dimensiones globales del detector CMS son de 21.6 metros (largo) $\times$ 14.6 metros (diámetro), con un peso total de 12500 toneladas. Un campo magnético de 4T es creado por un solenoide superconductor de 13 metros de largo y 5.9 metros de diámetro interno. Los yugos de retorno de hierro están en el exterior del solenoide, y están equipados con cuatro cámaras de muones. En el interior del solenoide, yendo desde el solenoide hasta la línea del haz, se encuentran el calorímetro hadrónico (HCAL), el calorímetro electromagnético (ECAL) y el rastreador.

El HCAL mide la energía de los hadrones, con buena granularidad transversa y cubrimiento $|\eta|$. El ECAL está adecuado para medir la energía de fotones

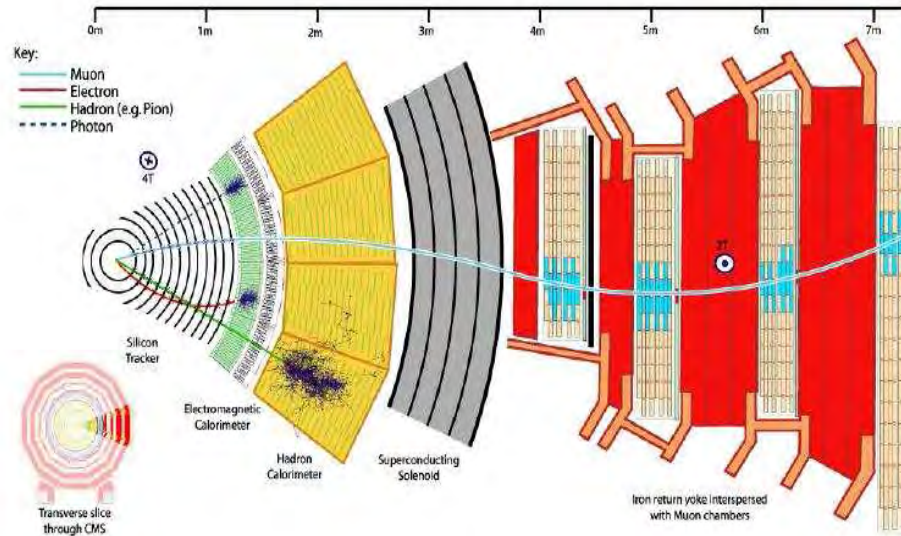


Figure 3–2: Vista transversal del detector CMS con un trayectoria de muón atravesando los detectores que lo conforman

y electrones con gran aproximación. Localizado en la parte interna del ECAL se encuentra el rastreador, el cual está compuesto por detectores de tiras de Silicio y detectores de pixeles. Actualmente el rastreador de CMS provee relativamente pocos puntos por trayectoria. El punto destacable tiene que ver con que éstos puntos son medidas que tienen gran precisión. El detector de pixeles es el detector más interno de CMS. La figura 3–2, presenta en una vista transversal de las diferentes partes que conforman el detector CMS.

3.2 El detector de pixeles

La función del detector de pixeles es esencialmente reconstruir vértices secundarios de los decaimientos de b y τ . También debe formar trayectorias iniciales para la reconstrucción de la trayectoria exterior. El detector de pixeles consta de 3 capas de barril, con 2 tapas sobre cada lado del barril [13], figura 3–3. La 3 capas de barril están localizados a un radio medio de la línea del haz de 4.4, 7.3 y 10.2 cm respectivamente, y tienen una longitud de 53 cm. El barril está compuesto de 768 módulos de pixeles colocados en forma escalonada.

Las tapas están ensambladas en una geometría semejante a una turbina con hélices ('blades') rotados 20° para beneficiar el efecto de Lorentz. Las tapas están

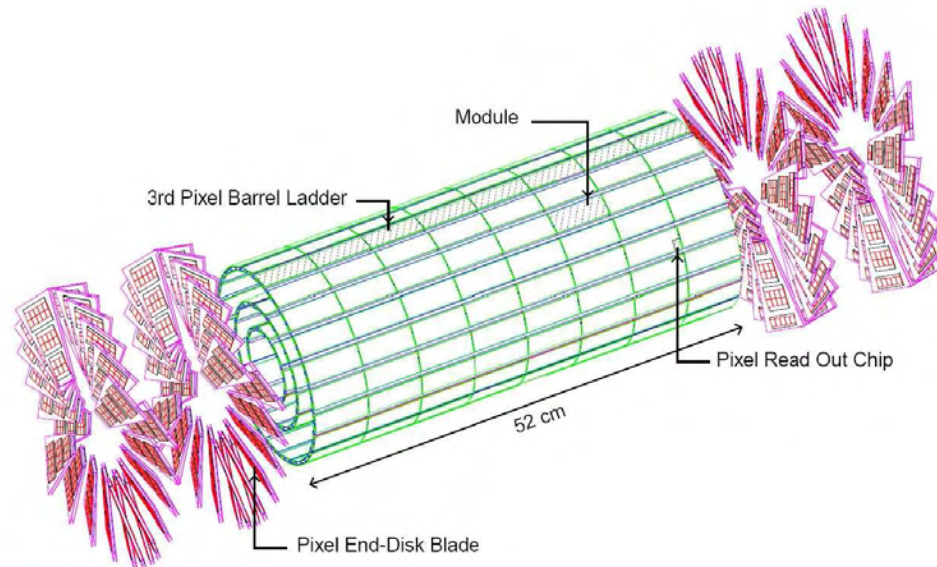


Figure 3–3: Detector de pixeles

compuestas de 672 módulos de pixeles con 7 módulos de diferentes tipos sobre cada hélice. La lectura del detector se realiza utilizando aproximadamente 16000 chips de lectura, los cuáles están unidos a los módulos detectores con una técnica llamada ‘bump-bonded’.

3.2.1 La Plaqueta

El módulo detector básico es llamado plaqueta. Este puede estar compuesto de diferentes arreglos de pixeles. Un único arreglo de pixeles tiene 52 columnas $\times$ 80 filas. La plaqueta es una estructura multicapas que es ensamblada siguiendo muchos pasos. Este consiste de un sensor, chips de lectura (ROC) y un circuito flexible con muy alta densidad de interconexiones llamado (VHDI), unido a una placa fina de Silicio, como se muestra en la figura 3–4 [14]. En el lado posterior de la plaqueta hay conexiones de alta densidad (HDI) que contienen el chip administrador de señales (TBM) [15], el cual controla la transmisión de datos y los chips de lectura.

La conexión entre los ROC y los VHDI y entre los VHDI y los HDI está hecha con una técnica llamada ‘wire bonding’, tal como se observa en la figura 3–5.

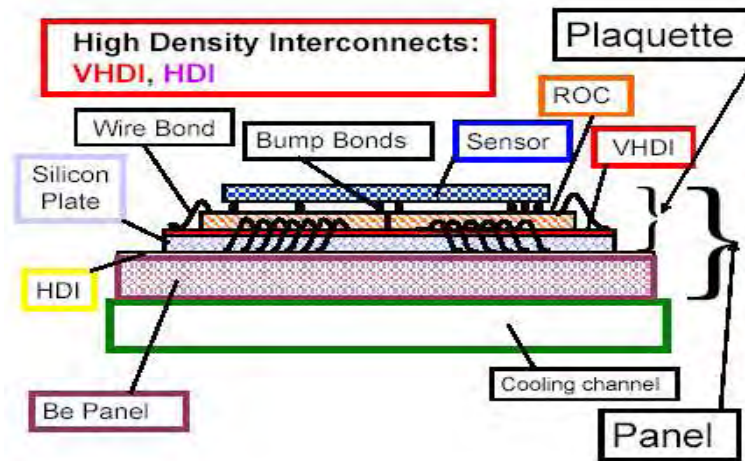


Figure 3-4: Plaqueta (Estructura Multicapas)

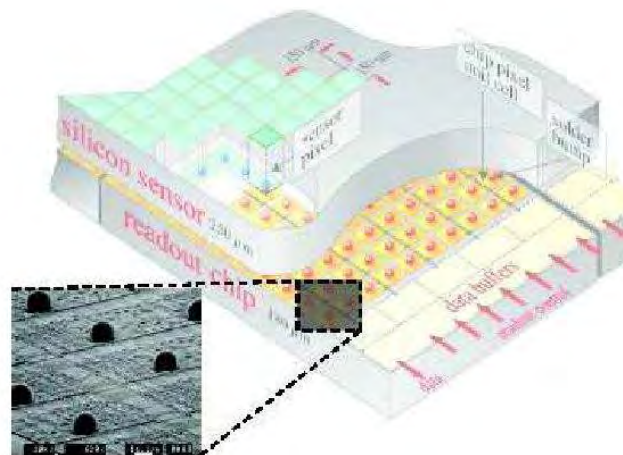


Figure 3-5: Sección de un detector de pixeles. El sensor es 'Bump Bonded' sobre el chip. Los 'bumps' de Indio son mostrados en una fotografía electrónica

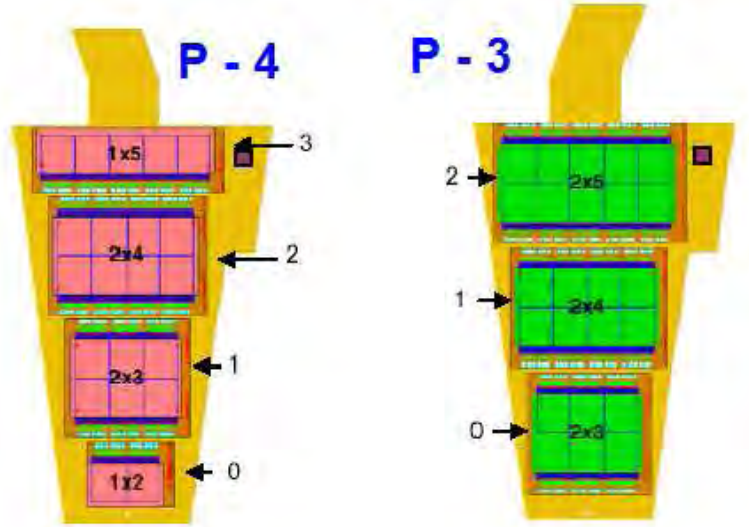


Figure 3-6: Dos paneles del detector de pixeles de CMS

3.2.2 El Panel

Las plaquetas están unidas en grupos de 3 ó 4 sobre una componente del detector que se llama panel. La figura 3-6 muestra dos paneles con diferentes plaquetas sobre ellas. La figura 3-7 muestra un panel con todas las plaquetas. Dos paneles forman una hélice ('blade'). Las hélices son elementos básicos para construir las tapas del barril del detector de pixeles. Un total de 24 hélices conforman uno de los discos.

Los HDI distribuyen la energía hacia los chips y constan de condensadores de filtro para la energía, monitores de temperatura y transistores de efecto campo sensitivos a la radiación.

La temperatura de operación del detector de pixeles es de $T = -10^{\circ}C$, con el líquido de enfriamiento en aproximadamente $T = -20^{\circ}C$. El sistema de enfriamiento está ubicado entre los dos paneles que forman una hélice. Hay en total 4320 ROC sobre todas las plaquetas y cada ROC tiene 4160 pixeles. Las pruebas de las plaquetas y paneles deber ser realizadas en forma rigurosa para asegurar que solamente módulos buenos serán utilizados en la construcción final del detector [16].

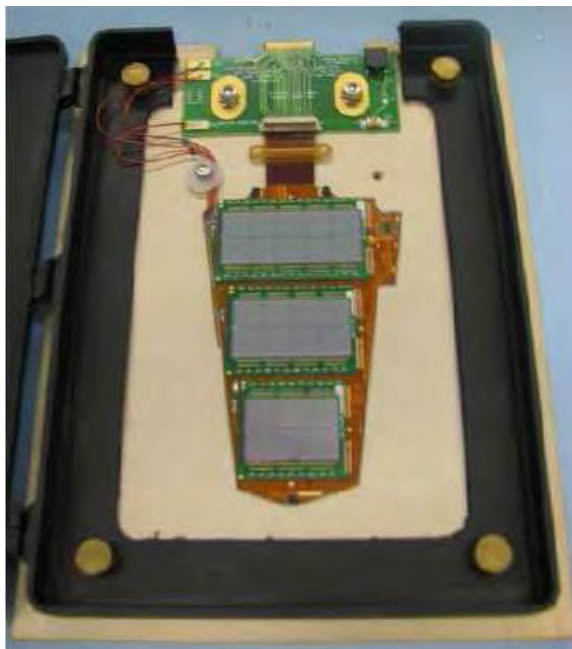


Figure 3-7: Un Panel 3R con plaquetas reales

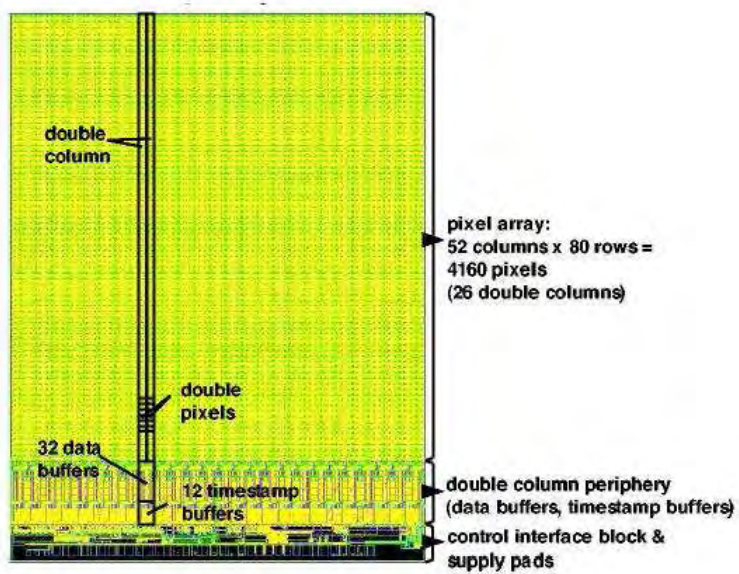


Figure 3-8: Capa del chip de pixeles

Table 3–1: Características del chip PSI46

Características	PSI46
Tecnología	0.25 μm bulk CMOS
Tamaño del chip	$7.9 \times 9.8 \text{mm}^2$
Número de transistores	1280k
Número de pixels	4160 (80×52)
Tamaño del pixel	$100\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$
Voltaje	2.5 V, 1.5 V
Disipación de energía	120 mW

3.3 El Chip de lectura: PSI46

Los chip de lectura están organizados en columnas dobles. Se tiene un total 26 columnas dobles por cada chip. Cada columna doble consiste de un grupo de 160 pixeles. La figura 3-8 muestra el chip de pixeles. La producción del chip de lectura de CMS, PSI46, es desarrollada en una tecnología CMOS de 0.25 μm [17] y tiene las características indicadas en la tabla 3-1.

Al final de las columnas dobles hay una pequeña sección conteniendo electrónica usual, como reguladores de energía, ‘wire bond’ y una interface serial rápida para la configuración del chip. También se encuentran aquí almacenadores intermedios de datos para el control lógico de las columnas.

Cada célula de pixel contiene un bloque análogo, el cual amplifica la carga recolectada en el área del sensor proveniente de las partículas interactuantes. Este bloque análogo consta de un pre-amplificador/formador, un mecanismo para mantener la muestra y un comparador con un umbral ajustable. Además del bloque análogo, hay un bloque digital para realizar un ajuste fino del umbral y un mecanismo de calibración para inyectar carga dentro del pre-amplificador.

3.3.1 Mecanismo de lectura para las columnas

A la luminosidad proyectada de $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{seg}^{-1}$, el promedio de trayectorias esperado es del orden de 3×10^{10} trayectorias por segundo. Esto significa que el detector de vértice de pixeles tendrá que grabar datos a una velocidad de varios Terabit por segundo, almacenar y eventualmente leer los mismos [18]. La idea

básica del proceso de lectura es copiar todos los ‘hits’ que ocurren en un pixel de la columna doble, hacia la periferia de la columna tan rápido como sea posible con el propósito de dejar libre el pixel para el siguiente ‘hit’ [19]. Cada doble columna está equipada con una columna OR, la cual informa inmediatamente a la periferia de la columna de cualquier partícula que atravesase una doble columna. Una vez que un ‘hit’ es registrado por la columna OR, un ‘token bit’ corre hacia arriba y hacia abajo de la doble columna e inicia la transferencia de información desde el ‘hit’ de pixel hacia la periferia. La información del ‘hit’ es almacenada en la periferia de la columna hasta que el tiempo de decisión del ‘trigger’ ha pasado.

3.3.2 Diseño de la periferie de la columna

El concepto de lectura de las columna está basada en la inmediata transferencia de datos desde las células de pixel hacia la periferia de las columnas. Estas controlan interactivamente la transferencia de datos a lo largo de las columnas. La periferia de la columna realiza las siguientes tareas básicas :

- Grabar ‘time stamp’.
- Organizar la lectura de los ‘hits’ en las células de pixel.
- Recepcionar ‘hits’ de pixeles, la dirección de los mismos y guardarlos en un almacenador intermediario de datos.
- Marcar los ‘time stamp’ confirmados y limpiar los no confirmados,
- Preparar y almacenar datos de ‘hits’ confirmados para el chip de lectura.

3.3.3 Lectura de datos

El chip ‘Token Bit Manager’ (TBM), controla la lectura de varios ROC que se encuentran unidos en una cadena (figura 3–9). El TBM distribuye el primer nivel de disparo (1LT) hacia los ROC, al mismo tiempo envía un ‘token’ hacia el primer ROC de la cadena. El ‘token’ es pasado entonces de ROC a ROC. La labor del ‘token’ es buscar y recolectar datos confirmados 1LT, luego de ésto organiza el proceso de lectura del chip hacia el bus de datos análogos.

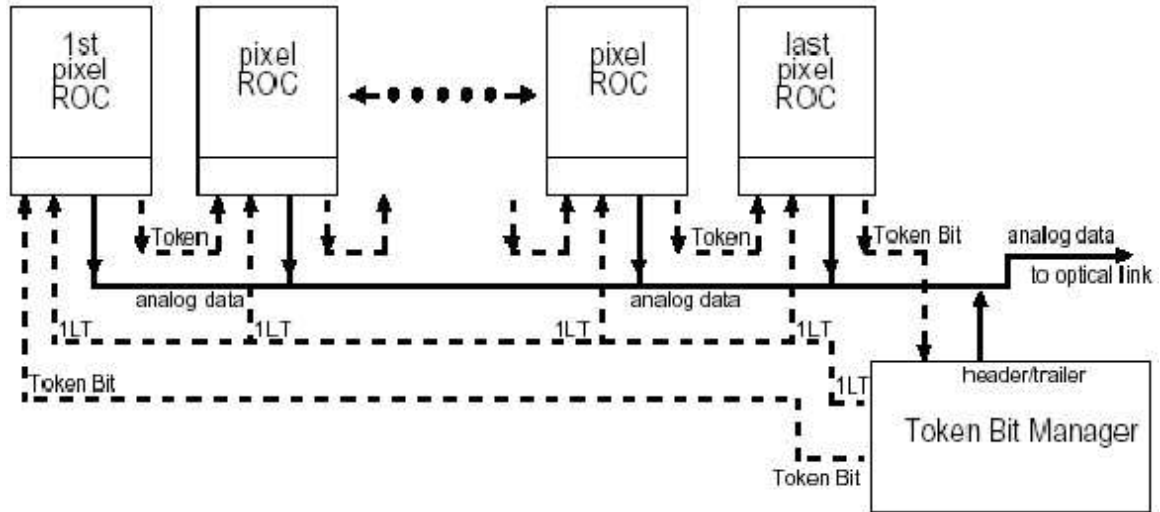


Figure 3-9: Lectura en cadena

La salida del TBM es un cadena de señales análogas sincronizadas a 40 MHz, delimitadas claramente por una cabecera y un ‘trailer’. Cada ROC comienza enviando una cabecera de tres ciclos, cuando recibe un ‘token’ previo. Mientras la cabecera es transmitida, el ‘token’ es pasado a través del chip buscando una columna doble que está esperando por este ‘token’. La longitud de la cabecera es suficiente para ir a través de las 26 columnas dobles si fuese necesario y entonces pasar el ‘token’ en el tiempo correcto hacia el siguiente chip.

La cabecera comienza con una señal completamente ondulada fuera del rango usado para los datos del píxel (‘ultra-black’), seguido por un arbitrario pero bien definido nivel (‘black’). Esta secuencia distingue claramente el inicio de la cabecera de un nuevo chip en la secuencia de niveles análogos. El tercer ciclo de la cabecera puede contener un nivel representando el valor del más reciente DAC programado (‘last-DAC’). Cuando una columna doble no tiene datos para un ‘token’, el siguiente chip continuara inmediatamente. De otra manera, una secuencia de seis ciclos es enviada para cada ‘hit’, como se observa en la figura 3-10. Dos valores representan la dirección de la columna doble en código análogo (C1 y C0). Tres valores identifican la dirección del píxel en el interior de la doble columna (A2, A1 y A0) y el último valor es la altura del pulso análogo (PH). La señal está compuesta por seis

niveles análogos distintos, con los cuáles se codifica información digital específica tal como columna/fila. Estos niveles deben estar correctamente calibrados con el fin de identificar los datos claramente.

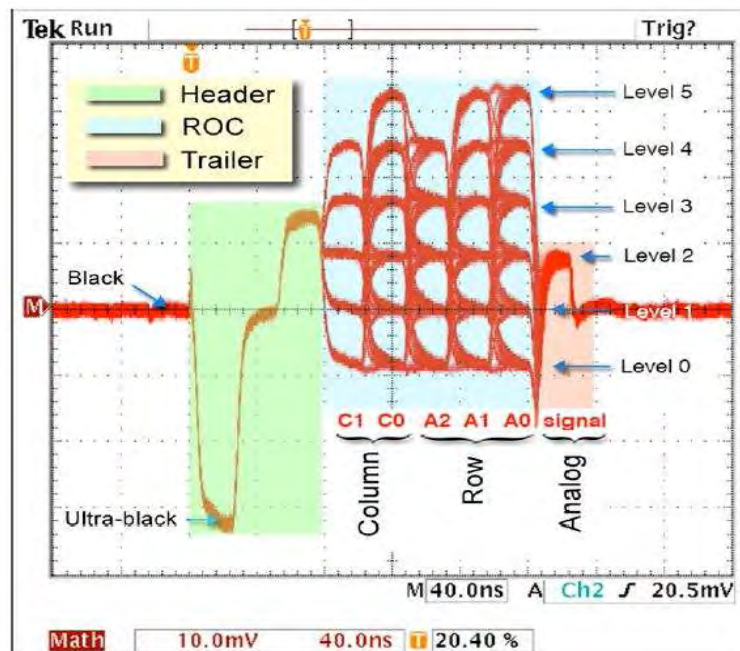


Figure 3–10: Composición de la señal proveniente del sensor vista en el osciloscopio

CAPITULO 4

EL EXPERIMENTO

Esta investigación sobre la respuesta del detector de pixeles fue realizada durante la segunda mitad del 2006 en Fermilab, Chicago (USA). El detector que utilicé para estos experimentos, P2X4Bwp05C (v2 RTI) fue una plaqueta compuesta por 8 chips de 80 filas x 52 columnas cada una. Esta plaqueta fue utilizada en todas nuestras pruebas. En éste capítulo se presenta la configuración experimental y el sistema de adquisición de datos utilizado.

4.1 Configuración experimental

Las pruebas fueron realizadas en las instalaciones del laboratorio de detectores de Silicio (SIDET) en Fermilab. Se inyecta carga al detector de pixeles y se cambian las condiciones de prueba cada vez que fue necesario. Los equipos de experimentación con que cuenta SIDET permitieron realizar diferentes tipos de pruebas a las que el detector fue expuesto. La estación donde se realizaron las pruebas se denominó Setup1. Esta estación cuenta con un conjunto de dispositivos que permiten controlar y modificar las condiciones de prueba. En ésta estación fue posible, mediante el uso de ‘scripts’, realizar pruebas adicionales sobre el estado del sensor como:

‘Pixel alive’ : Inyecta carga en cada pixel y determina el estado del sensor.

‘Bump Bound’ : Esta prueba encuentra malos/perdidos ‘bump bonds’.

‘I-V Curve’ : Encuentra la corriente de carga versus el voltaje para el sensor.

Los dispositivos electrónicos utilizados en nuestra estación de pruebas (Setup1), son los siguientes:

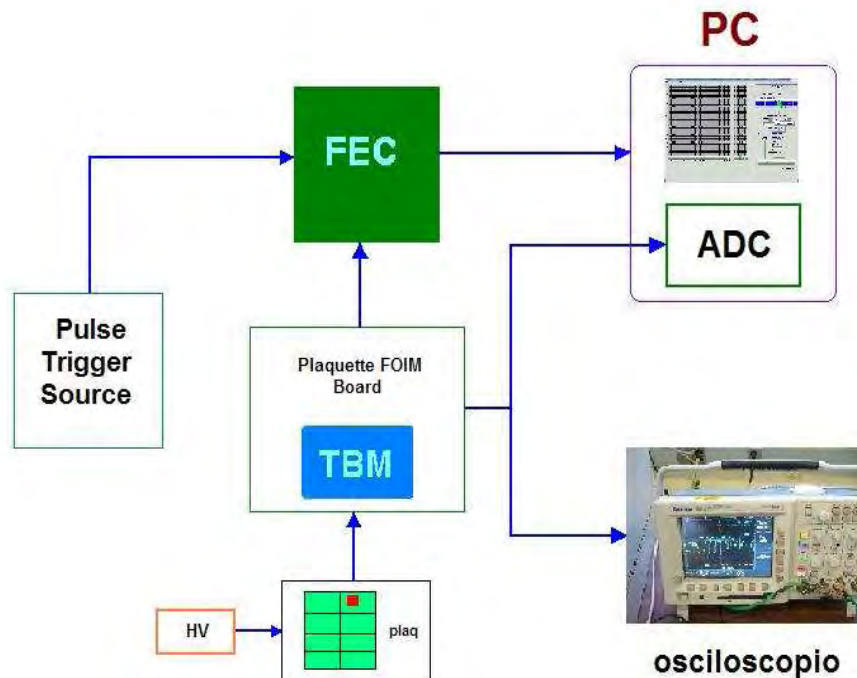


Figure 4–1: Representación esquemática del detector bajo prueba, conexiones necesarias para la realizar la inyección de carga y equipos electrónicos utilizados

- Un computador
- Una tarjeta de lectura electrónica ‘Front End Controller’ (FEC).
- Una tarjeta TBM-ADC de 8 bit: 20 MHz-Cyber Research PCI DAQ 2012.
- Un osciloscopio: TDS 3054B de cuatro canales a color, 500 MHz y 5GS/s DPO.
- Una fuente de bajo voltaje: DC E3648A, salida Dual de 0-8V, 5A/0-20V, 2.5A
- Un controlador de Peltier: Dispositivo utilizado para incrementar o disminuir la temperatura de prueba
- Un chiller: Dispositivo utilizado para quitar el calor generado por el Peltier.
- Una fuente de voltaje para el Peltier: 0-18V, 0-10A.
- Una caja de enfriamiento: Utilizada para aislar el detector bajo estudio.
- Una fuente de alto voltaje: Salida máxima de 1100V/mA.

La figura 4–1, muestra un diagrama de todos los equipos utilizados en nuestra investigación.

La estación completa Setup1 (figura 4–2) y varios dispositivos electrónicos utilizados, (figuras 4–3, 4–4 y 4–5), se encuentran interconectados simultáneamente y

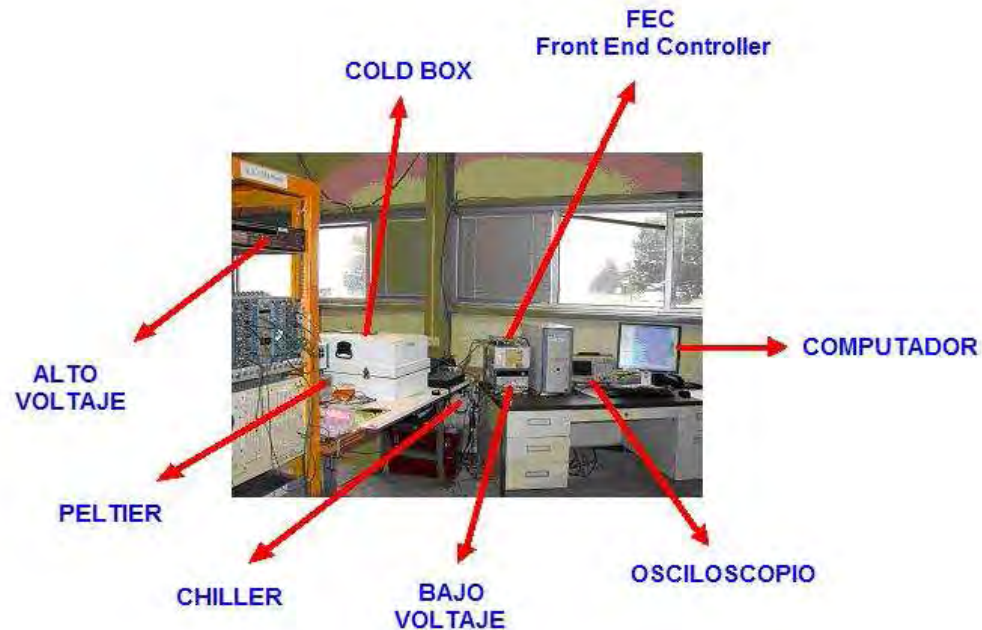


Figure 4-2: Setup 1

requieren de un cuidadoso y experimentado monitoreo durante la realización de los experimentos.

La plaqueta utilizada, la cual consta de ocho ROCs, fue ubicada en el interior de la caja de enfriamiento, como se muestra en la figura 4-3. Durante la pruebas, inyectamos carga sólo a uno de los 8 sensores que conforman la plaqueta.

La plaqueta ubicada en el interior de la caja, está conectado a una tarjeta TBM-ADC. Esta se encarga de procesar toda la información proveniente del pixel bajo estudio. Otra conexión importante es la de alto voltaje (HV), la cual puede ajustarse a cualquier valor requerido. Para nuestro experimento fue de $HV = -200$ Voltios. Finalmente, se tiene una conexión para el 'RTD', el cual es un dispositivo que se encarga de monitorear la temperatura del detector.

La figura 4-4 muestra la señal originada en el osciloscopio y la respuesta del chip utilizado (chip 5), así como la dirección del pixel en estudio. Aquí observamos solo un 'hit', el cual fue siempre el mismo para todas las pruebas realizadas.

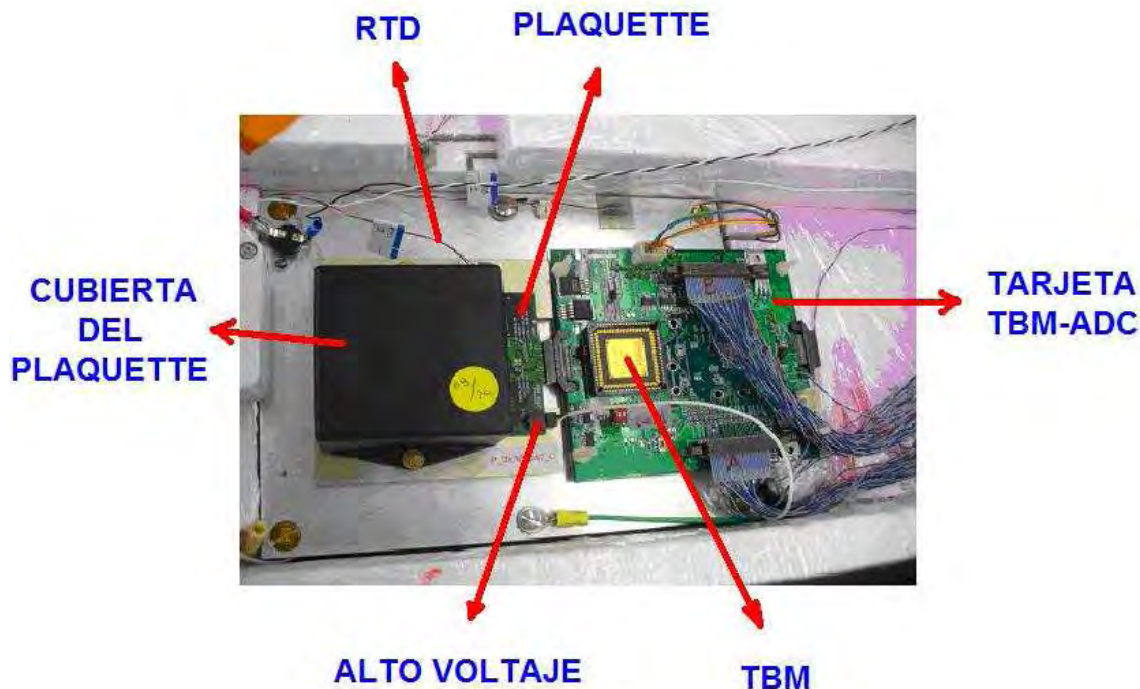


Figure 4-3: Plaqueta en el interior de la caja de enfriamiento

En la figura 4-5 se observa parte de la estación de pruebas setup1. Aquí observamos en el osciloscopio, la señal proveniente del pixel y las gráficas obtenidas en ‘ROOT’ mediante el uso de ‘scripts’.

La ubicación exacta del pixel bajo estudio se muestra en la figura 4-6, donde elegimos la doble columna 23, columna 47 y la fila 56.

Los diferentes DAC del chip de lectura, se pueden observar en la figura 4-7.

Cosmo, el cual es un programa gráfico que se utiliza para ajustar parámetros del ROC y del TBM, utiliza una tarjeta FEC, el cual es un elemento esencial de la electrónica ‘front-end’ del detector de pixeles de CMS.

El FEC suministra información acerca del ‘clock’ y del ‘trigger’, y provee una ruta de datos hacia el ‘front-end’ para la configuración de los ajustes. También tiene que ser capaz de generar la inicialización necesaria y el configuración de los comandos, además proveer los medios para el monitoreo y diagnóstico de los dispositivos electrónicos del ‘front-end’.



Figure 4-4: Señal proveniente del detector observada en el osciloscopio



Figure 4-5: Señal en el osciloscopio y gráficas en 'ROOT'

La salida del chip TBM está digitalizado por un ADC externo de 8 bit. El sistema de adquisición de datos (DAQ), corre en una PC y esta implementado en un programa C++. Los principales pasos seguidos para realizar nuestras pruebas fueron los siguientes :

- Ajuste de los DACs

El control de los DAC es posible mediante el uso de un sofisticado 'Graphical User Interface' (GUI). Como se ve en la figura 4-7, se tiene el control completo de los DAC, los cuáles pueden ser ajustados a los valores requeridos antes de realizar una determinada prueba. La figura 4-8 muestra una lista de los DAC. Aquí, encontramos sus nombres, unidades, número de bit, y valores recomendados entre sus características de operación más importantes.

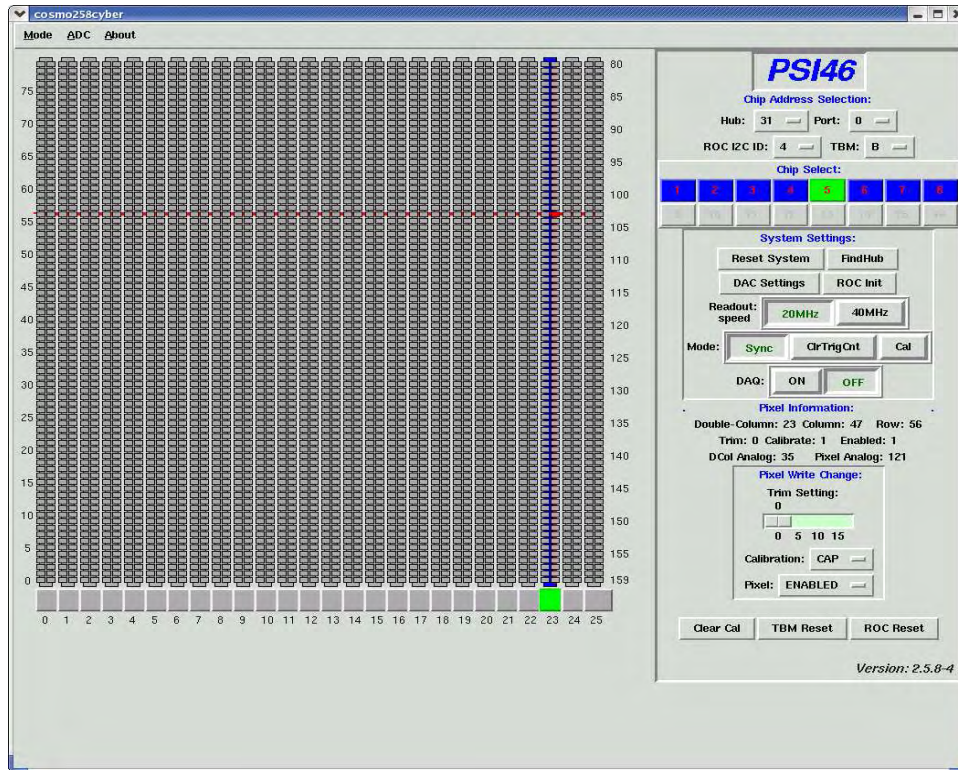


Figure 4-6: ‘Hit’ sobre el sensor

- Inyectar carga

Una vez inicializado el ROC en estudio es posible elegir cualquier pixel y estudiar su respuesta. Es posible estudiar desde 1 hasta 4160 pixeles, los cuáles conforman un ROC. El chip y la dirección del ‘hit’ bajo estudio es el siguiente: ROC5, doble columna 23, columna 47 y fila 56.

- Correr el ‘script’

Los ‘scripts’ son instrucciones detalladas sobre el modo de cómo tomar datos. Cada prueba a la que es sometido el detector requiere un script distinto.

PSI46 Pixel Chip DAC Settings

Supply:

Vana (1075 mV) 8bit
140

Vsf (1552 mV) 8bit
128

Vcomp (2100 mV) 4bit
15

Vdd (1860 mV) 4bit
6

Analog PUC:

Vleak_comp (-700 mV) 8bit
0

VrgPr (0 mV) 4bit
0

VwllPr (610 mV) 8bit
35

VrgSh (0 mV) 4bit
0

VwllSh (610 mV) 8bit
35

VHldDel (-1147 mV) 8bit
90

Vtrim (-1065 mV) 8bit
29

VthrComp (-1288 mV) 8bit
60

Pixel Readout:

VIBias_Bus (1.4 uA) 8bit
30

Vbias_sf (20 uA) 4bit
6

Double Column Readout:

VoffsetOp (1078 mV) 8bit
40

VlbiasOp (9.0 uA) 8bit
115

VoffsetRO (1254.9 mV) 8bit
130

Vlon (45.1 uA) 8bit
115

Chip Readout:

Vlbias_PH (10.6 uA) 8bit
90

lbias_DAC (7.5 uA) 8bit
96

Vlbias_roc (12.5 uA) 8bit
160

Fast Trigger:

VIColOr (77.6 uA) 8bit
99

Vnpix (0.0 uA) 8bit
0

VsumCol (0.0 uA) 8bit
0

Others:

VCal (212 mV) 8bit
30

VCal Range: 0 - 1800mV

CalDel (107.9 nsec) 8bit
90

Temp_Range (-50 C) 4bit
0

Digital Register:

WBC (trigger latency):
130 + - Set WBC
ROC Reset

FEC Register:

Calibrate latency:
135 + - Set
enabled

Set displayed DAC values

Load DACs from file

Save DACs to file

Set DAC defaults

Chip ID:4

Figure 4-7: DACs y 'registers'

Name	addr	unit	# bits	Min Value	Max Value	Recomm. DAC Value	Keyword
Voltage Regulators							
Vdd	1	mV	4	1700	2100	6	Votage regulator
Vana	2	mV	8	800	1300	140	Votage regulator
Vsf	3	mV	8	1000	2100	255	Votage regulator
Vcomp	4	mV	4	1800	2100	15	Votage regulator
Analog PUC							
Vleak	5	mV	8	-700	0	0	Sensor leakage current compensation
VrgPr	6	mV	4	0	500	0	Preamplifier feedback
VwllPr	7	mV	8	500	1300	35	Preamplifier feedback
VrgSh	8	mV	4	0	500	0	Shaper feedback
VwllSh	9	mV	8	500	1300	35	Shaper feedback
VHldDel	10	mV	8	-1500	-500	117	Hold delay
Vtrim	11	mV	8	-710	-400	29	Pixel trimming
VcThr	12	mV	8	-1500	-600	60	Comparator threshold
Pixel Readout							
Vlbias_bus	13	μ A	8	0	12	30	
Vlbias_sf	14	μ A	4	0	50	6	Source follower
Double Column Readout							
VOffsetOp	15	mV	8	1000	1500	90	
VbiasOp	16	μ A	8	0	20	115	
VOffsetRO	17	mV	8	1000	1500	76	
Vlon	18	μ A	8	0	100	115	
Chip Readout							
Vlbias_PH	19	μ A	8	0	30	100	Pulse height
Vlbias_DAC	20	μ A	8	0	20	160	Pixel address range
Vlbias_roc	21	μ A	8	0	30	150	Adjust single ended output leve
Multiplicity Trigger							
VIColOr	22	μ A	8	0	200	99	
Vnpix	23	μ A	8	0	70	0	
VsumCol	24	μ A	8	0	150	0	
Others							
Vcal	25	mV	8	0	260/1800	150	Calibrate pulse height, see also section 5.3.5
CalDel	26	nsec	8	55	205		See chapter 7
WBC	254	clocks	8	0	255		Trigger latency
Chip Control Register	253		8				See section 5.3.5

Figure 4-8: Lista de DAC

El script utilizado para realizar las pruebas al detector es el siguiente:

```
set hub 31
set port 0
set chip 5
for {set Vcal 0} {$Vcal < 251} {incr Vcal 4}
{# set Vcal usbroccmd $hub $port $chip 8 #DAC $Vcal 3 0
$takes 100 samples
script_adc_sample 100
}
```

Básicamente, el script realiza lo siguiente:

- Separa en 63 intervalos la región de inyección de carga (Vcal).
- Cada intervalo está separado por cuatro unidades.
- La carga de calibración es inyectada 100 veces en cada intervalo.
- En cada intervalo se obtiene el promedio.
- Se grafica la distribución resultante.

- ROOT

‘ROOT’ es un paquete de análisis de datos escrito en C++, el cual está desarrollado en una estructura orientada a objetos. Ella utiliza funciones y código compilado por el usuario para producir gráficas e histogramas. Una vez corrido el script es necesario hacer uso de ROOT. El script y el programa C++ están estrechamente vinculados.

CAPITULO 5

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En éste capítulo presento las gráficas obtenidas, sobre los estudios de la respuesta del detector cuando le inyectamos carga. Las señales provenientes del detector de pixeles son leídas por los chip de lectura (ROC). El ROC tiene 29 parámetros internos los cuáles son llamados DAC [7]. Cada uno de estos DAC controlan diferentes propiedades de operación del chip y toman valores fijos durante una prueba. En particular, estudiamos los DAC utilizados por el programa desarrollado para realizar las pruebas a todas las componetes que conforman las tapas del barril del detector de pixeles. Este programa se llama Renaissance.

Cada ROC consta de un circuito electrónico interno (figura 5-1), el cual cuenta con tres bloques de control. Estos bloques están compuestos por DAC y controlan diferentes propiedades de operación del chip. El primer bloque es para la célula de pixel o ‘Pixel Unit Cell’ (PUC). Se tiene 4160 por cada Chip. El segundo bloque es para el control de la periferia de las dobles columnas (26 por cada chip). El tercer bloque es para el control y para la interfase (uno por chip).

Los DAC en realidad controlan diferentes propiedades de la señal proveniente del sensor. Controlan entre otras propiedades, la identificación, amplificación, y modulación de la señal.

La posibilidad de inyectar carga de prueba mediante la opción ‘Caldel’, provista en el bloque análogo del PUC, nos permite elegir libremente cualquier posición sobre el sensor y estudiar el estado y la respuesta de los pixeles. Haciendo uso de ésta ventajosa opción de prueba en el laboratorio, simulamos las condiciones de operación

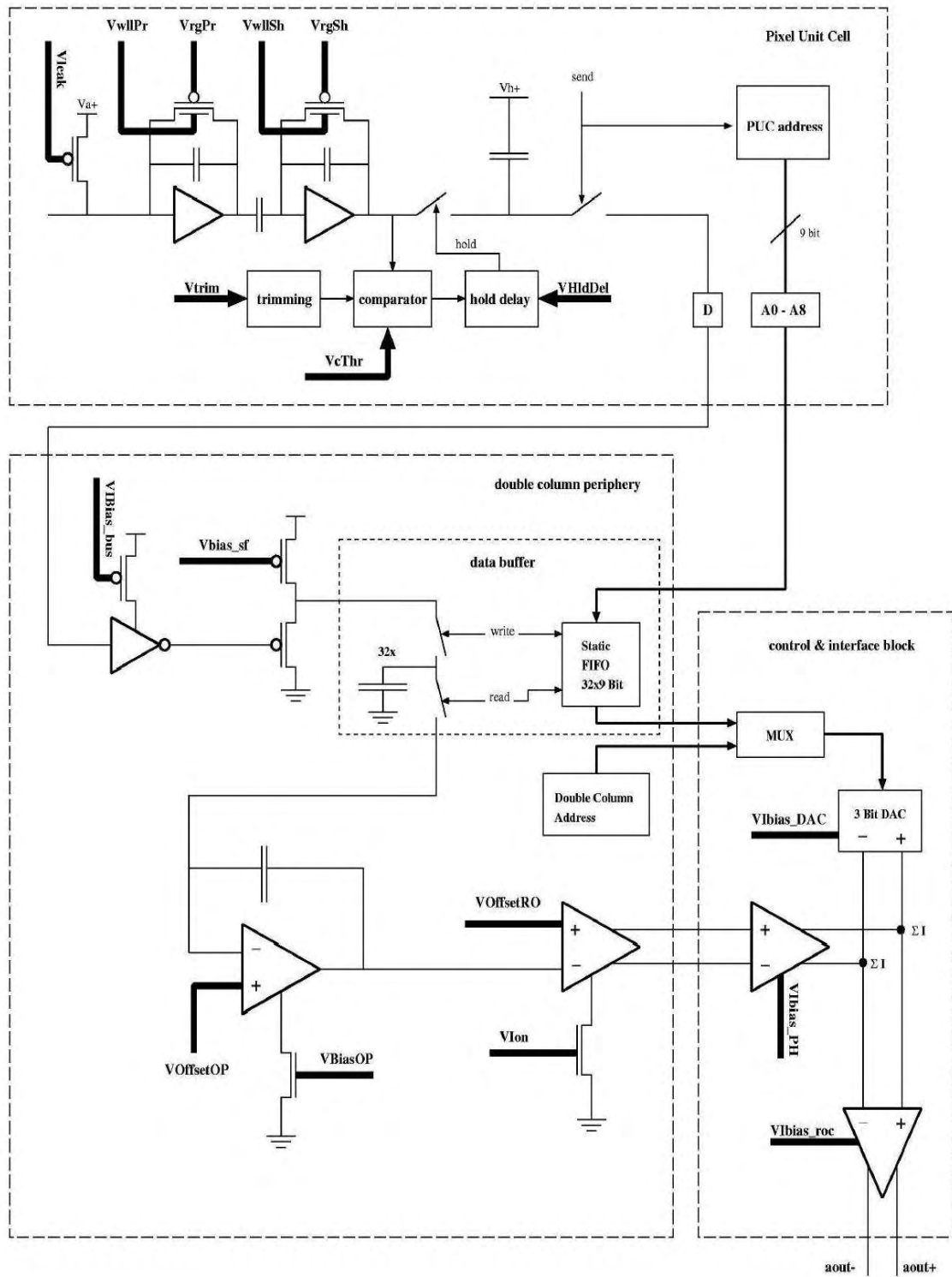


Figure 5–1: Acción de algunos DAC sobre la cadena de señales analógica

del detector y estudiamos su respuesta. Estudiamos el efecto de los DAC sobre la altura del pulso generado (PH) como función de la carga (Vcal) inyectada en el pixel.

En la primera parte estudiamos los DAC: Caldel, VoffsetRO, VoffsetOP, Vsf, Vcal, VbiasPH y Vhldel. En la segunda parte, estudiamos el efecto de los DAC: Vsf, VoffsetOP y VoffsetRO, sobre la altura del pulso generado (PH). En particular estudiaremos el efecto de éstos DAC sobre la linealidad de la distribución PH vs VCal.

Realizamos pruebas con el detector operando a temperatura ambiente y a $T = -10^{\circ}C$, que es la temperatura a la que funcionará el detector de pixeles en el LHC. Por lo tanto, estudiamos también el efecto que tiene la temperatura para la operación del detector.

• Estudio de los DAC

El estudio de la altura del pulso generado (PH) en función del DAC bajo estudio, nos permitira conocer cual es el comportamiento del DAC a lo largo de su rango de respuesta. Llamaremos a ésta distribución PH vs DAC. Esta distribución nos permite también, para el caso de algunos DAC, encontrar valores óptimos.

Los valores ajustados de todos los DAC, los cuáles utilizamos para realizar las pruebas se muestran en la figura 5-2. Estas pruebas se hicieron a temperatura ambiente y a $T = -10^{\circ}C$.

PH vs CalDel

CalDel: Tiempo de retraso de la señal. La figura 5-3, muestra las gráficas obtenidas para las pruebas realizadas a temperatura ambiente y a $T = -10^{\circ}C$.

DAC settings	Cosmo Default	PSI Bench Test	Renaissance room temp (low range)	Renaissance T= -10 C (low range)	Renaissance T= -10 C (high range)
Vana	152	150	140	140	140
Vsf	255	128	128	128	128
Vcomp	15	10	15	15	15
Vdd	5	8	6	6	6
Vleak_comp	0	0	0	0	0
VrgPr	0	0	0	0	0
VwllPr	35	35	35	35	35
VrgSh	0	0	0	0	0
VwllSh	35	35	35	35	35
VHIDel	119	88	90	90	90
Vtrim	29	7	29	29	29
VthrComp	90	90	60	60	60
Vbias_Bus	38	30	30	30	30
Vbias_sf	6	10	6	6	6
VoffserOP	75	40	40	40	40
VBiasOp	110	50	115	115	115
VoffsetRO	75	100	130	130	130
Vlon	114	115	115	115	115
Vbias_PH	102	200	90	90	90
Ibias_DAC	127	90	100	100	100
Vbias_roc	200	120	160	160	160
VIColOr	100	99	99	99	99
Vnpix	100	0	0	0	0
VsumCol	100	0	0	0	0
Vcal	20	200	200	200	30
CalDel	70	70	90	90	90
Temp_Range	0	0			
ClrIReg		0			
WBC	134	100	130	130	130

Figure 5-2: DAC ajustados

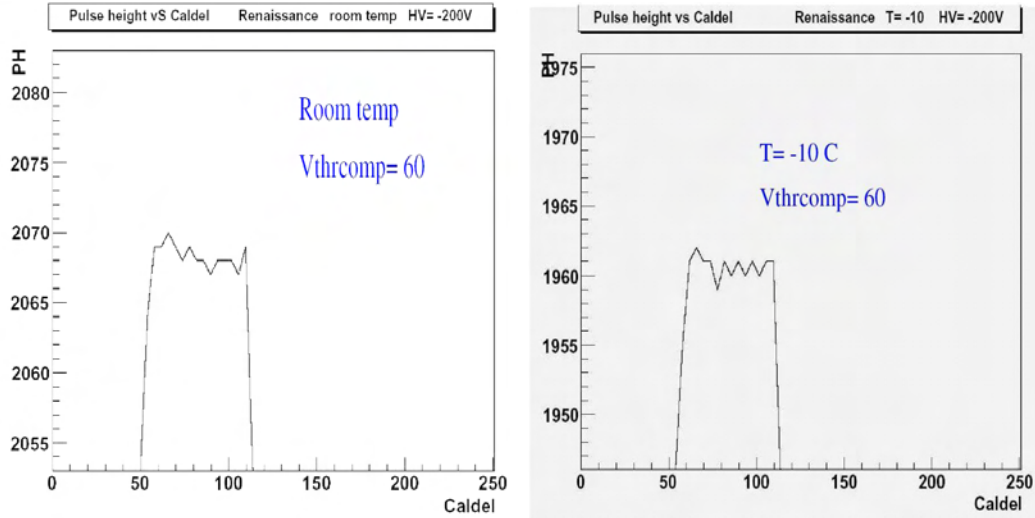


Figure 5-3: PH vs CalDel a Temperatura ambiente y a $T = -10^{\circ}C$

PH vs VoffsetRO

VoffsetRO: Representa la salida negativa de la amplificación análoga, para la altura del pulso generado. La figura 5-4, muestra PH vs VoffsetRO, la cual vemos muestra respuesta lineal pero con pendiente negativa. Este comportamiento se observa en toda la región de observación.

PH vs VoffsetOP

VoffsetRO: Representa la salida positiva de la amplificación análoga, para la altura del pulso generado. El comportamiento lineal de PH vs VoffsetOP se observa

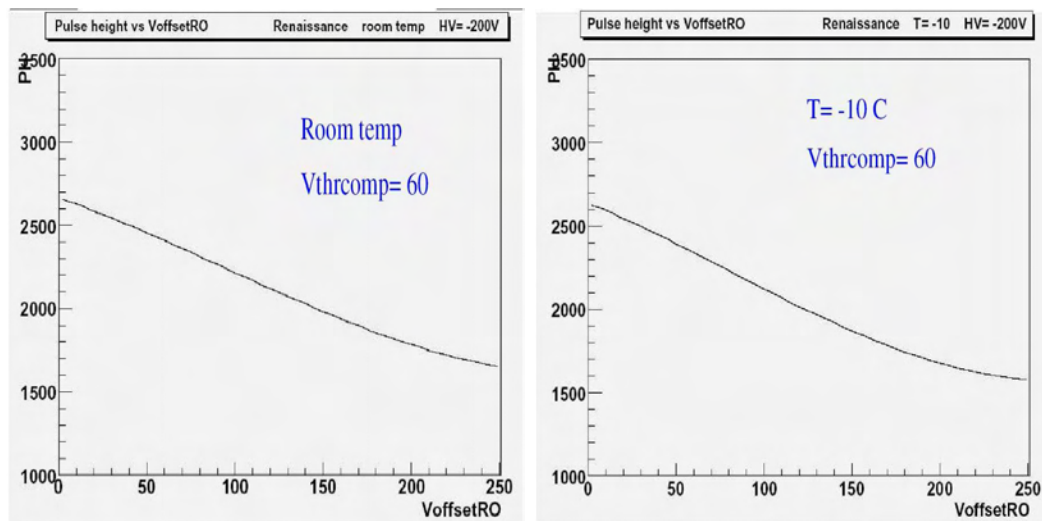


Figure 5-4: PH vs VoffsetRO a temperatura ambiente y a $T = -10^{\circ}C$

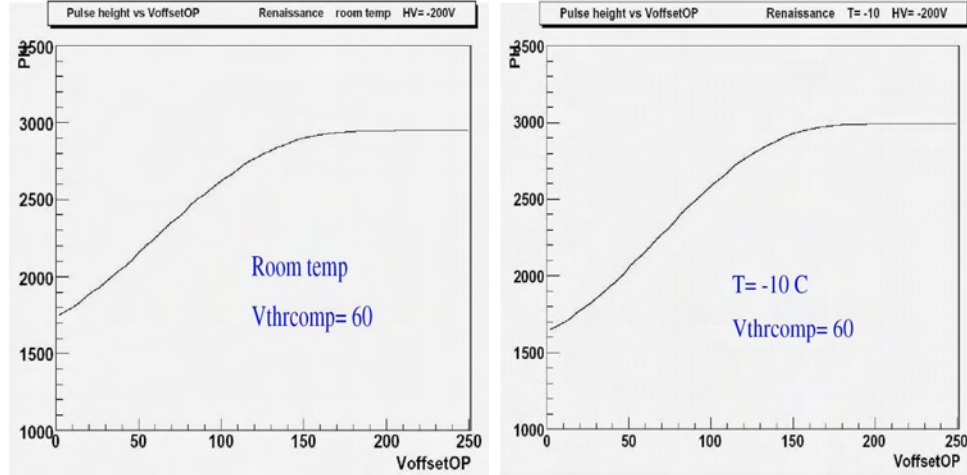


Figure 5-5: PH vs VoffsetOP a temperatura ambiente y a $T = -10^{\circ}\text{C}$

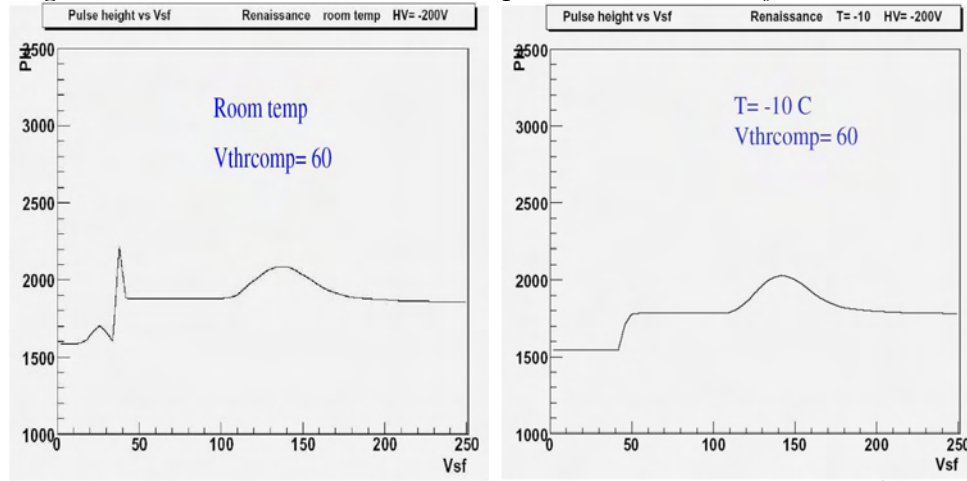


Figure 5-6: PH vs Vsf temperatura ambiente y a $T = -10^{\circ}\text{C}$

en la figura 5-5. Aquí, la región de respuesta lineal se encuentra para valores bajos, mientras que para valores más altos se tiene saturación.

PH vs Vsf

Vsf: ‘Sample-and Hold Buffer Power Regulator’.

Medida de la corriente en el capacitor. Esta corriente de carga, está relacionada con el tiempo de carga del capacitor (figura 5-9). Vemos en la figura 5-6, que el comportamiento de PH vs Vsf es diferente a través de toda la región de respuesta.

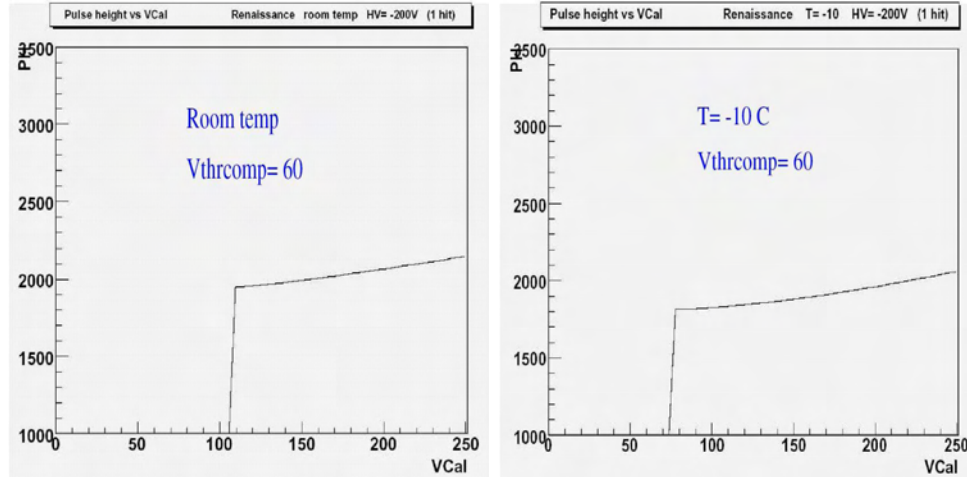


Figure 5-7: PH vs Vcal a temperatura ambiente y a $T = -10^0C$

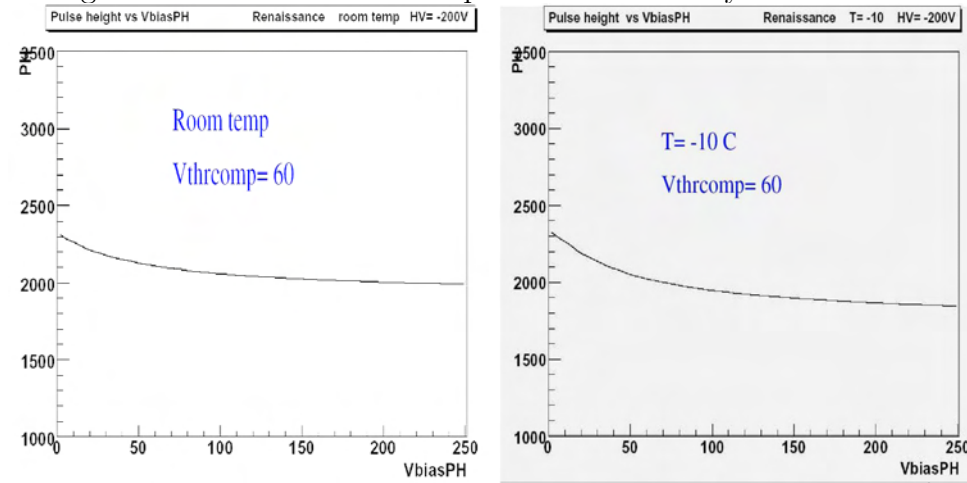


Figure 5-8: PH vs VbiasPH a temperatura ambiente y a $T = -10^0C$

PH vs Vcal

Vcal: Regulador de voltage para la señal de calibración. PH vs VCal, nos permite conocer cual es la respuesta del detector para distintas cargas de calibración. Lo importante que observamos en ésta figura 5-7, es que la señal de calibración (Vcal), es reconocida más rápida a $T = -10^0C$ que a temperatura ambiente.

PH vs VbiasPH

VbiasPH: Amplifica la señal análoga de la altura del pulso. La respuesta de PH vs VbiasPH se observa en la figura 5-8. Se observa respuesta lineal sólo para valores bajos.

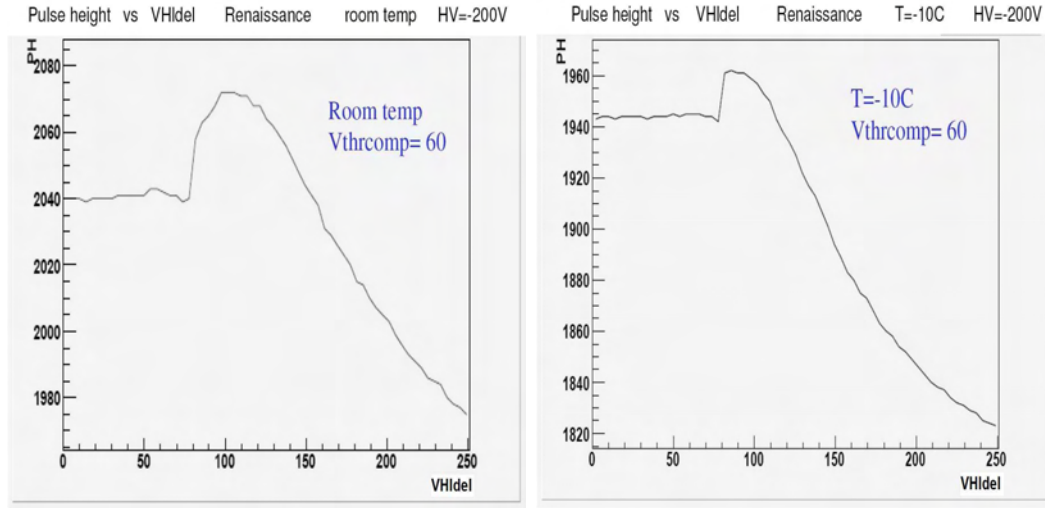


Figure 5–9: PH vs VhlDel a temperatura ambiente y a $T = -10^0C$

PH vs VhlDel

VhlDel: ‘Hold Delay’, tiempo en el cual el capacitor se carga completamente.

La figura 5–9, muestra el comportamiento de VhlDel. En la parte izquierda de cada figura, observamos la región de carga del capacitor. En la parte derecha la región de descarga. El pico de la gráfica representa el tiempo en el cual el capacitor se carga a su máxima capacidad.

• Efecto sobre la linealidad de PH vs VCal

En ésta segunda parte, estudiamos los DAC : Vsf, VoffsetOP y VoffsetRO. Aquí, utilizamos un ‘script’ para cada valor del DAC bajo estudio y analizamos su respuesta en cada gráfica obtenida. Para esto empezamos con valores bajos del DAC y cambiamos progresivamente a valores más altos. De ésta manera, estudiaremos el efecto directo que tienen estos DAC sobre la altura del pulso generado (PH). Las pruebas mencionadas en esta parte se realizaron con el detector operando a $T = -10^0C$, ya que es la temperatura a la que funcionará el detector de pixeles en el LHC.

La razón fundamental de realizar las pruebas a $T = -10^0C$, es la de eliminar ruido generado por la electrónica propia del sensor. De ésta manera, el detector

tendrá señales más limpias que analizar. Con el detector operando a temperatura ambiente el ruido electrónico aumenta.

A continuación, se muestran las gráficas obtenidas (figuras 5-10, 5-11, 5-12, 5-13, 5-14, 5-15, 5-16, 5-17), donde además se hizo un ajuste dentro de la región de respuesta lineal del detector.

Estudiamos la distribución PH vs Vcal (rango amplio 0-1800 mv). Aquí, Vcal(30) es fijado y cada uno de los DAC mencionados van cambiando desde 0 hasta 250 respectivamente.

Estudio de Vsf

En las siguientes gráficas, vemos cual es el efecto que produce el DAC Vsf sobre PH. Empezamos con Vsf=0, 21, 42. Aquí, hacemos un ajuste lineal para el valor que muestre una región con respuesta lineal (Figura 5-10).

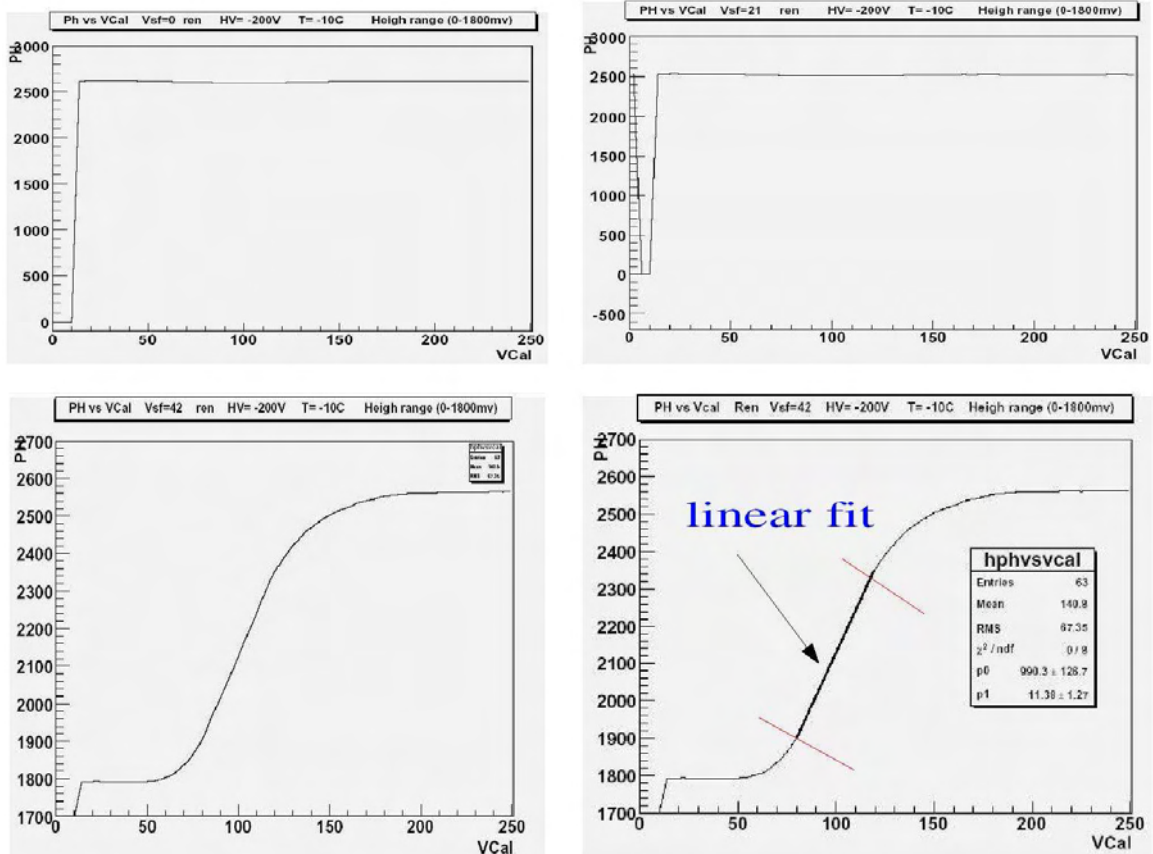


Figure 5-10: PH vs Vcal: Vsf= 0, 21, 42

Table 5–1: Ajustes para Vsf

DAC	Rango lineal	Intercepto (PO)	Pendiente (PI)
Vsf=42	80-120	990.3	11.38
Vsf=63	75-125	1027	11.21
Vsf=84	80-125	1109	9.7
Vsf=105	55-105	1060	15.5
Vsf=120	40-85	1375	15.1
Vsf=126	35-75	1484	14.6
Vsf=128	35-80	1527	14.1
Vsf=130	35-80	1547	14.1
Vsf=147	30-80	1622	12.6
Vsf=168	52-105	1462	10.5

En la figura 5–11, observamos la respuesta para Vsf= 63, 84, 105, 120, 126, 128, 130 y 147. La respuesta lineal se mantiene para éstos valores, para cada caso realizamos el ajuste lineal.

En la figura 5–12, observamos que la altura del pulso es afectada para Vsf= 168, 180, 195, 210. El ajuste lineal realizado para éstos valores nos entrega pendientes muy diferentes a las obtenidas anteriormente.

Finalmente, observamos en la figura 5–13, la respuesta para Vsf= 231 y 250. La altura del pulso generado para éstos valores es mínima.

Estudio de VoffsetOP

El efecto del DAC VoffsetOP sobre PH, lo observamos en la figura 5–14.

Para valores altos de VoffsetOP (desde 120), observamos que PH cambia notablemente (figura 5–15).

Estudio de VoffsetRO

El efecto del DAC VoffsetRO se observa en la figura 5–16.

Para valores altos de VoffsetRO (desde 170), observamos que PH también cambia significativamente (figura 5–17).

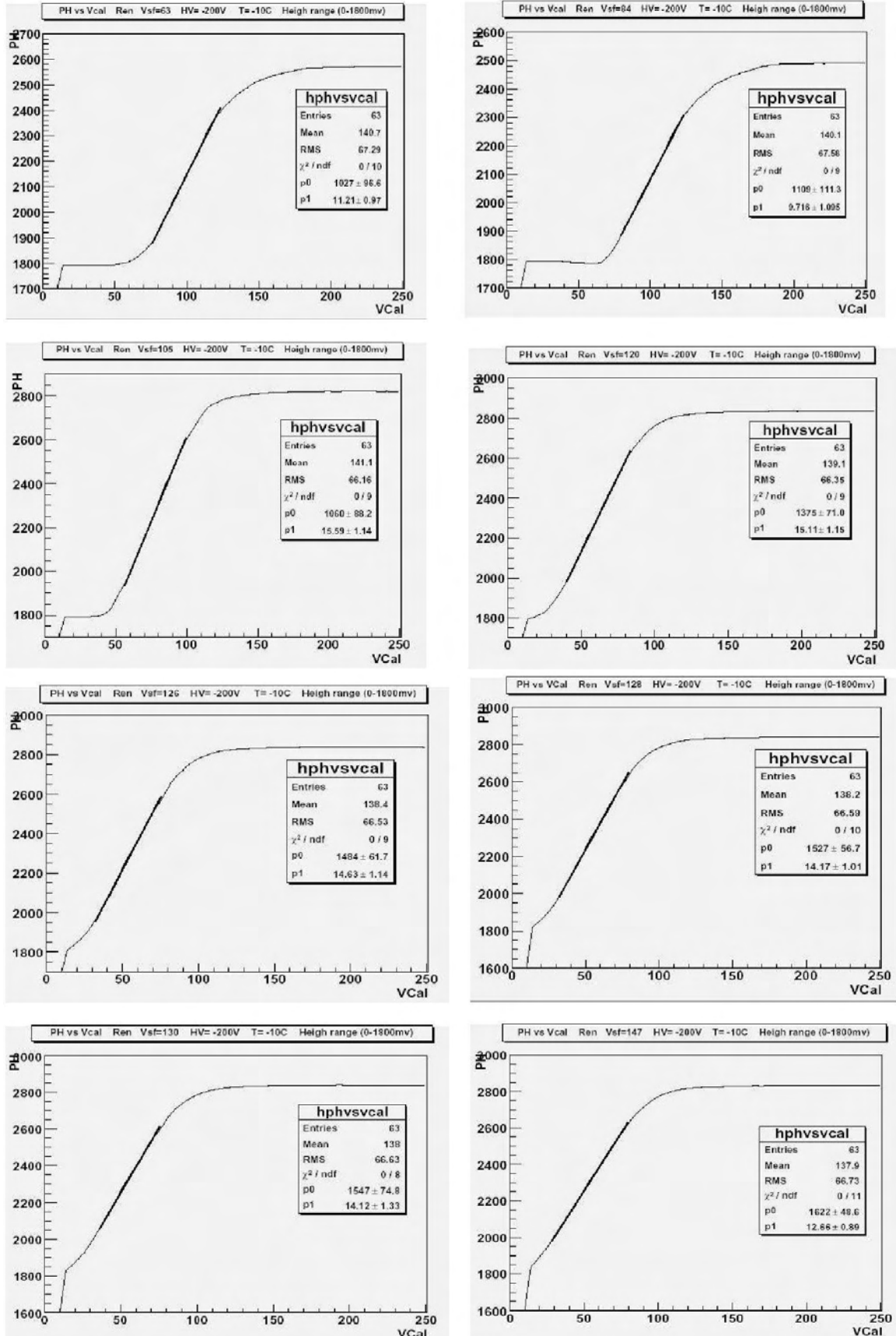


Figure 5-11: PH vs Vcal, Vs= 63, 84, 105, 120, 126, 128, 130 y 147

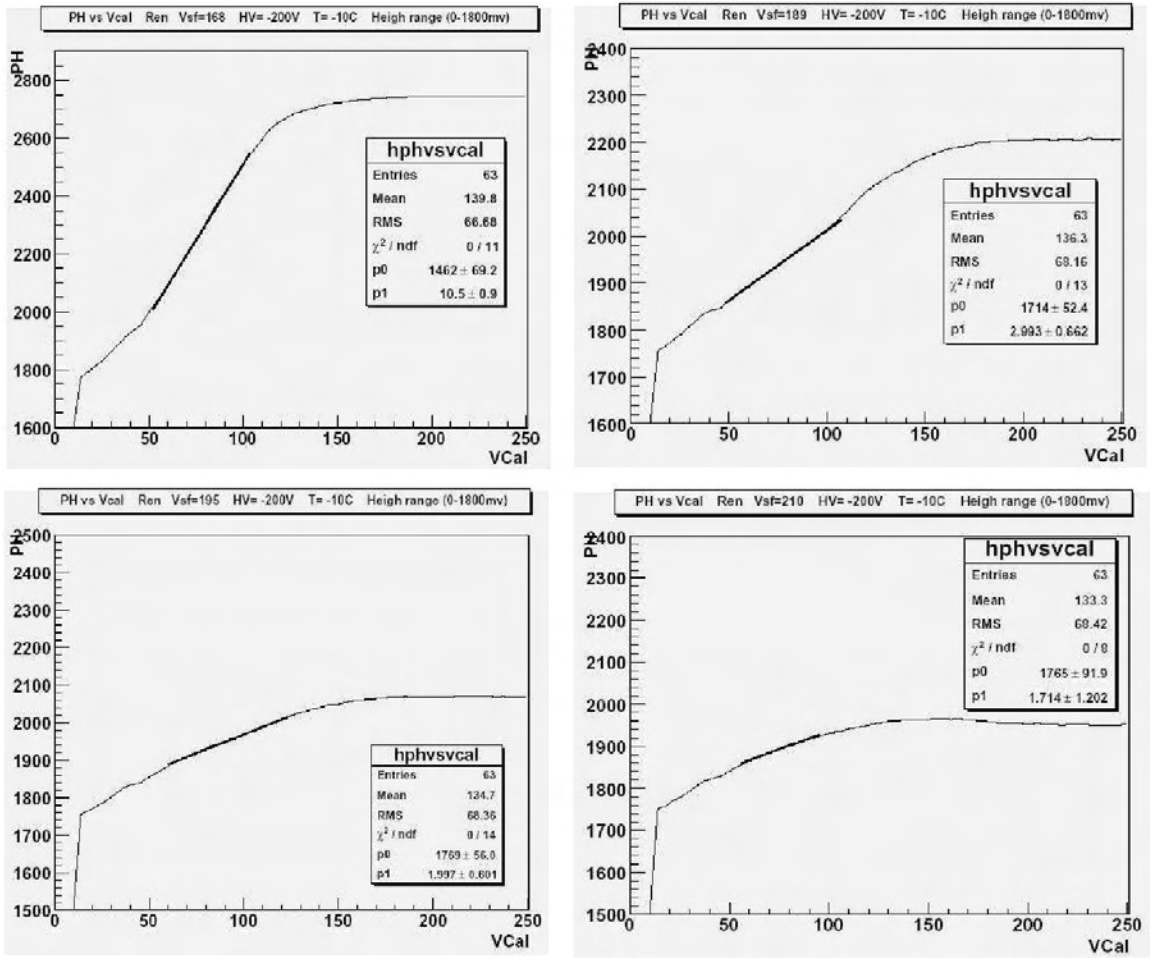


Figure 5-12: PH vs Vcal: Vs= 168, 180, 195, 210

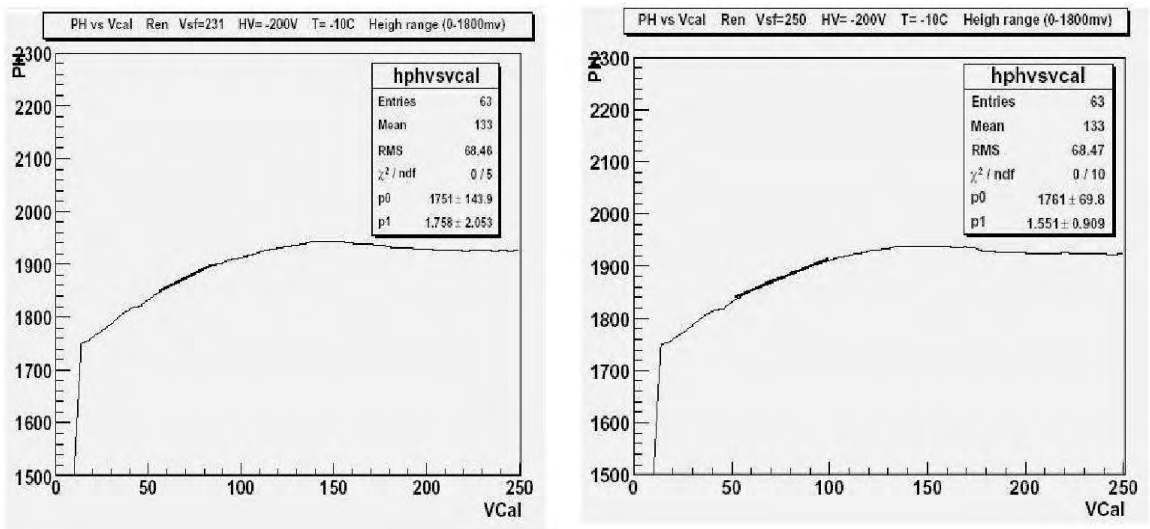


Figure 5-13: PH vs Vcal: Vs= 231, 250

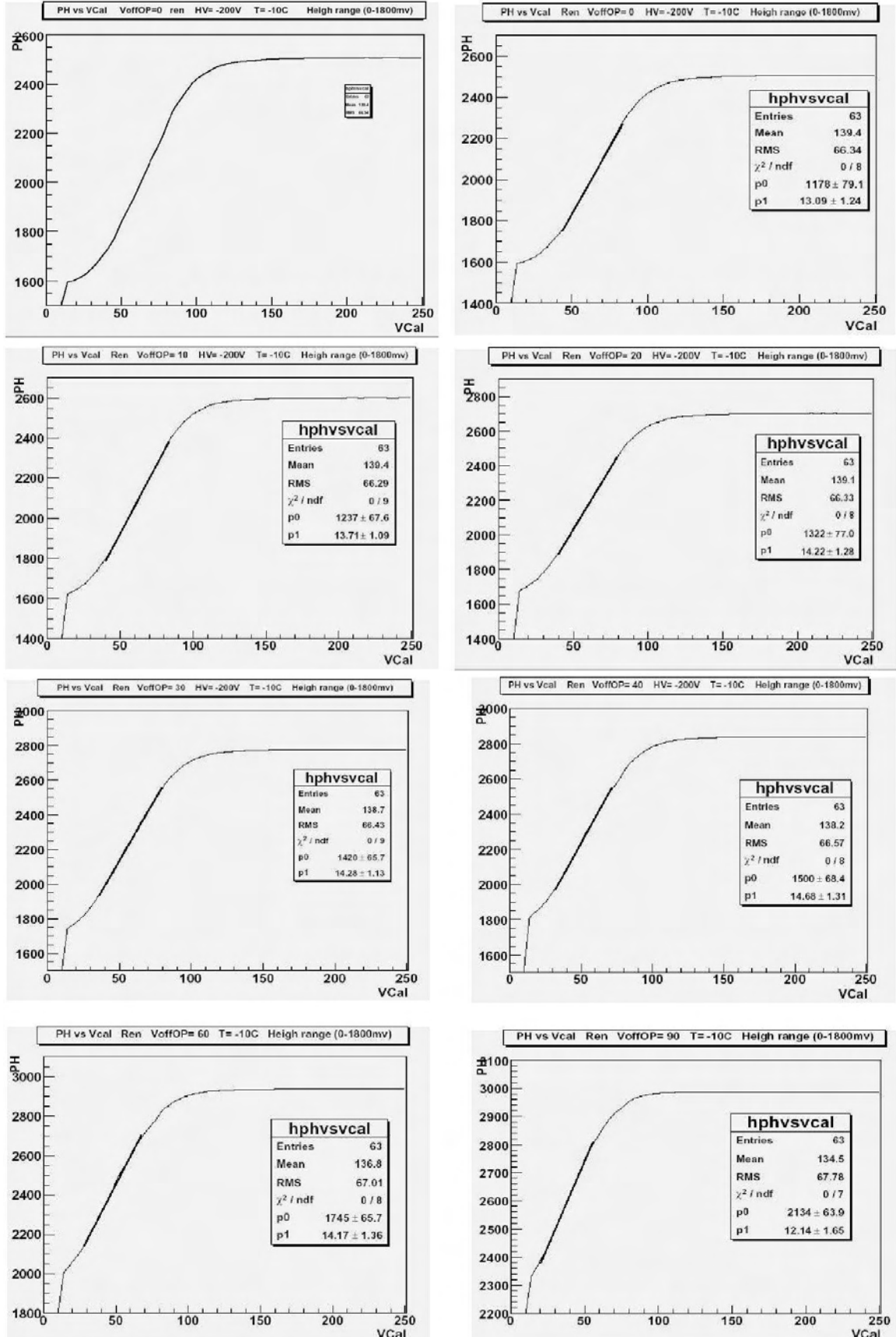


Figure 5-14: PH vs Vcal: VoffsetOP= 0, 10, 20, 30, 40, 60 y 90

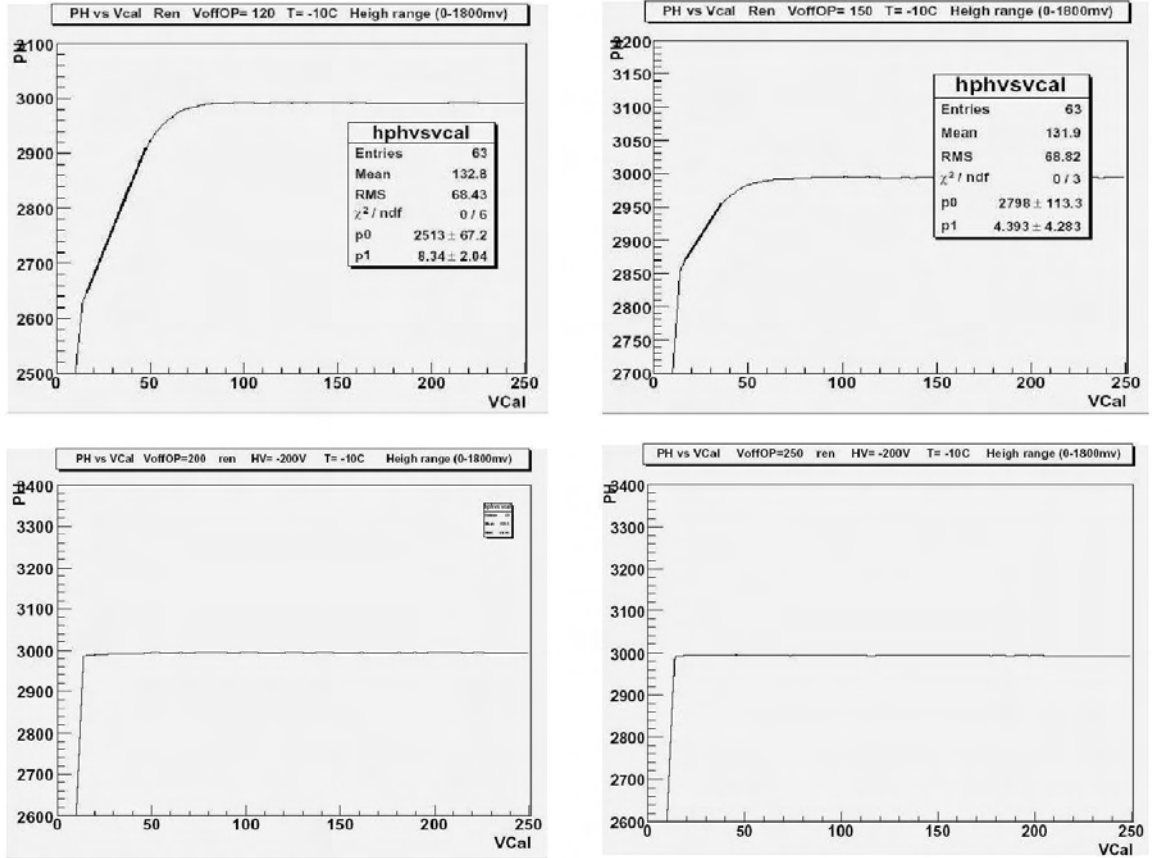


Figure 5-15: PH vs Vcal: VoffsetOP= 120, 150, 200 y 250

Table 5-2: Ajustes para VoffsetOP

DAC	Rango lineal	Intercepto (PO)	Pendiente (PI)
VoffsetOP=10	43-85	1327	13.71
VoffsetOP=20	40-20	1322	14.2
VoffsetOP=30	35-82	1420	14.2
VoffsetOP=40	35-70	1500	14.6
VoffsetOP=60	30-70	1745	14.1
VoffsetOP=90	20-60	2134	12.1
VoffsetOP=120	15-50	2513	8.3

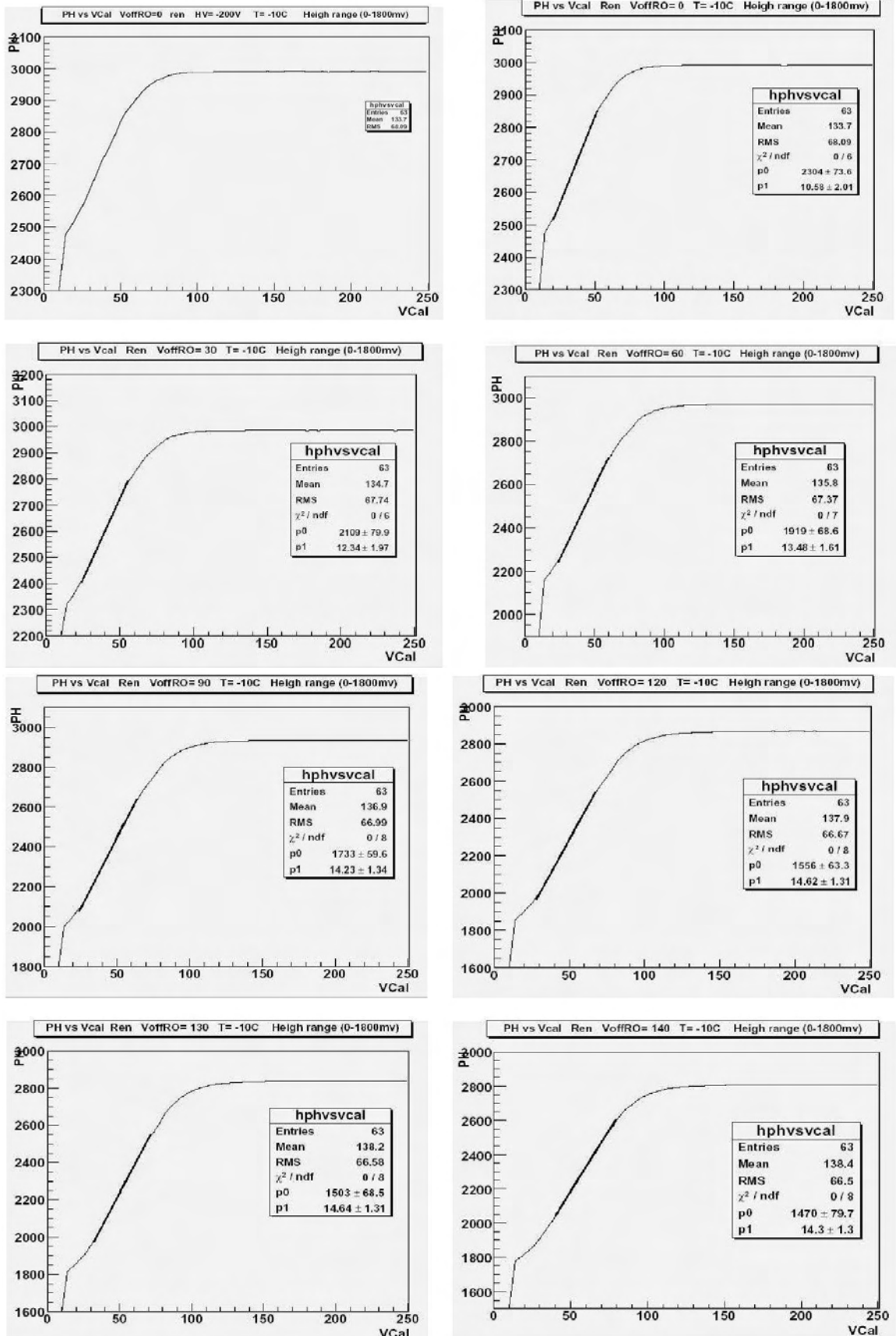


Figure 5-16: PH vs Vcal: VoffsetRO= 0, 30, 60, 90, 120, 130, 140

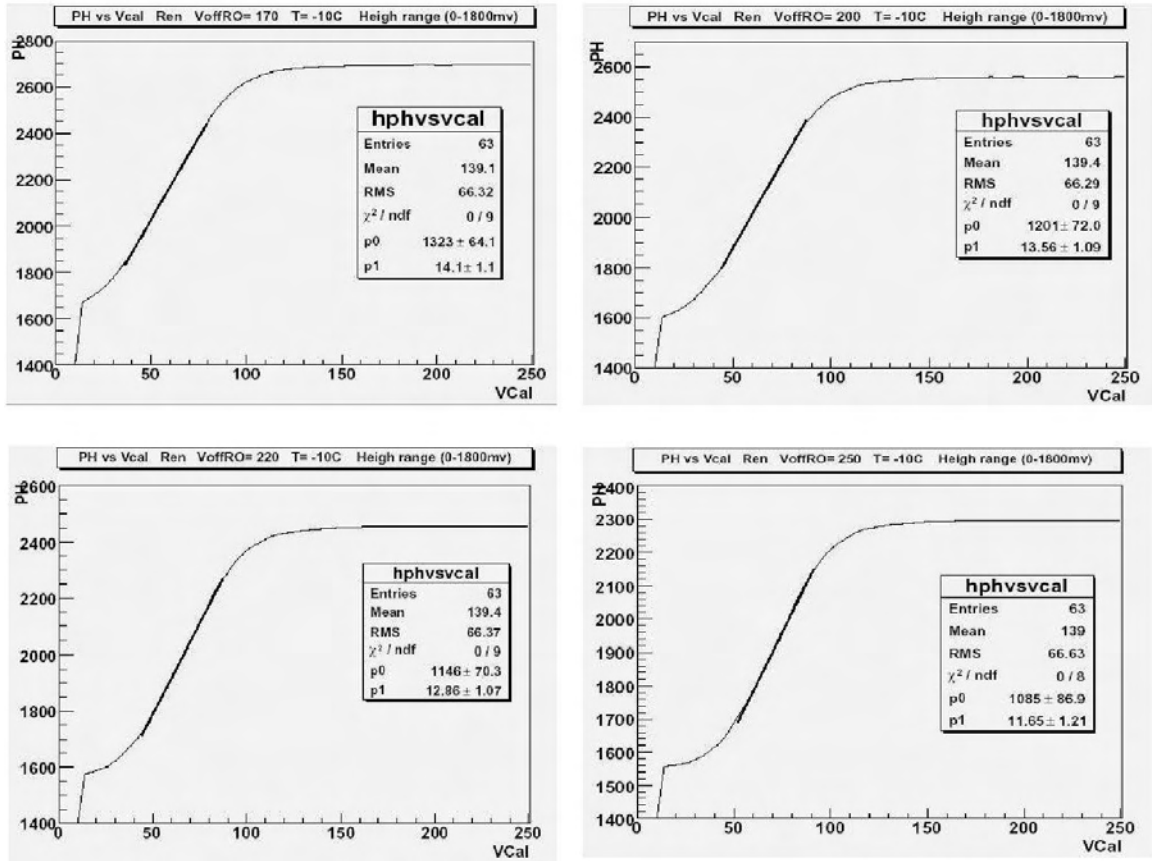


Figure 5-17: PH vs Vcal: VoffsetRO= 170, 200, 220 y 250

Table 5-3: Ajustes para VoffsetRO

DAC	Rango lineal	Intercepto (PO)	Pendiente (PI)
VoffsetRO=30	25-60	2109	12.34
VoffsetRO=60	25-60	1919	13.48
VoffsetRO=90	25-65	1733	14.23
VoffsetRO=120	30-70	1556	14.62
VoffsetRO=130	30-70	1503	14.64
VoffsetRO=140	40-80	1470	14.3
VoffsetRO=170	35-80	1323	14.1
VoffsetRO=200	45-90	1201	13.56

Las pendientes obtenidas luego de un ajuste lineal para los DAC bajo estudio, se muestran en las tablas 5-1, 5-2 y 5-3.

Para realizar éstos ajustes, el punto de inicio es aquel lugar (en las gráficas) a partir de la cual la respuesta lineal es continua a la inyección de carga (vcal). Las regiones donde se tiene saturación no son tomadas en cuenta. Es importante observar en éstas gráficas, el punto de inicio de respuesta del detector. Esto porque se quiere que señales aún pequeñas sean lineales.

Para encontrar valores adecuados para un DAC específico, no sólo es necesario realizar ajustes en la región de respuesta lineal. Muchos de los DAC tienen valores dinámicamente optimizados (DO), ésto significa que encuentran valores óptimos durante la realización de las pruebas. Estos valores cambian de un chip a otro porque la respuesta de los pixeles no es siempre la misma.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Estas pruebas son un primer intento, en ésta parte de los US, por conocer la operación del chip y de como debería comportarse cada DAC. Usualmente lo que se hace es utilizar valores de defecto y realizar pequeños cambios. No se habia hecho ningún estudio detallado sobre el efecto de cada DAC y de cómo interactúan el uno con el otro.

Luego de haber realizado las pruebas y estudiar las gráficas, sobre los DAC bajo estudio, llegamos a las siguientes conclusiones:

1) Las medidas y resultados reportados en esta Tesis son pruebas que muestran las funcionalidades básicas de éstos DAC.

2) Es importante entender la funcionalidad y la respuesta detallada de varios DAC, porque ellos son utilizados para ajustar el punto de operación del chip.

3) Mis estudios sobre la linealidad de la distribución PH vs VCal, muestran que:

- Sólo algunos DAC afectan el PH.
- La mayoría de los DAC tienen comportamiento lineal en un rango grande.
- Unos pocos DAC tienen un rango muy limitado de sensibilidad.
- Varios DAC tienen valores óptimos, los cuáles cambian de un chip a otro y deben ser estudiados para todos los chip que serán utilizados en el detector.

4) Mis estudios han demostrado que el rango lineal de inyección de carga depende sobre:

- El punto de inicio de lectura de la señal.

- Los valores de los DAC: V_{sf} , V_{hlDel} , $V_{offsetOP}$ y $V_{offsetRO}$.

5) También estudié el efecto de la temperatura sobre el funcionamiento del detector, para las pruebas realizadas a $T = -10^0C$ encontramos que:

- Óptimo punto de operación del chip.
- Menos ruido electrónico para el análisis de la señal.
- En las gráficas se observa el desplazamiento de la banda de respuesta.
- No existe linealidad para valores bajos de V_{cal} .

El LHC tendrá un medio ambiente de operación muy difícil y hostil, al cual tendrá que hacer frente el detector de pixeles. Se prevee que durante el tiempo de vida del experimento las condiciones de operación cambiarán, principalmente debido al tiempo de trabajo que tendrá el detector y a los efectos producidos por la radiación.

El estudio del efecto de la radiación sobre la respuesta del detector, será de suma importancia para conocer más sobre el chip de lectura y sobre los DAC. Observar y estudiar la respuesta del detector en el LHC, será importante para optimizar el funcionamiento y funcionalidad del chip de lectura PSI46.

Estudiar la correlación entre los DAC será también importante para conocer más acerca del chip.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L.R. Evans. *IEEE Transactions on Magnetics*. Vol. 32, No 4, July 1996.
- [2] K.M. Potter. *The Large Hadron Collider (LHC) project of CERN*, LHC Project Report 36.:19 July 1996.
- [3] F. Gianotti. *Collider physics: LHC in 1999 European School of High Energy Physics*, pp. 219-244, CERN-2000-007.
- [4] F. Halzen and A. D. Martin. *Quarks and Leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics*. John Wiley and. sons, 1984.
- [5] The LEP Electroweak working group. <http://lepewwg.web.cern.ch/LEPEWWG>.
- [6] CDF and D0 collaboration. Fermilab-pub. *03/320-E*, (2003).
- [7] PSI46. *Pixel Chip-External Specification*. <https://docdb.fnal.gov> , Document nro: CMSpix-doc-55-v1.
- [8] PSI46. *Pixel Chip-Design Documents*. <https://docdb.fnal.gov> , Document nro: CMSpix-doc-54-v1.
- [9] Sarah Dambach. *DAC Optimization*. presented at the CMS Week Pixel General Meeting, September 2006.
- [10] Silvia Taroni. *Study of the resolution of CMS pixel*. Jul 2006, <https://docdb.fnal.gov> , Document nro: CMSpix-doc-1166-v1.
- [11] Lorenzo Uplegger. *CMS Pixel in Test Beam*. Abril 2007, <https://docdb.fnal.gov> , Document nro: CMSpix-doc-1216-v2.
- [12] Silvia Taroni. *Progress on Beamtest data analysis*. Jun 2007, <https://docdb.fnal.gov> , Document nro: CMSpix-doc-1742-v1.
- [13] CMS Collaboration. *Addendum to the CMS Tracker TDR*. CH 12-11 Geneve 23, Suisse, 2000.

- [14] S. Malik. The CMS Forward Pixel Detector. *X Pisa Meeting 2006 Talk*. May 2006, <https://docdb.fnal.gov> , Document nro: CMSpix-doc-984-v1.
- [15] E. Bartz. *The Token Bit Manager Chip for the CMS pixel readout*. Prepared for the 11th Workshop on Electronics for LHC and Future Experiments (LECC 2005), Heidelberg, Germany ,12-16 September 2005.
- [16] A. Starodumov. *Qualification Procedures of the CMS Pixel Barrel Modules*. Mar 2006, <https://docdb.fnal.gov> , Document nro: CMSpix-doc-854-v1.
- [17] W. Erdmann. Nuclear instruments and methods in physics research. *A 549*, 153 (2005).
- [18] R. Horisberger. Nuclear instruments and methods in physics research. *A 465*, 148(2001).
- [19] R. Horisberger K. Gabathuler and D. Kotlinski. *Readout Architecture for CMS Pixel Vertex Detector*. CMS TN/96-046.

DATOS BIOGRÁFICOS

PEDRO TTITO GUZMÁN

Pedro Ttito nació en la Tierra del Sol, el Cusco, un 22 de febrero de 1975. Realizó todos sus estudios hasta concluir la carrera Profesional de Física en ésta Ciudad. Luego de concluir su carrera enseñó por un tiempo en los laboratorios de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. En el 2004 viajó a Puerto Rico a realizar estudios de Maestría en Física en el Recinto Universitario de Mayaguez (RUM). Curso las materias respectivas y concluidas las mismas fue al laboratorio más grande de física de altas energías llamado Fermilab en Chicago. Allí realizo su investigación durante un tiempo y al concluirla regresó al RUM y se graduó el 2007.

ESTUDIO DE LOS DAC SETTING PARA EL CHIP DE PÍXELES DEL EXPERIMENTO CMS

Pedro Tito Guzmán

Departamento de Física

Grado: Maestría en Ciencias

Fecha de Graduación: Junio 2007