

# FÍSICA DE NEUTRINO EN EL EXPERIMENTO MINERvA

Álvarez Martínez Jonathan Ulises (1). Félix Valdez Julián (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería en Física] | [Dirección de correo electrónico: alvarezmj2013@licifug.ugto.mx]

2 [Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato] | [Dirección de correo electrónico: felix@fisica.ugto.mx]

## Resumen

En el presente artículo se estudia y define la sección transversal de dispersión, en particular las publicaciones realizadas en MINERvA haciendo énfasis en los artículos que contienen información sobre secciones transversales de dispersión. También se extractaron datos de experimentos que trabajan con secciones transversales de dispersión tales como MiniBooNE, Micro Boone, k2k, y ArgoNeuT. MINERvA es el primer experimento en el mundo en utilizar haces de neutrinos (antineutrinos) a alta intensidad para estudiar las interacciones con 5 diferentes núcleos simultáneamente siendo el primero en hacer comparaciones entre distintos elementos de manera autónoma (<http://minerva.fnal.gov/>), además esos datos experimentales fueron extractados y graficados con el software ROOT CERN® y comparados, en lo posible, con otros experimentos que involucran secciones transversales de dispersión de neutrinos, concluyendo que los neutrinos interactúan un mayor número de veces que los antineutrinos cuando están sometidos bajo las mismas condiciones experimentales.

## Abstract

In this paper we start with the study and definition of scattering cross section, in particular the study of the publication from MINERvA where we do emphasis in the articles which contain cross section data. We obtain data from experiment working with cross sections, experiments like MiniBooNE, MicroBooNe, k2k, and ArgoNeuT. MINERvA is the first experiment in the world that uses high intensity neutrino beams to study the interaction with 5 different targets, simultaneously, being the first to make comparisons between different elements autonomously as well (<http://minerva.fnal.gov/>), these experimental data were extract, compared, when possible, and plotted using the software ROOT CERN®. We conclude that the neutrinos interact with a greater number of times than antineutrinos when subjected under the same experimental conditions.

## Palabras Clave

Neutrinos; Sección transversal de dispersión;

## INTRODUCCIÓN

El universo está regido por 4 fuerzas fundamentales mediante las cuales interactúan las partículas, la gravitatoria, la fuerza electromagnética, la fuerza fuerte y la fuerza débil. Ésta última es de nuestro interés ya que es la fuerza por la cual se dan las interacciones de los neutrinos, de los cuales se tienen 3 sabores, neutrino asociado al muón, al electrón y al tau. [1]. Los neutrinos son por mucho las partículas más abundantes de nuestro universo. Alrededor de 100 millones de millones de neutrinos pasan a través de nuestro cuerpo sin interactuar con ninguna partícula. Se piensa que los neutrinos son un ingrediente vital en el proceso de supernovas. Los neutrinos incluso proporcionan una herramienta para estudiar la estructura de los nucleones, para aprender cómo la materia constituye desde simples partículas hasta sus composiciones más complejas, creando todo a nuestro alrededor [2]. Es por eso que es de sumo interés caracterizar las interacciones de los neutrinos con la materia, en el caso de interés las interacciones neutrino-nucleón, para entender esto no hace falta más que hacer estudio de un experimento de las características que MINERvA (Main INjector ExpeRiment for v-A por sus siglas en inglés) posee y que se concentra en las interacciones de los neutrinos sabor muón y electrón. MINERvA es el experimento con mayor precisión en la medición de las interacciones de los neutrinos con varios núcleos, aportando así datos experimentales de alta importancia. Para caracterizar las interacciones neutrino-nucleón es necesario adquirir información sobre la sección transversal de dispersión en las interacciones neutrino-nucleón. Las colisiones entre neutrinos y nucleones se obtienen incidiendo un haz de neutrinos en núcleos de distintos materiales. Al caracterizar las interacciones es posible darles aplicación a los neutrinos, tales como comunicaciones (incluso inter-estelares), detección de mantos acuíferos y petroleros. Es por ello que se realizó el estudio del experimento MINERvA y en específico los datos sobre sección transversal de dispersión, y así comparar los datos, cuando sean comparables, en éste y otros experimentos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de la investigación sobre la física de neutrinos en el experimento MINERvA los pasos fueron los siguientes:

- Revisión de la fenomenología de las interacciones neutrino-nucleón comenzando con el experimento de Rutherford.
- Estudio de la teoría de dispersión cuántica.
- Revisión de las publicaciones realizadas por MINERvA.
- Extracción de datos sobre sección transversal de dispersión de las publicaciones de MINERvA.
- Extracción de datos, en forma de tablas sobre sección transversal de dispersión de las publicaciones de MiniBooNE, MicroBooNE, etc.
- Elaboración de gráficas con los datos extractados de las publicaciones usando ROOT CERN®
- Comparación de gráficas, cuando los datos permitan una comparación directa.

El método para obtener mediciones en MINERvA es el siguiente: MINERvA es un experimento que utiliza un haz de neutrinos (o antineutrinos) que colisiona con blancos de distintos materiales (C, Fe, Pb, H<sub>2</sub>O Y CH) con objetivo de realizar mediciones de sección transversal.

En el detector de MINERvA; para crear un haz de neutrinos y realizar mediciones, se hace colisionar en primera instancia un haz de protones a 120 GeV de energía, proveniente de Nucleon Main Injector (NuMI), con blancos de carbono para que estas colisiones produzcan partículas cargadas (piones, muones etc.) que posteriormente serán enfocadas con un horno magnético hacia un tubo de decaimiento lleno de Helio, cuya longitud es de 675 m, donde las partículas alcanzarán su vida media y decaerán, éstas colisionarán con un muro de roca sólida de 240 m de espesor que detendrá todas las partículas cargadas en el haz, éste seguirá su camino pero sólo los neutrinos continuarán en él, obteniendo así un haz de neutrinos. Lo siguiente son las colisiones entre neutrinos y los distintos

blancos, que al colisionar producirán partículas capaces de ser detectadas tanto por los plásticos centelladores como por los calorímetros (hadrónico y electromagnético), en los cuales encuentra el área de “tracker” donde la trayectoria de las partículas es reconstruida, así como su energía. La energía se mide en 2 regiones espaciales: la primera es el “el vértice de energía” que es una esfera alrededor del vértice de interacción donde se mide la energía de la misma y la región de “energía de retroceso” que es donde se mide la energía depositada por las partículas creadas en dichas interacciones. El detector por centelleo de MINERvA contiene 200 planos hechos de centelladores triangulares paralelos y están orientados unos de otros a 60 grados, etiquetados en los ejes X, U y V dependiendo de su orientación. Al pasar una partícula cargada por el centellador ésta producirá un centelleo de luz con una energía proporcional a la de la partícula incidente. Cuando la luz pasa a través del plástico centellador, los dopantes en éste cambian la longitud de onda por una nueva correspondiente al verde, dicha luz viaja a través de fibras ópticas hacia fotomultiplicadores que están localizados encima del detector. Los datos recabados son usados para reconstruir la trayectoria de las partículas combinando las orientaciones X, U y V, donde las trayectorias de las partículas corresponden al estado final de las interacciones neutrino-nucleón. MINERvA cuenta con 32,000 plásticos centelladores y cada uno de ellos es un canal de detección [3]. Este fenómeno se describe en la Figura 1.

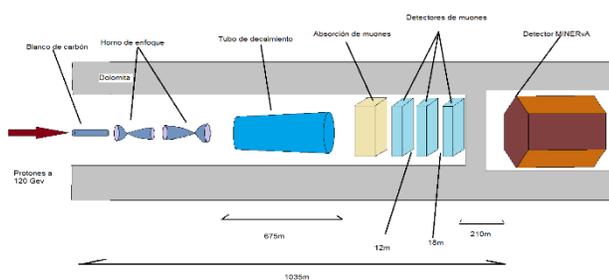


Figura 1: Diseño del haz de línea de NuMI usado como fuente de neutrinos y el detector MINERvA.

Para entender los datos de sección transversal, es definida lo que es una sección transversal de

dispersión y se describen los productos de las interacciones neutrino-nucleón [4].

Comenzando con las interacciones, éstas se dan de la siguiente manera:



La Interacción 1 consta de un antineutrino con un protón dando como producto una partícula leptónica ( $\ell^+$ ) y un neutrón ( $\eta$ ). En la interacción 2, a partir de un neutrino con un protón se obtiene una anti-partícula leptónica y un neutrón.



La interacción 3 generaliza la interacción de un antineutrino con un nucleón (protón o neutrón) y originando como producto una partícula leptónica y algo más. Posteriormente la interacción 4 representa la interacción entre un neutrino y un nucleón dando como producto una antipartícula leptónica y algo más. Ahora los leptones son partículas cargadas negativamente v.g. electrón, muón y tau. Las antipartículas leptónicas son las partículas cargadas positivamente positrón, anti-muón y anti tau.

Este tipo de productos son los dispersados en las secciones transversales. La definición de sección

$$\frac{N_{\mu}}{N_{\nu}} d\Omega \equiv \frac{d\sigma}{d\Omega} \quad (1)$$

Ec. 1: Diferencial de sección transversal de dispersión medida con respecto al ángulo sólido. Donde N es el número de partículas y tiene unidades de  $\text{cm}^2$ .

transversal de dispersión está descrita en la Ec. 1,

la cual representa el número de partículas dispersadas por unidad de área por unidad de tiempo [5].

La sección transversal de dispersión puede ser medida con respecto a distintas variables, entre ellas se encuentra la energía del haz de neutrino (o antineutrinos) “ $E_{\nu}$ ”, el ángulo de dispersión de alguna partícula producida en la interacción, denominada “ $\theta$ ”, el cuadrado del cuadrimomento transferido “ $Q^2$ ”, el momento “ $p$ ” de alguna partícula producida en la en la interacción.

Con las bases previas; fue posible la extracción de datos de sección transversal a manera de tablas, distinguiéndolos así por la variable con respecto a la que eran medidas. De esta manera fueron elaboradas 27 tablas con su respectiva gráfica, las cuales fueron hechas en el software de libre uso ROOT CERN®. Para cada gráfica se hizo un código en lenguaje de C++. Al final se lograron comparar directamente 8 tablas de datos extraídos del mismo experimento, es decir, los datos comparables directamente fueron aquellos que se obtuvieron por el mismo detector.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como parte de los resultados se muestran gráficas por parte de MINERvA, MiniBooNE y ArgoNeuT que pudieron compararse directamente. La Figura 2 muestra una comparación entre la sección

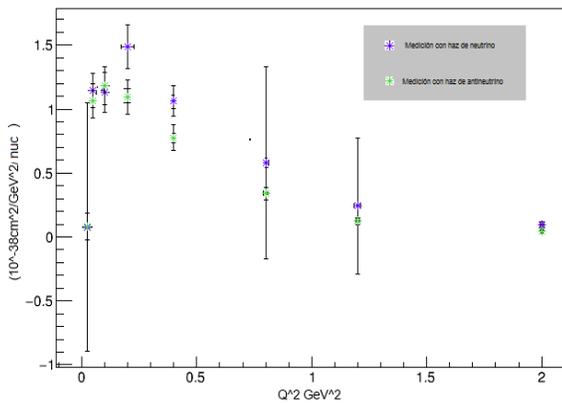


Figura 2: Comparación entre datos de sección transversal con respecto a  $Q^2_{0E}$  obtenidos por MINERvA utilizando un blanco de hidrocarburo. Las barras de error corresponden al error estadístico y sistemático.

transversal medida con respecto al cuadrado del cuadrimomento transferido, producto de la colisión de un haz de neutrinos y antineutrinos con una energía de  $\sim 3.5$  GeV con un blanco de Hidrocarburo [7-8].

La Figura 3 muestra la comparación entre la sección transversal medida con respecto al ángulo del pión obtenidas al colisionar un haz de neutrinos y antineutrinos con Argón como blanco resultando valores del ángulo  $0 < \theta_{\pi} < 70$  [6].

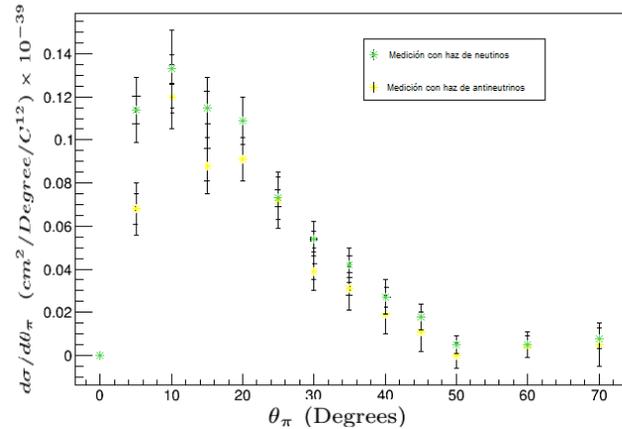


Figura 3: Comparación entre datos de sección transversal con respecto a  $\theta_{\pi}$  obtenidos por ArgoNeuT utilizando un blanco de Argón. Las barras de error corresponden al error estadístico y sistemático.

En la Figura 4 se muestra la comparación entre la sección transversal medida con respecto al momento del muón obtenidas al colisionar un haz de neutrinos y antineutrinos y Argón como blanco obteniendo valores del momento  $0 < p_{\mu} < 25$  [9].

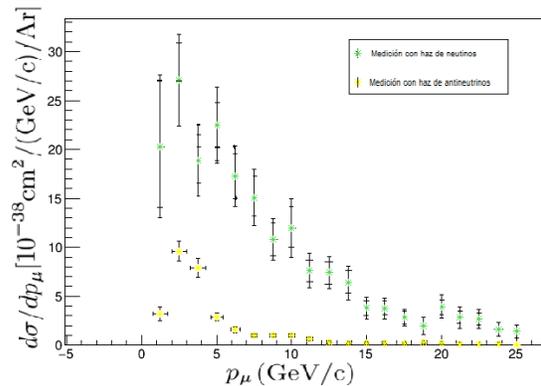


Figura 4: Comparación entre datos de sección transversal con respecto a  $p_{\mu}$  obtenidos por ArgoNeuT utilizando un blanco de Argón. Las barras de error corresponden al error estadístico y sistemático.

En la Figura 5 se muestra la comparación entre la sección transversal de dispersión medidas con

respecto al ángulo del muón al colisionar un haz de neutrinos y antineutrinos con Argón como blanco obteniendo  $0 < \theta_{\mu} < 40$ .

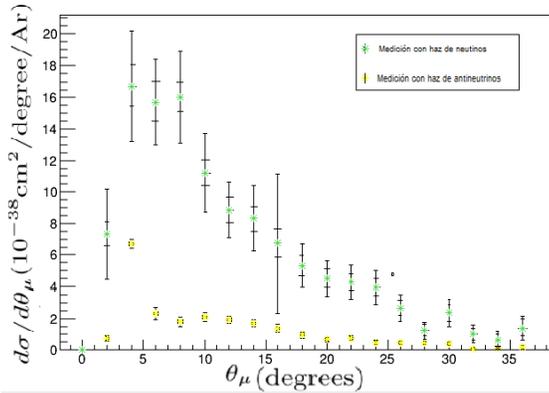


Figura 5: Comparación entre datos de sección transversal con respecto a  $\theta_{\pi}$  obtenidos por ArgoNeUT utilizando un blanco de Argón. Las barras de error corresponden al error estadístico y sistemático.

## CONCLUSIONES

Las interacciones neutrino-nucleón se dan en un mayor número cuando el haz incidente es de neutrinos. Es decir que los neutrinos interactúan con mayor frecuencia que su antipartícula. Esto se observa tanto en el ángulo de dispersión, así como el momento de las partículas (piones o muones) y en el cuadrado del cuadrimomento transferido. Si lo que se busca es darles alguna aplicación antes mencionada es una mejor opción trabajar con neutrinos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente al Dr. Julián Félix por los conocimientos transmitidos en la estancia del verano. A mi madre Lucía Martínez por su apoyo incondicional en la realización de este proyecto. Y a la organización de “veranos UG” por ayudar a jóvenes a prepararse como investigadores.

## REFERENCIAS

- [1] K.A Olive, et al. (2014) Particle Data Group MS 50R6008 Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA 94720-8166, USA.
- [2] D.D Stancil, et al. (2012) Demonstration of Communications using Neutrinos. Mod. Phys. Lett. A27 (2012) 1250077.
- [3] M. Alania, et al. (2012) Design, Calibration and Performance of the MINERvA Detector, Nucl. Inst. and Meth. A743 130.
- [4] Julián Félix (2004) Elements of high energy physics. El Cid Editor, Miami, USA.
- [5] David J. Griffiths (1994). Prentice Hall Inc. (pp 353-373), USA.
- [6] C. Anderson et. al. (2012) First Measurements of Inclusive Muon Neutrino Charged Current Differential Cross Sections on Argon. Physical Review Letters (PRL) 108 161802. [arXiv](#).
- [7] G.A. Fiorentin, et al. (2013) Measurement of Muon Antineutrino Quasi-Elastic Scattering on a Hydrocarbon Target at  $E_{\nu} \sim 3.5$  GeV, Phys. Rev. Lett. 111, 022501.
- [8] L. Fields, et al. (2013) Measurement of Muon Neutrino Quasi-Elastic Scattering on a Hydrocarbon Target at  $E_{\nu} \sim 3.5$  GeV, Phys. Rev. Lett. 111, 022502.
- [9] R. Acciarri et al, (2014) Measurements of Inclusive Muon Neutrino and Antineutrino Charged Current Differential Cross Sections on Argon in the NuMI Antineutrino Beam” Phys. Rev. D 89, 112003.