

CORRELACIÓN DE LA ACTIVIDAD SOLAR CON LOS EXPERIMENTOS NM64 Y LAGO

SOLAR ACTIVITY CORRALITION WITH THE EXPERIMENTS NM64 AND LAGO

VLADIMIR ROGER MIRANDA LA HERA†

Instituto de Investigaciones Físicas, Carrera de Física
Universidad Mayor de San Andrés
c. 27 Cota-Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8639
La Paz – Bolivia

RESUMEN

En este trabajo se analizan los datos correspondientes al flujo de neutrones provenientes del Sol registrados por el Monitor de Neutrones NM64, y por el experimento LAGO, que es sensible a rayos gamma. Durante este periodo (marzo-mayo, 2012) ocurrieron dos destellos solares moderados de magnitudes M8.4 (10 de marzo) y M7.9 (13 de marzo) que estuvieron en el campo de visión de Chacaltaya (La Paz, Bolivia). El análisis de datos que se presenta en este trabajo - realizado en Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya - tiene por objeto estudiar el efecto de la actividad solar sobre dicho flujo de neutrones (se conoce bien la anticorrelación que existe entre la actividad solar y el flujo de neutrones cósmicos que llegan a la Tierra). Se concluye que los registros de ambos experimentos no muestran efecto alguno, mientras el análisis del flujo de partículas en ambos detectores muestra anticorrelación con las manchas solares.

Descriptor: Manchas y ciclos solares — Emisión de partículas y viento solar — Actividad solar

Código(s) PACS: 96.60.qd, 96.60.Vg, 96.60.Q-

ABSTRACT

We analyze the data corresponding to the neutron flux as registered by the Neutron Monitor NM64 which detects neutrons emitted by the Sun, and by the LAGO experiment which is sensible to gamma rays. During this period (March-May 2012) two solar bursts occurred with magnitudes M8.4 (March 10) and M7.9 (March 13) which were within the range of Mount Chacaltaya (La Paz, Bolivia). The data analysis presented in this work (carried out in the Chacaltaya Cosmic Physics Laboratory) is aimed at studying the effect of the solar activity upon the neutron flux, for which the anticorrelation between the solar activity and the neutron flux is well known. We conclude that, while the records of both experiments do not show effects, the analysis of the particles' flux upon both detectors show anticorrelation with the solar spots.

Subject headings: Sun spots and solar cycles — Particle emission and solar wind — Solar activity

1. INTRODUCCIÓN

El Sol es el único acelerador de iones al que se tiene acceso, la aceleración de iones es tan elevada que puede acelerar iones a energías relativistas ($\sim 1\text{GeV}$), en la actualidad se elaboran distintos estudios a causa de las fulguraciones solares (manchas solares, erupción solar, etc) que tiene y por los niveles de energía capaz de producir. También, libera explosiones de energía conocidas como destellos o erupciones solares que se asocian a violentas explosiones en la fotosfera del Sol, estos se dan en la corona y cromosfera solar, teniendo en la mayoría de

los eventos el origen alrededor de manchas solares (Watanabe & et al. 2003). Un destello solar es capaz de liberar en pocos minutos alrededor de 10^{29} - 10^{33} ergs de energía en forma de radiación electromagnética y aceleración de partículas.

Durante un destello solar se producen distintos tipos de partículas de iones y electrones, además partículas neutras, protones y otros, sin embargo para evitar la complejidad que se genera por los campos magnéticos solo se estudian partículas neutras, en especial neutrones (n), espectros de rayos gamma (γ) y neutrinos producidos por la interacción de partículas aceleradas junto con la atmósfera solar. Estas partículas son capaces de viajar directa-

†Email: vladimirmh@hotmail.com

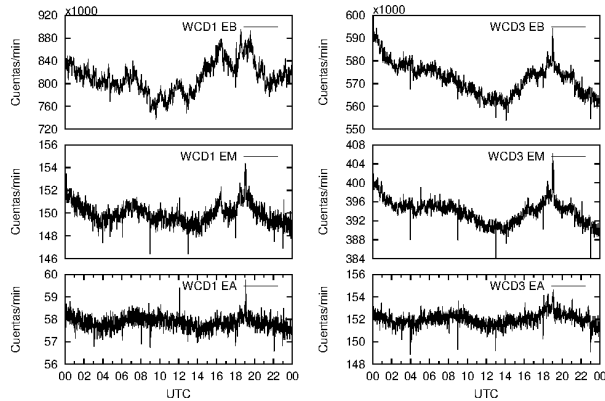


FIG. 1.— Datos correspondientes al 10 de abril de 2012 en LAGO. La izquierda corresponde al detector de $2 m^2$, a la derecha se encuentra el detector de $4 m^2$

mente a la Tierra sin ser desviados, dando como resultado la oportunidad de obtener información sobre su aceleración, densidad de partículas, nivel de energía, etc; de manera que se observa una ventaja al estudiar partículas neutras (Sako & et al. 2006). Si bien, el estudio de los neutrinos es descartado por su dificultad de observación experimental, es posible estudiar los n y γ .

En el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya se encuentran instalados detectores capaces de poder estudiar las partículas. Los neutrones son estudiados por el monitor de neutrones, formado por 12 detectores del tipo NM64 (Neutron Monitor 64 por sus siglas en inglés) cubre un área de $13.1 m^2$. Por otro parte, los rayos γ se esperan detectar en el experimento LAGO (Large Array GRB Observatory por sus siglas en inglés) formado de 3 WCD (Water Cherenkov Detector), el WCD1 posee un diámetro y altura de $1.4 m$; mientras que los otros dos detectores son de $2.2 m$ y tienen $1.5 m$ de altura instalados en las esquinas del área de $15 m \times 10 m$, estos discriminan tres umbrales de energía de 4.4 , 8.9 y $44 MeV$ (Para facilidad de los umbrales, es tomado de aquí en adelante a $EB = 4.4$, $EM = 8.9$ y $EA = 44$, estos corresponden a energías baja, media y alta). Los datos de ambos experimentos se acumulan en distintos lapsos de tiempo, el NM64 registra ritmos de conteo con intervalos de $10 s$; mientras que LAGO corresponde a intervalos de $5 ms$ para cada dato. En las figuras (1) y (2) se muestra el registro típico diario de los experimentos, en la primera se observan los umbrales de los WCD1 y WCD3; mientras que en la segunda se dispone solo una figura con la suma de los 12 detectores NM64.

En general, los neutrones relativísticos solares ya fueron observados y estudiados en todas sus características por el NM64 (hoy en día es tomado como parámetro de referencia) en los destellos solares, sin embargo para manchas solares se espera que presente un comportamiento similar a la figura (3), en cambio para LAGO no se han detectado los γ de energía solar que puedan ser correlacionados con neutrones. En vista que el NM64 ya demostró su sensibilidad en los destellos solares, en la presente investigación se busca encontrar una sensibilidad seme-

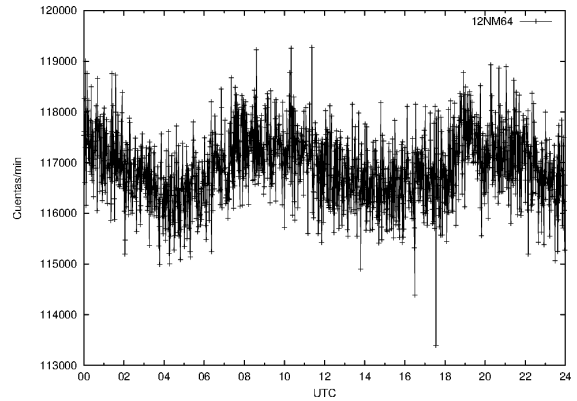


FIG. 2.— Datos correspondientes al 10 de abril de 2012 del NM64

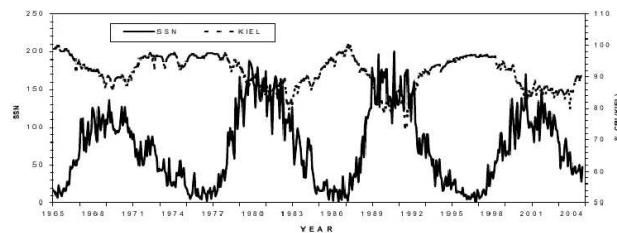


FIG. 3.— Variación de intensidad a largo plazo del monitor de neutrones Kiel (Curva superior) con las manchas solares del 1965-2004 (Curva inferior)(Gupta & et al. 2005)

jante en el experimento LAGO, donde en ambos casos se tenga incrementos que duren más de 5 minutos como consecuencia de un destello solar y además permitan conocer el comportamiento de estos hacia las manchas solares.

2. TRATAMIENTO DE DATOS

Los datos de los experimentos NM64 y LAGO se han reducido a cuentas por minuto en archivos diarios de ambos experimentos, al acumular los datos se vió que existe falta de algunos datos, como resultado las interrupciones alcanzan el 30% de los 90 días estudiados.

En este sentido, se construyó un programa que interpola los datos faltantes a lo largo de un día, luego se elabora un promedio que se encuentre dentro del margen y complete los datos. Posteriormente, con los datos completos se suman satisfactoriamente llevando a minutos. Cabe recalcar que esto solo comprende al tiempo de los experimentos, en cambio con los datos del flujo de partículas se debe elaborar un distinto manejo dependiendo del caso. Es decir, los datos del NM64 comprenden la suma de 12 detectores aportando 1 resultado, en cambio los datos de LAGO corresponden a 3 detectores con 3 diferentes umbrales cada uno, en consecuencia proporciona cerca de 9 resultados diferentes.

Buscando una solución analítica (Figura (1)) para LAGO, se muestra en la figura los resultados de los detectores WCD1 y WCD3 (Por la semejanza del WCD2 con el WCD3 solo se toma en cuenta a WCD3 ya que ambos tienen $4 m^2$) en minutos, en general se observan distintos niveles de cuentas para las distintas energías, sin embargo, recurriendo a otros tra-

masa [u.m.a]	1.0086649156
$m_n - m_p$ [u.m.a]	0.0013884487
vida media , τ [s]	885.5 \pm 0.8
carga , $[q_e]$	(-0.4 \pm 0.1) $\times 10^{-21}$

TABLA 1
CONSTANTES FÍSICAS DEL NEUTRÓN n

bajos (Rivera 2007), se vió que el WCD1 es el mas eficiente, por lo que se utiliza los resultados del contador WCD1 con el nivel de energía más bajo EB y que presentarían resultados que se ajustan a la actividad solar que se pretende medir.

Para la corrección del flujo de partículas fue necesario elaborar una determinada limpieza siempre que se observan datos sobresalientes a causa del ruido generado, estos se reducen por interpolación. No obstante, en ausencia de datos de días prolongados no es posible utilizar un programa para recrear los datos, puesto que en muchas ocasiones mostraron que los datos corregidos no respondían al comportamiento real de los detectores, en consecuencia estos datos se anularon.

Finalmente, se debe mencionar que los datos utilizados en este tratamiento corresponden a los datos de marzo, abril y mayo de 2012.

3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO SOBRE EL FLUJO DE NEUTRONES

El flujo de neutrones solares observado cerca de la Tierra y sobre el suelo es muy pequeño, debido al corto tiempo de vida de los neutrones (Ver tabla 1) y a la atenuación atmosférica terrestre. Si bien los neutrones solares no poseen carga y no son afectados por campos magnéticos a lo largo de su camino a la Tierra, su observación debe involucrar la detección de partículas secundarias producidas por interacciones con otras partículas. Como el tiempo de producción de neutrones solares cerca de la superficie del Sol puede ser determinado por mediciones de sus energías, los detectores de neutrones deben ser capaces de medir energías de neutrones (Lopez 2008). Si bien en el espacio, es posible detectar neutrones de baja energía, en ausencia de materia su flujo es atenuado solamente por su decaimiento, mientras que en la Tierra, los neutrones de baja energía son fuertemente atenuados por la atmósfera terrestre por lo que es necesario colocar detectores de neutrones en montañas a gran altura. De esta manera, los neutrones después de ingresar a la atmósfera terrestre, ciertos neutrones son dispersados por núcleos atmosféricos mientras que otros neutrones de baja energía son producidos como resultado de la interacción de la atmósfera con otras partículas.

El experimento NM64 consiste principalmente de cuatro partes; el reflector, productor, moderador y contador. El reflector es una caja construido con láminas de 7.5 cm de espesor de polietileno, se encarga de rechazar los neutrones de baja energía producidos en la atmósfera y en las sustancias cercanas al monitor de neutrones. Un cilindro de plomo es usado como productor, el diametro es de 24.5 cm y espesor de 1.2 cm. Otro cilindro interno es usado

como moderador, es de polietileno de 2 cm de espesor para desacelerar neutrones hasta energías térmicas, el cual está localizado entre el contador y el productor. El contador es un tubo cilindrico de 288 cm de largo con BF3 está localizado dentro del productor.

Con los resultados del experimento, se hace un análisis estadístico que refleje el flujo de n de NM64 y pueda destacar numéricamente los hechos más llamativos que fueron encontrados. Para tal caso, en la población diaria de datos brutos se encuentran los coeficientes usualmente utilizados; la media y_m , desviación típica σ_t y el error E , S_t (ecuación (2)) corresponde a la suma total de los cuadrados de las diferencias entre la y medida y la media poblacional \bar{y} expresados a continuación.

$$y_m = \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^N y_i}{N} \quad (1)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \quad (2)$$

$$\sigma_t^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}{N} \quad (3)$$

$$E = \frac{\sigma_t}{\sqrt{N}} \quad (4)$$

$$y = y_m \pm E \quad (5)$$

Con E encontrado, se determina el y que corresponde a las cuentas del flujo, donde y_m es el valor que se encuentra al medio de los datos medidos. Esto nos ayuda a elaborar la corrección de los datos y encontrar el error (o dispersiones) al que se encuentra sujeto el flujo.

Con la finalidad de encontrar incrementos producidos por erupciones solares del orden de minutos trabajamos con muestras de datos en lugar de la población diaria, en consecuencia para este trabajo calculamos la *media variable* (ecuación (6)), permite encontrar un promedio para cada minuto de tal manera que se obtiene una gráfica que presenta el promedio. Encontrando la *media variable*, se procede a encontrar la *varianza* de la población por muestras (ecuación (7)); no obstante, es necesario obtener una desviación poblacional. Cabe recalcar cuando se presentan gráficas se utilizan los estadísticos muestrales y cuando se presentan resultados, corresponden a resultados poblacionales, en el presente trabajo n es de 30 y N de 1440 minutos.

$$\bar{y}_i = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n} \quad (6)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n} \quad (7)$$

Para continuar se debe minimizar la suma de los cuadrados de los residuos entre la y medida y la media variable \bar{y}_i como se muestra en la ecuación (8), obteniendo una línea única para la muestra que viene a representar por S_r .

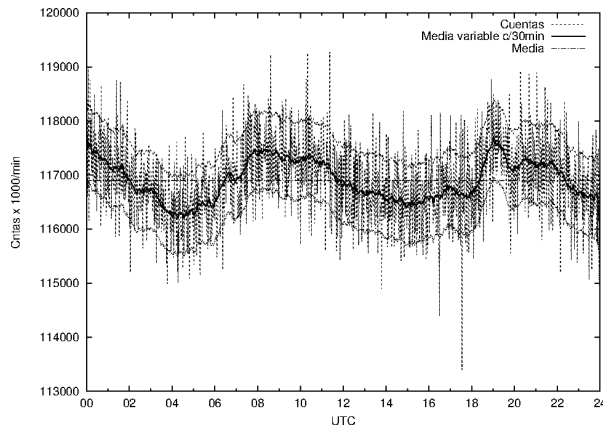


FIG. 4.— Registro del NM64 junto a su media variable y media, datos correspondientes al 10 de abril.

$$S_r = \sum (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad (8)$$

La diferencia entre las cantidades, $S_t - S_r$, cuantifica la mejora o reducción del error por describir los datos en términos de una línea recta en vez de un promedio. Como la magnitud de esta cantidad depende de la escala, la diferencia se normaliza a S_t para obtener la ecuación (9), r^2 se conoce como el coeficiente de determinación y r como el coeficiente de correlación, esto ayuda a encontrar la media variable mejor ajustada a los datos.

$$r^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (9)$$

Alternativamente el coeficiente de correlación usado es:

$$r = \frac{N \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (10)$$

Como resultado en la figura (4) para el NM64 se muestran en el eje horizontal las horas en UTC y en el eje vertical se encuentran las cuentas totales, media poblacional, media variable ($c/30min$) y medias variables desfasadas por $\pm\sigma$, la media variable persigue un comportamiento similar a los datos originales.

Para verificar la funcionalidad de las ecuaciones, la figura (5) muestra la distribución normal para la figura (4). La desviación típica resulta $\sigma = 715.27$ que se muestra en la figura (4) las líneas encima y debajo de la media variable, esto corresponde a un $r = 0.61$.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO SOBRE EL FLUJO DE GAMMAS

Los fotones gamma son conocidos como las emisiones más energéticas de radiación electromagnética que llegan en períodos de tiempo muy corto del orden de los segundos, estos se encuentran distribuidos de manera isotrópica y en promedio se puede ver un destello por día. Durante el seguimiento de las erupciones solares se detectan rayos gamma, tanto por satélites como por detectores en la tierra como los detectores WCD conocidos como detector de agua Cherenkov. Los WCD son

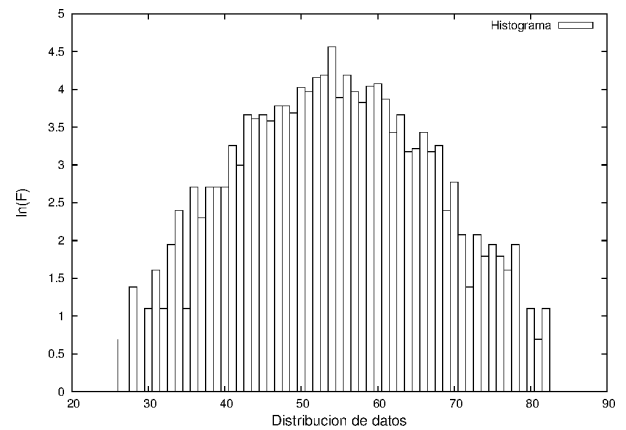


FIG. 5.— Gaussiana del NM64 para el 10 de abril alrededor de la media $\bar{y} = 116899$

capaces de registrar la caída de las partículas secundarias basando en el efecto Cherenkov que se produce cuando una partículas cargada se mueve en un medio transparente a una velocidad mayor a la que tendría la luz en dicho medio, generando una perturbación electromagnética que origina una luz; como se mencionó, el experimento LAGO hace uso de este tipo de detectores. En general, LAGO tiene el objetivo de detectar la componente de alta energía de los destellos de rayos gamma, usando la técnica de partículas individuales en arreglos de detectores de agua Cherenkov. La técnica que se utiliza para la determinación de rayos γ se basa en el efecto Cherenkov con la ventaja de poder observar fotones gamma (γ) secundarios que constituyen el 90% de las partículas secundarias que son generadas por partículas primarias de alta energía que se generan como consecuencia de la interacción de partículas (Quispe 2010).

Las partículas que ingresan dentro de los tanques WCD se transforman en fotones ópticos, dependiendo siempre del tipo de partículas que interactúan con la materia (e^\pm , μ^\pm y γ^\pm), seguidos por procesos físicos, se puede registrar los eventos de rayos cósmicos. Forrados internamente con materiales de alta reflectividad más del 80% de los fotones Cherenkov son reflejados y captados por los fotomultiplicadores. El tiempo que un γ tarda en llegar del Sol a la Tierra corresponde a 480 s.

De igual manera al NM64, se utilizan las ecuaciones (1-10), además como resultado se muestran las figuras (6) y (7), en la primera se observa a la *media variable* persiguiendo cada una de las elevaciones de los datos originales, en la segunda se observa la campana de gauss con el mejor ajuste.

Las ecuaciones (1-10) permiten el estudio en las gráficas que se presentan en las secciones precedentes, también se trabaja con las *media variable* de ambos detectores.

5. CORRELACIÓN DE PARTÍCULAS

Para verificar una correlación de partículas, se debe encontrar un comportamiento similar en ambos experimentos, en este sentido se presenta la figura (8). Donde en (8.a) y (8.b) las gráficas con mayores

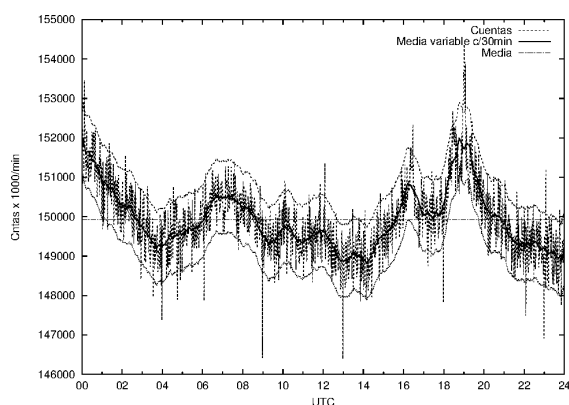


FIG. 6.— Registro del LAGO en minutos junto a su media variable y media, datos correspondientes al 10 de abril.

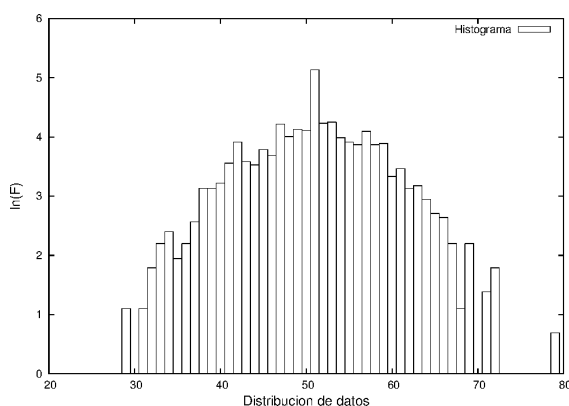
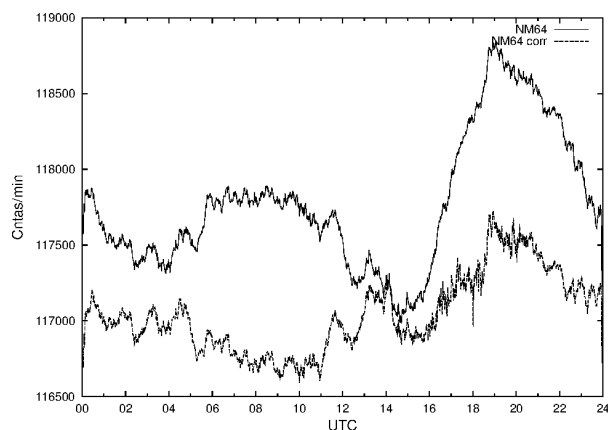


FIG. 7.— Distribución normal para datos correspondientes al 10 de abril alrededor de $\bar{y} = 144925$

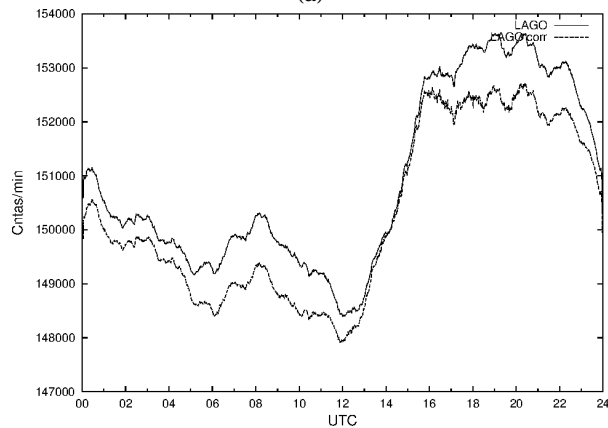
cuentas muestran los datos de la media variable detectados por el NM64 y LAGO, (8.c) refleja la presión en Chacaltaya. El comportamiento de la presión es inverso a las cuentas de los experimentos, pues a mayor cantidad de partículas (Cntas/min) existe una menor presión. Esto sucede en respuesta al registro continuo de la componente nucleónica que evidencia una fuerte dependencia de la presión atmosférica, mientras las variaciones de la temperatura en la atmósfera pueden ser mucho menores y ser despreciadas (Ticona & et al. 1998). Por esta razón, los registros del monitor de neutrones deben ser corregidos por efectos de carácter atmosférico según la ecuación (11), dado por el número de cuentas $N(p)$ deben ser reducidos a un valor de referencia p_o de la presión atmosférica, p es la presión atmosférica y β conocido como el coeficiente barométrico. La corrección por presión no debe ser puesta solamente en el monitor NM64, sino también al LAGO, puesto que se desconoce la sensibilidad de éste ante efectos atmosféricos.

$$N(p) = N(p_o)e^{-\beta(p-p_o)} \quad (11)$$

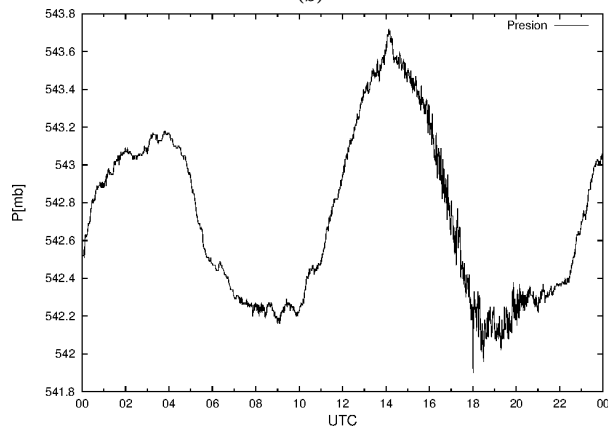
El cálculo del β se encuentra mediante un análisis de la regresión de p sobre N utilizando algún método directo de correlación simple, los resultados de β para los experimentos NM64 y LAGO son 0.0063 y 0.0042 (Figuras (9.a) y (9.b)). Si bien los datos son



(a)



(b)



(c)

FIG. 8.— Datos correspondientes al 11 de mayo. (a) Media variable (Mayores cuentas) y media variable con corrección por presión del monitor (Menores cuentas). (b) Media variable (Mayores cuentas) y media variable con corrección por presión detectados por LAGO (Menores cuentas). (c) Presión.

corregidos para observar el efecto en los experimentos (Figuras (8.a) y (8.b) con menores números de cuentas), el experimento LAGO presenta una menor sensibilidad que el NM64 hacia la presión, esta corrección se mantendrá para la elaboración de las siguientes figuras.

Dado que el Sol presenta una gran cantidad de distintas actividades solares, se busca observar el comportamiento del experimento LAGO hacia estos. Entre los fenómenos más interesantes del Sol, asocia-

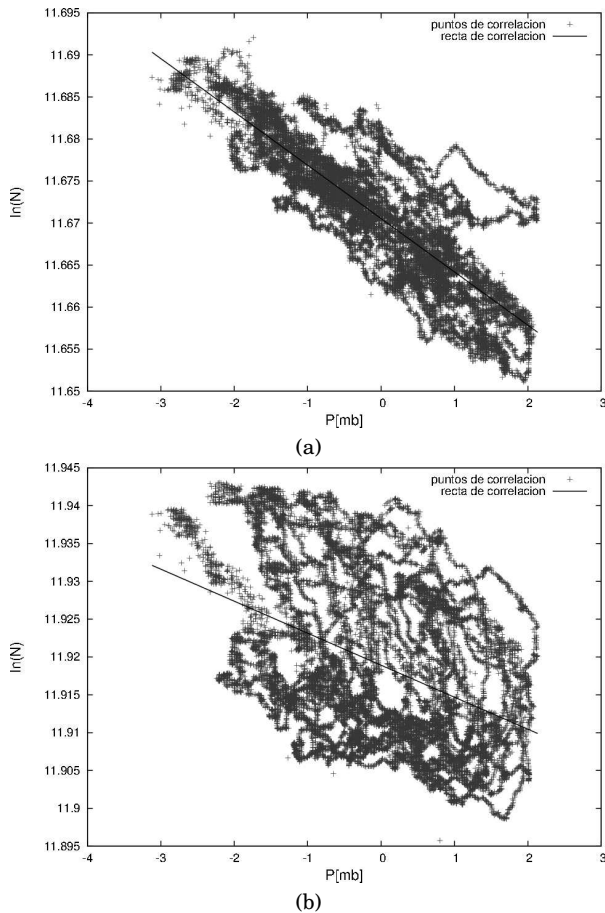


FIG. 9.— Regresión para encontrar β (a) NM64. (b) LAGO.

dos a regiones activas se encuentran los destellos solares capaces de emitir un espectro de onda variado y las manchas solares ya que existe una relación con cada grupo de manchas solares y las regiones activas. Tanto las manchas como los destellos solares presentan una mayor actividad en el centro de los ciclos solares, en la actualidad el Sol se encuentra en el ciclo solar 24 que comenzó el 8 de enero del 2008; en consecuencia, todavía se encuentra en ascenso siendo la punta el 2013. No obstante, vale la pena observar los efectos causados por estas actividades dado que el Sol se encuentra solo un año de llegar a su máximo. Si bien el NM64 es capaz de medir los n en los destellos solares (Watanabe & et al. 2003; Sako & et al. 2006), presenta además una relación negativa con el número de manchas solares en años (Tiwari & et al. 2011), el experimento LAGO debe presentar algún tipo de relación puesto que ciertos γ se generan en estos fenómenos.

Los primeros 5 meses del presente año muestran que hubo todo tipo de destellos (Clase GOES A \sim X, corresponde a la clasificación elaborada por el pico del flujo de rayos X medidos en la nave GOES) sobre el campo de visión de Chacaltaya, sin embargo no se pudo observar los de mayor magnitud X porque el equipo estaba parado; no obstante, fue posible encontrar ciertos eventos de magnitud M asociados a las partículas buscadas.

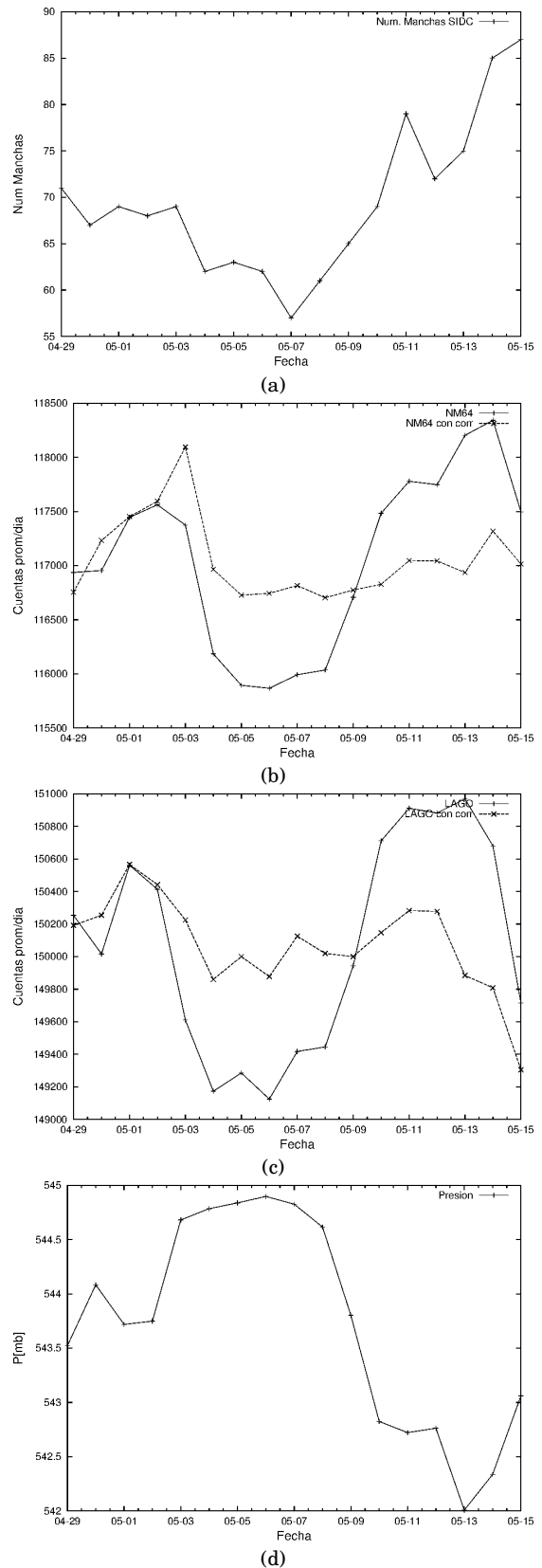


FIG. 10.— Modulaciones promedio de datos del 29 de abril al 15 de mayo. (a) Número de manchas solares tomados del SIDC (Solar Influence Data Analysis Center). (b) Cuentas y cuentas con corrección en NM64. (c) Cuentas y cuentas con corrección LAGO WCD1 EB. (d) Presión.

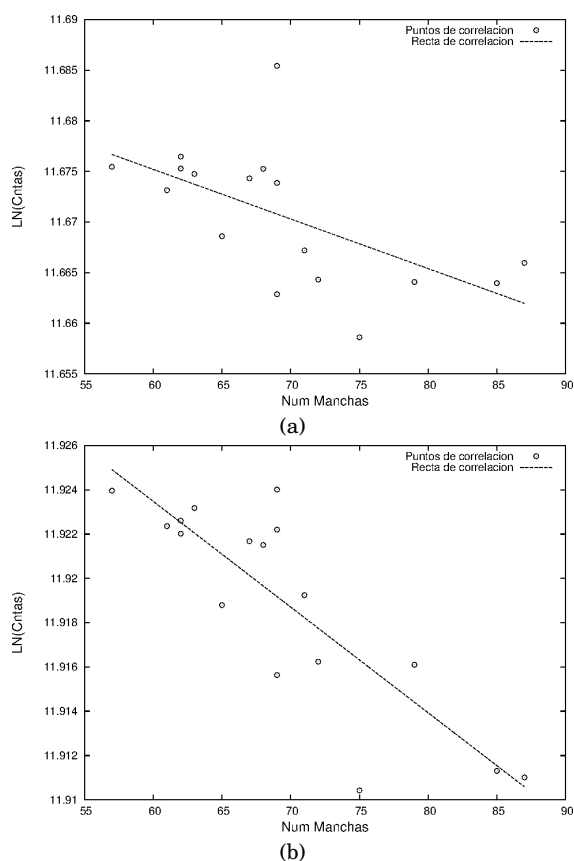


FIG. 11.— Correlaciones de los detectores con las manchas solares. (a) Experimento NM64. (b) Experimento LAGO.

Para el estudio de las manchas solares se presenta un valor total diario que corresponde al número de Wolf de un día. Para el estudio de los detectores respecto las manchas solares, se encuentra los promedios totales a lo largo de un día, para este fin también se toma en cuenta la corrección por presión diaria, en este estudio no se pudo encontrar datos de ambos experimentos y la presión para lapsos mayores a 17 días continuos.

La figura (10) muestra las manchas solares (Datos de manchas solares extraídos de SIDC Solar Influence Data Analysis Center) junto a los detectores y la presión (Datos correspondientes del 29 de abril al 15 de mayo). El primero de estos casos es el registro del número total de manchas solares a lo largo de cada día (Figura (10.a)), se destaca un incremento de manchas en los últimos 7 días en relación a los días anteriores, al mismo tiempo se encuentran incrementos o decrementos en los experimentos NM64 (Figura (10.b)) y LAGO (Figura (10.c)) en los datos sin corregir. La presión (Figura (10.d)) muestra un comportamiento inverso a los experimentos a lo largo de los días, de modo similar presenta un comportamiento inverso a las manchas solares. A causa del comportamiento inverso entre las manchas solares y la presión, es posible que también el monitor NM64 muestre el mismo comportamiento hacia las manchas solares, LAGO refleja cierta relación directa al comportamiento del NM64, es decir ambos muestran incrementos o decrementos en periodos similares.

Para obtener un resultado cuantitativo del comportamiento de los experimentos NM64 y LAGO, y que presente una correlación de éstos hacia algún fenómeno que responda a la actividad solar, es necesario obtener un resultado entre las manchas solares y los experimentos. En respuesta a la figura (10) que muestra una relación directa entre el número de manchas solares y las cuentas diarias de los experimentos NM64 y LAGO se construye la figura (11) mostrando los puntos en los que coinciden los experimentos, y que además presenta una recta de correlación.

En la figura (11.a) se presenta la correlación de los n detectados por el NM64 respecto el total de las manchas solares, es posible distinguir una relación entre estas variables, puesto que se muestra que a mayor medida de n se encuentra un menor número de manchas; sin embargo en respuesta a esta relación directa es posible encontrar el coeficiente de determinación de $r^2 = 0.35$ que presenta un comportamiento de anticorrelación bastante bajo, es posible que este coeficiente sea mayor para una mayor cantidad de datos según la figura (3). Para la correlación de LAGO (Figura (11.b)) se tiene una correlación con menor dispersión de datos, en consecuencia presenta un $r^2 = 0.71$ cuya recta de correlación en relación a los datos presenta un mejor ajuste, en resumen ambos presentan una anti correlación (Tiwari & et al. 2011; Gupta & et al. 2005) Estos comportamientos deben seguir una ecuación $N = N_0 e^{-\alpha m}$, donde m es el número de manchas solares, mientras que N corresponde a los datos que entran.

6. CONCLUSIONES

Se logra realizar un primer estudio de la correlación de partículas de los experimentos NM64 y LAGO situados en el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya con las manchas solares. Confirmando una anti correlación entre ambos. Dado que se trabajaron con valores de solo 3 meses en un ciclo solar de 11 años, los coeficientes de correlación son pequeños sin embargo, se observa la modulación producida por las manchas solares sobre el número de partículas detectadas por unidad de tiempo, se destaca el hecho que la anti correlación es más clara en el caso de LAGO.

Por otra parte, el análisis realizado para encontrar una correlación cuantitativa entre la actividad solar y los detectores (en especial LAGO), en base a la figura (11) muestran una anti correlación para el NM64 con un coeficiente $r^2 = 0.35$, en LAGO se tiene un valor de $r^2 = 0.71$, este resultado parece perseguir un comportamiento inverso entre las manchas solares y el flujo de partículas como debe ser. Puesto que el tratamiento de estos datos son de solo 17 días, es posible confirmar un mejor comportamiento inverso del NM64 hacia las manchas si se utilizan periodos anuales y posteriormente verificarlo con LAGO.

Para los destellos solares en ambos experimentos no se llega a observar un claro comportamiento en ambos, puesto que se tratan de destellos solares de magnitud M que para los experimentos no apor-

tan ningún incremento brusco de flujo de partículas. Para un estudio de este tipo se debe tratar de esperar los destellos más energéticos.

Para estudios futuros se sugiere continuar este es-

tudio por todo el ciclo solar 24, dado que faltan pocos meses para situarse en el pico máximo (Año 2013), además utilizar una mayor cantidad de datos para la elaboración de las figuras.

REFERENCIAS

- Gupta M. & et al. (2005), *29th International Cosmic Ray Conference - Pune*, 101–104
- Lopez N. (2008), *Análisis de eventos producidos por neutrones solares detectados en el Monte Chacaltaya* (U. M. S. A.)
- Quispe J. (2010), *Búsqueda de destellos de Rayos Gamma (GRBs) en el monte Chacaltaya con detectores de agua Cherenkov* (U. M. S. A.)
- Rivera H. (2007), *Implementación y calibración de un prototipo de detector Cherenkov de chubascos atmosféricos* (U. M. S. A.)
- Sako T. & et al. (2006), *The Astrophysical Journal*, **651**, 69
- Ticona R. & et al. (1998), *Revista Boliviana de Física*, **4**, 83
- Tiwari K. & et al. (2011), *Indian J. Sci. Res.*, **2** (4), 15
- Watanabe K. & et al. (2003), *The Astrophysical Journal*, **592**, 590