Conclusiones

En este trabajo se ha presentado el análisis realizado y resultados obtenidos en la caracterización de los prototipos del calorímetro hadrónico del detector ATLAS con los datos recogidos durante los años 1997 - 1998, utilizando haces de tests de piones y electrones. También se ha desarrollado un estudio en la búsqueda del bosón de Higgs con los datos simulados por programas Monte Carlo del detector ATLAS a $E_{CM} = 14$ TeV. Las luminosidades totales integradas analizadas en este trabajo fueron 30 fb^{-1} (3 años a baja luminosidad) y 100 fb^{-1} (1 año a baja luminosidad).

El estudio realizado sobre los prototipos del calorímetro hadrónico (Tile - Cal) see nmarcan dentro del programa de test con haces RD34 del CERN. Se han analizado diferentes prototipos del calorímetro: un prototipo de la parte del barril ("Barrel Module 0") y otros dos prototipos de sus extensiones ("Extended Barrel Modules 0"). Las medidas se realizaron en la zona de Test H8 del acelerador SPS del CERN utilizando haces de piones y electrones con energías entre 20 y 400 GeV. También se ha hecho un estudio usando un programa de simulación del prototipo del barril central del calorímetro de Tejas basado en el lenguaje GEANT, el cual describe detalladamente el módulo.

Se ha discutido el concepto de la *no compensación* en calorimetría hadrónica, el cual ha sido la principal motivación física para la aplicación de los algoritmos utilizados en la reconstrucción de la energía procedente de los datos de piones y electrones. Se ha comparado la energía *visible* depositada por los electrones en el calorímetro con la señal dada por los piones a la misma energía; obteniendose el cociente denominado e/π, siendo distinto de 1 e introduciendo el conepto de no compensación. Este hecho se debe principalmente a la pérdida de energía *visible* ($\sim 20\%$) de la parte puramente hadrónica de la cascada desarrollada por un hadrón. Esta parte de energía no detectada hace que la respuesta media de los hadrones sea menor que la de los electrones para la misma energía incidente y por lo tanto $e/\pi > 1$. A su vez esta desigualdad implica un empeoramiento en la resolución energética y linealidad del detector.

La resolución y la linealidad pueden ser mejoradas subsanando el efecto producido por la no compensación del detector. Hay dos posibles estrategias para resolver el problema:

• diseñar un calorímetro compensado incrementando intrínsicamente la respuesta de la componente hadrónica. Esto se puede hacer utilizando absorbentes pesados (U, Pb, etc...).

• para detectores con una buena granularidad es posible distinguir la componente electromagnética de la cascada hadrónica y aplicar factores de corrección en el análisis *offline* de los datos.

El trabajo presentado en esta tesis ha tenido como objetivo realizar la corrección de los datos y reconstrucción de la energía utilizando este último método.

Para poder estimar la energía de los piones se han estudiado varios algoritmos de reconstrucción, desarrollándose un nuevo método denominado “H1” para la corrección de los datos y siendo comparado con previos métodos.

El estudio de la linealidad y resolución del detector se lleva a cabo en tres pasos: desde el análisis de los “Raw data” hasta el método de pesado “H1”, pasando a través del método de “Benchmark”. El análisis denominado “Raw Data” estudia la linealidad y la resolución en energía del detector analizando los datos obtenidos directamente del detector sin haber sido tratados con ningún método de pesado. El método de “Benchmark” consiste en corregir con determinados parámetros, supuestamente constantes con la energía de la partícula incidente, los efectos producidos por la fuga de energía, tanto longitudinal como tranversal. El método de pesado “H1” corrige los datos aumentando la respuesta de aquellas celdas del calorímetro con señal relativamente pequeña, para equipararla con aquellas celdas donde se ha depositado una gran cantidad de energía (de origen electromagnético), optimizando simultáneamente tanto la linealidad como la resolución del detector.

Los resultados obtenidos en los test con haces de partículas sobre los prototipos del Tile - Cal son los siguientes:

• La resolución y la linealidad de los prototipos del calorímetro de tejas mejoran utilizando el método de pesado “H1” como muestran las tablas C.1 y C.2. También los resultados son compatibles para los diferentes prototipos y valores de η. Además el método “H1” ha demostrado ser viable como algoritmo para la reconstrucción de la energía de los jets que se producirán en ATLAS.

Respecto a la linealidad, el método de “Benchmark” da los mismos resultados que el del análisis de los “Raw data”, mejorándola un poco a altas energías debido a las correcciones efectuadas. Utilizando el método de pesado “H1” encontramos una buena respuesta lineal dentro de los requisitos impuestos por la colaboración ATLAS. La linealidad obtenida con la simulación de Monte Carlo es mejor que para los test con haces, pero hay que tener en cuenta que no se conoce muy bien el desarrollo de la cascada hadrónica a altas energías y por lo tanto la descripción de ésta puede alejarse

Tabla C.1: *Parámetros de la resolución para los diferentes métodos, prototipos y valores de* η.

Método	MÓDULO	η	a %	b %
Raw Data	BCN	-1.1	46.7$\pm$ 0.9	5.34$\pm$0.08
	BCN	-1.2	43.7$\pm$ 1.2	4.80$\pm$0.08
	ANL	-1.1	51.7$\pm$ 0.8	5.09$\pm$0.08
	ANL	-1.2	49.9$\pm$ 1.4	6.04$\pm$0.08
	M0	-0.25	59.1$\pm$ 1.9	5.40$\pm$0.08
	M0	-0.35	56.3$\pm$ 1.5	6.88$\pm$0.10
	M0	-0.45	56.5$\pm$ 1.5	5.35$\pm$0.08
	M0	-0.55	55.2$\pm$ 1.4	5.10$\pm$0.11
Benchmark	BCN	-1.1	50.1$\pm$1.4	3.10$\pm$0.10
	BCN	-1.2	52.2$\pm$1.5	4.21$\pm$0.12
	ANL	-1.1	51.5$\pm$1.5	4.87$\pm$0.12
	ANL	-1.2	59.1$\pm$1.9	3.71$\pm$0.16
H1	BCN	-1.1	45.6$\pm$ 0.7	2.71$\pm$0.07
	BCN	-1.2	47.8$\pm$ 0.6	2.25$\pm$0.06
	ANL	-1.1	45.2$\pm$ 0.7	3.10$\pm$0.07
	ANL	-1.2	43.7$\pm$ 1.0	3.91$\pm$0.07
	M0	-0.25	41.1$\pm$ 1.3	5.68$\pm$0.08
	M0	-0.35	40.7$\pm$ 1.2	5.33$\pm$0.08
	M0	-0.45	45.9$\pm$ 1.0	4.22$\pm$0.08
	M0	-0.55	43.2$\pm$ 1.0	4.87$\pm$0.10

de la realidad.

Para la resolución, el método "H1" mejora notablemente la resolución respecto del análisis directo de los "Raw data" y del método de "Benchmark". Además el acuerdo entre los datos y los sucesos Monte Carlo es bueno para los términos estadístico y constante de la resolución.

• Se ha llevado a cabo un barrido sobre diferentes valores de η para obtener el valor del factor e/h. Como muestra la tabla C.3 los resultados obtenidos son mayores que 1 como se espera para el calorímetro de tejas centelleadoras y compatibles con valores encontrados en anteriores test con haces de prototipos previos del detector.

• Se ha hecho un estudio comparativo entre los prototipos del barril y de las extensiones del detector, poniendo de manifiesto que ambos prototipos cumplen con los requisitos exigidos a nivel de resolución, linealidad y e/h por la colaboración ATLAS. Se ha visto que ambos prototipos dan resultados parecidos para el término estadístico en la resolución del detector y para el valor del cociente e/h. Sin embargo, el término constante en la resolución del detector es menor en el caso de los barriles extendidos que en el del barril central (ver tabla C.1), pudiendo decir que la pérdida de cascada es

Tabla C.2: *RMS para los diferentes métodos, prototipos y valores de η.*

Método	MÓDULO	η	RMS (%)
Raw Data	BCN	-1.1	4.3
	BCN	-1.2	4.3
	ANL	-1.1	4.3
	ANL	-1.2	4.3
	M0	-0.25	2.0
	M0	-0.35	2.5
	M0	-0.45	2.0
	M0	-0.55	2.5
Benchmark	BCN	-1.1	4.5
	BCN	-1.2	4.5
	ANL	-1.1	4.5
	ANL	-1.2	4.5
H1	BCN	-1.1	1.2
	BCN	-1.2	2.5
	ANL	-1.1	1.8
	ANL	-1.2	2.9
	M0	-0.25	1.4
	M0	-0.35	1.8
	M0	-0.45	0.8
	M0	-0.55	2.0

mayor en el barril ("barrel module 0") que en las extensiones ("extended barrel modules 0"). Respecto a la linealidad de la respuesta de los piones es mejor en el barril que en las extensiones, lo cual es debido a la baja calidad de los datos del test con haces de 1997.

En este trabajo también se ha estudiado la búsqueda del bosón de Higgs dentro del Modelo Estándar Supersimétrico Mínimo asumiendo que las partículas supersimétricas son suficientemente pesadas para que no tomen un papel importante en las desintegraciones del bosón de Higgs. En este modelo, nos encontramos con cinco estados físicos del bosón de Higgs, dos cargados ($H^{\pm}$) y tres neutros (h, H, A). En esta tesis solo se han considerado las desintegraciones del bosón de Higgs escalar neutro (H) y del pseudoescalar (A) a quarks top. La producción del bosón de Higgs en el LHC se llevará a cabo principalmente a través de las colisiones entre gluones, intercambiando un quark top virtual. Sin embargo, en el LHC tendremos también la producción de quarks top procedentes de las colisiones entre gluones que actuarán como fondo irreducible a nuestra señal.

En el Model Estándar el bosón de Higgs desintegrándose a quarks top tiene una probabilidad muy baja ($\sim$ 10%), mientras que en el MSSM la probabilidad de desintegración a quarks top es alta ($\sim$ 100%) para masas del Higgs mayores que dos veces la masa del

Tabla C.3: *Valores obtenidos para el cociente e/h de los distintos prototipos del detector y para diferentes valores de η.*

MÓDULO	η	e/h
BCN	-1.1	1.38 $\pm$ 0.013
BCN	-1.2	1.48 $\pm$ 0.014
BCN	-1.3	1.52 $\pm$ 0.015
BCN	-1.4	1.60 $\pm$ 0.016
M0	-0.35	1.61 $\pm$ 0.015
M0	-0.45	1.39 $\pm$ 0.012
M0	-0.55	1.41 $\pm$ 0.012

top y valores de tanβ próximos a la unidad. La señal procedente de la desintegración H/A $\rightarrow$ t$\bar{\text{t}}$ aparece por encima del fondo irreducible como un pico, cuando obtenemos el espectro de la masa invariante t$\bar{\text{t}}$ para valores de la masa del Higgs menores que 500 GeV. Además existe una fuerte supresión en la observabilidad de la señal debido a la interferencia negativa entre las amplitudes del fondo irreducible procedente de QCD y de la señal. Esta supresión es alrededor del 30%, 50% y 70% para masas del Higgs de 370, 400 y 450 GeV. Estos factores han sido tenidos en cuenta en el análisis presentado en esta tesis.

El estudio presentado ha sido realizado utilizando simulaciones de Monte Carlo del detector ATLAS en el colisionador LHC. Concretamente dos programas han sido usados, ATLFAST, para una rápida simulación de la señal y del fondo y SLUG-DICE-ATRECON, para una sofisticada simulación del detector. También se ha hecho una comparación entre ambos con intención de comprobar los resultados obtenidos con ATLFAST, ya que este es una simulación intermedia entre un análisis a nivel de partones y una simulación completa y sofisticada del detector.

Para poder identificar las desintegraciones del H/A a quarks top, se han elegido estados finales conteniendo WWb$\bar{\text{b}}$, con un W $\rightarrow$ lν, donde el leptón aislado se utiliza para el "trigger", y el otro canal W $\rightarrow$ jj. Esto permite tener una topología final de un leptón aislado y cuatro "jets". Además, se requirió que los "jets" procedentes del bosón W y de los dos "b-jets" tengan un $p_T > 40$ GeV y una $|\eta| < 2.5$ y en el caso del leptón un $p_T > 20$ GeV y una $|\eta| < 2.5$. También se requirió que ambos "b-jets" fueran identificados con una eficiencia $\epsilon_b = 60\%$ (50%) a baja (alta) luminosidad.

Para reconstruir las desintegraciones de ambos quarks top se han desarrollado dos algoritmos. El segundo de ellos mejora notablemente la resolución de la señal, la relación señal/ruido y la significancia estadística respecto al primero. Sin embargo, el primer algoritmo desarrollado es interesante porque reproduce la forma y la magnitud del fondo combinatorial para el canal hadrónico (t $\rightarrow$ jjb) y el semileptónico (t $\rightarrow$ blν).

Después de realizar la reconstrucción de ambos quarks top, se ha hecho un estudio con intención de extraer la señal respecto del fondo irreducible procedente de QCD, teniendo en cuenta los errores sistemáticos procedentes de la normalización y de la forma del fondo, para el intervalo de masas del Higgs desde 370 a 450 GeV.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

• La resolución en masa obtenida para la desintegración del H/A $\rightarrow$ t$\bar{\text{t}}$ aumenta desde 14 GeV hasta 20 GeV para masas del bosón de Higgs entre 370 y 450 GeV respectivamente. Esto implica que será necesario una ventana entre 25 y 80 GeV para poder observar la señal. Además después de la reconstrucción de ambos quarks top, el fondo irreducible (t$\bar{\text{t}}$) procedente de QCD es mucho mayor que el resto de fondos.

• La relación señal/ruido varía entre un 9% y un 1% en el intervalo de masas de 370 a 450 GeV. Para una luminosidad integrada de 30 fb^{-1} (3 años a baja luminosidad), se esperan alrededor de 2120 sucesos de señal y 40000 sucesos de fondo irreducible en una ventana de masas de $\pm 2\sigma_m$ alrededor de la masa del Higgs, para m_A = 400 GeV (ver tabla C.4). Para una luminosidad integrada de 100 fb^{-1} (1 años a alta luminosidad) se esperan, para una masa de Higgs de 400 GeV, alrededor de 4900 sucesos de señal y 90000 sucesos de fondo irreducible.

Tabla C.4: *Observabilidad del canal H/A $\rightarrow$ $t\bar{t}$ para una luminosidad integrada de 30 fb^{-1} y 100 fb^{-1}, para valores de tanβ = 1.5. Se ha incluido los efectos estimados por la interferencia negativa con el fondo irreducible.*

m_H (GeV)	370	400	450
$\sigma \times$ BR (pb) (sin supresión)	11.8	8.4	4.8
$\sigma \times$ BR (pb) (con supresión)	8.3	4.2	1.4
Señal #			
(Baja Lum.)	3190	2120	980
(Alta Lum.)	7380	4900	2270
Fondo #			
(Baja Lum.)	34200	39500	52900
(Alta Lum.)	79100	91400	122400
Significan.			
(Baja Lum.)			
=S/$\sqrt{B}$	17.3		4.3
=S/0.01B		5.4	
(Alta Lum.)			
=S/$\sqrt{B}$	26.2		6.5
=S/0.01B		5.4	

• Se ha llevado a cabo un estudio sobre la posible extración de la señal, viéndose que solamente sería posible para masas por debajo del pico cinemático formado por la distribución de fondo $t\bar{t}$, la cual está centrada alrededor de $m_{tt} = 400$ GeV. La extración realizada asume que las incertidumbres sobre la forma del fondo continuo son pequeñas y que éste puede ser ajustado utilizando sucesos que estén fuera de la ventana de masas asumida para el Higgs. Esto se encuentra recogido en la tabla C.4.

• Para masas próximas a 400 GeV solamente se podrá observar la señal como un exceso de sucesos por encima del fondo continuo. Este exceso ha de ser significante estadísticamente, pero esta significancia solo será posible si las incertidumbres teóricas sobre la forma del fondo continuo no fueran mayores que 1%.

• En un escenario optimista, donde las incertidumbres teóricas sobre la producción del fondo continuo $t\bar{t}$ son alrededor del 1%, se ha establecido un límite en una región del espacio de parámetros. Este límite corresponde a $2m_t < m_A < 470$ GeV para tanβ ~ 1.

• Los resultados obtenidos para la resolución en masa de la desintegración del H/A $\rightarrow t\bar{t}$, para masas del Higgs de 400 GeV utilizando ATLFAST han sido comparadas con una completa y sofisticada simulación del detector. Se ha encontrado un buen acuerdo entre la aceptancia de la selección de los cortes cinemáticos y las resoluciones en la masa del top y del bosón de Higgs, como muestran las tablas C.5 y C.6. Además ambas simulaciones pueden ser útiles en un camino complementario para estudiar canales físicos: la simulación completa del detector puede ser utilizada para comprobar en detalle las especificaciones del detector y la simulación rápida puede ser usada como una comprobación del código de reconstrucción y algoritmos de la simulación completa y para la producción de un gran número de sucesos para el análisis físico.

Tabla C.5: *Aceptancias para cada selección de los cortes (leptones, jets, bjets).*

Ac.	electrones	muones	leptones	*jets*	*bjets*
Fast	0.90	0.77	0.88	0.41	0.62
Full	0.89	0.74	0.85	0.49	0.59

Tabla C.6: *Resoluciones en masa del top y del Higgs obtenidas para la simulación rápida y sofisticada del detector ATLAS en el LHC.*

Resolución	*Fast simulation*	*Full simulation*
	σ (GeV)	σ (GeV)
$t \rightarrow bjj$	13.93	21.11
$t \rightarrow bl\nu$	11.92	12.67
m_{tt}	19.39	17.5