

## **BIOMECANICA APLICADA EN EL TEJO COMO DISCIPLINA DEPORTIVA** Applied biomechanics in tejo sport discipline

### **RESUMEN**

Este artículo analiza el tejo como disciplina deportiva y algunas variables biomecánicas: centro de gravedad del deportista, ángulo de tiro, fuerza de impulso y velocidad de lanzamiento del tejo, mediciones hechas utilizando métodos de investigación biomecánicas tradicionales como la medición del centro de gravedad según Bernstein y Fischer,[1] técnicas cinematográficas y métodos dinamográficos, en los cuales se utilizaron dispositivos como cámaras de video, fotoceldas [2], celdas de carga y galgas extensiométricas [2], dispositivos asociados a circuitos electrónicos que permiten una alta fiabilidad de los resultados, ya que es el primer estudio que se hace a este nivel en esta práctica deportiva.

**PALABRAS CLAVES:** Instrumentación, medición, sensores, tejo, variables biomecánicas.

### **ABSTRACT**

*This paper presents the kinematic chains present in tejo, seen as a sport, which include some joints in certain identified biomechanical variables, such as athlete's center of gravity, angle of shooting, driving force and speed tejo launch, measurements made using traditional biomechanical research methods as the measurement technique of center of gravity according to Bernstein and Fischer, film techniques and dinamograficos methods, which are used in devices such as camcorders high filming, photo cells, cells load and strain gauges, devices associated with electronic circuits that enable high reliability of results, since it is the first study that is done at this level in this sport.*

**KEYWORDS:** *biomechanical variables, instrumentation, measurement, tejo*

### **1. INTRODUCCIÓN**

El deporte del **Tejo** o también conocido desde sus inicios como **Turmequé** por sus orígenes en los indios precolombinos, consiste de una pieza metálica que es lanzada desde una cierta distancia hacia un blanco o bocín ubicado sobre una caja de greda [3].

La obra que sin lugar a dudas ha tenido más impacto sobre los investigadores de la actividad física ha sido *The action of muscles in bodily movement and posture* (escrito por Bowen en 1912), luego las brillantes investigaciones desarrolladas por GTL en 1922, el cual diseñó el modelo mecánico que explica la contracción muscular y aún sigue vigente en nuestros días, tuvieron su auge en la década de 1930 cuando comenzaron a desarrollarse las técnicas de registro de la actividad eléctrica de los músculos (electromiografía), en ese orden del desarrollo investigativo en 1955 Bunn publica su libro *Scientific principles of coaching*: donde desarrolló

Fecha de Recepción: 15 de Septiembre de 2009.

Fecha de Aceptación: 12 de Octubre de 2009

### **JAIR A. GARCIA ARIAS**

Lic. En Física-Matemática, M.Sc.  
Instrumentación Física  
Profesor Asociado  
Universidad del Quindío  
jairgarcia@uniquindio.edu.co

### **JOSÉ BESTIER PADILLA B.**

Lic. Electricidad y Electrónica, Esp.  
Redes de comunicación.  
Profesor Asistente  
Universidad del Quindío  
jbpadilla@uniquindio.edu.co

### **RAMIRO GARCIA ARIAS**

Lic. En Física, M.Sc. en física  
Profesor Titular  
Universidad del Quindío  
ramirogarcia@uniquindio.edu.co

aspectos metodológicos de pedagogía, ingeniería y educación física llegando a ser considerado como el primer libro de mecánica aplicada al deporte con una estructura adecuada para la enseñanza de la biomecánica deportiva orientada hacia los alumnos de Educación Física. En 1967 se celebró en Zurich, Suiza, el primer seminario de la Biomecánica el cual sirvió de inspiración y provocó un considerable incremento en el desarrollo de la biomecánica deportiva en Europa y la realización de un segundo seminario de Biomecánica en Holanda en 1969 [4].

Actualmente existen grandes laboratorios deportivos donde utilizando tecnología de punta se investiga sobre el movimiento deportivo, haciendo énfasis en el mejoramiento de la técnica con el objetivo de cualificar cada día los resultados y así obtener marcas de alta competencia .

En Colombia existe, para tales fines, el Centro de Alto Rendimiento ubicado en la ciudad de Bogotá, mientras que, en la Universidad del Valle en la ciudad de Cali se hizo el primer acercamiento al estudio biomecánico del deporte del tejo realizado por el docente José Acero.

## LA TÉCNICA DEPORTIVA

La práctica deportiva en general se puede dividir en dos categorías:

### A. *La recreativa*

Dedicada especialmente por aquellas personas que desean mantener un buen estado de salud, tanto físico como mental y para aquellos pacientes aquejados de alguna patología específica asesorados por un médico o una persona preparada en el tema,

### B. *La competitiva*

En la cual además de los beneficios sobre la salud del deportista es importante el resultado deportivo, bien sea con fines altruistas como la representación de un país, una región, una universidad, etc.; o con fines económicos, ya que en esta época las grandes multinacionales compiten por tener los mejores deportistas y eso involucra los mejores resultados.

Para obtener logros deportivos en alto rendimiento es importante manejar dos aspectos cruciales (entre otros) como son la **táctica y la técnica** [5] esta última se perfecciona con el entrenamiento repetitivo del gesto deportivo y del análisis de las variables biomecánicas del mismo, lo cual se hace en el laboratorio utilizando métodos de investigación propios de la práctica deportiva como son, por mencionar algunos de los que trataremos en este trabajo: la utilización de la electrónica y la fotografía.

## 2. VARIABLES BIOMECÁNICAS A MEDIR

### 2.1 VELOCIDAD DE RECORRIDO

El movimiento humano tiene lugar cuando una parte del sistema biológico en el aparato locomotor humano produce un gesto que hace parte de la expresión corporal adecuada de cualquier especialidad deportiva [6], es importante apreciar la velocidad del recorrido en el lanzamiento de tejo y su fase de vuelo teniendo en cuenta la extremidad superior que ejecuta el lanzamiento, momento en el cual el brazo va hacia adelante en forma rígida y arriba, teniendo en cuenta que la velocidad inicial en el tejo es producida por el impulso de cada una

de las fuerzas directas ejercidas por los músculos del brazo, antebrazo y mano con ayuda de las palancas y articulaciones que rodean e insertan dichos músculos y todas las cadenas cinemáticas biológicas que hacen parte del gesto técnico [6]. Se analiza la velocidad del tejo, mediante tecnología electrónica, desarrollado a partir de: un sensor óptico compuesto por un láser o detector de luz (Fotocelda) que al ser interrumpida se activa y registra el tiempo de salida del tejo, todo este mecanismo es controlado por un medidor de tiempo implementado por medio de una tarjeta de adquisición de datos Labjack, a partir de la cual, se identifican los tiempos de salida y llegada, de igual manera se ubica un sensor de vibración a 20 cm de profundidad de la parte superior del bocín y que marcará el tiempo de llegada, cuando se realiza el lanzamiento la fotocelda registra el tiempo de salida del tejo y el sensor detiene el tiempo cuando el lanzamiento ha realizado la moñona.

### 2.2 FUERZA DE IMPULSO EN EL LANZAMIENTO DE TEJO

El estudio biomecánico busca dar a conocer un estilo técnico mediante varios análisis de fuerza buscando el mejor o el más apropiado. Cada deportista utiliza una técnica personal, sin embargo, en la Escuela de Formación Deportiva Comfenalco Quindío la técnica es generalizada pues, la ubicación y desplazamiento son iguales en las competencias, teniendo en cuenta las condiciones psíquicas y físicas de cada uno de los deportistas. La mecanización del gesto técnico en el lanzamiento de tejo lograda en Comfenalco Quindío muestra una expresión deportiva aproximadamente homogénea, como resultado de un ciclo de entrenamiento y preparación física constante [3], allí se realiza la fuerza de impulso en el lanzamiento de tejo con varias etapas secuenciales partiendo desde la posición inicial que consta en el agarre del tejo y el primer paso de impulso culminando con el segundo paso el cual es el máximo recorrido para poder ejecutar la mayor fuerza, este movimiento es de forma ascendente debido al crecimiento de la fuerza muscular. De otra manera podríamos decir que la fuerza de impulso en el lanzamiento del tejo depende de diversas conexiones osteomusculares que ayudan a la ejecución del movimiento y que consta de una serie combinada de destrezas motoras como el equilibrio, la coordinación oculo-manual, la conservación de impulsos, la condición psíquica y la coordinación de impulsos parciales, destacando la extremidad ejecutante y la no ejecutante que juegan un papel preponderante a la hora de conservar el equilibrio en el lanzamiento del tejo.

En el lanzamiento del tejo se presentan diversos tipos de fuerzas musculares dentro de las que cabe destacar las realizadas por las palancas de diversos géneros que existen en el aparato locomotor humano, pues donde quiera que haya un músculo que se inserte en un hueso la articulación alrededor de la cual se efectúe el movimiento será el punto de apoyo. Queda todavía la inquietud, si el principio de fuerza absoluta para el resultado de un buen lanzamiento se realiza en su mayoría en la fuerza de apoyo; debe investigarse si la presencia de otras fuerzas parciales del lanzamiento pueden o no superar la fuerza de impulso en el lanzamiento de tejo pues según los resultados y el peso con el cual llega el deportista al punto de lanzamiento, es difícil que exista otro punto en su estructura biológica en el que se supere esta medición.

Como se puede observar, al momento de lanzar, el deportista queda apoyado en una de sus piernas y la otra se flexiona ayudando a mantener el equilibrio en el lanzamiento, concentrándose todo el peso en los músculos y articulaciones de la cadera, rodilla, tobillos, metatarsianos y los músculos que acompañan el movimiento aportando la elasticidad, contractilidad y tonicidad del gesto técnico.

### 2.3 ÁNGULO DE TIRO EN LANZAMIENTO DE TEJO

La importancia de este tópico radica en que el ángulo de inclinación del lanzamiento del tejo determina las características definitivas del movimiento parabólico que describirá el tejo una vez el jugador lo abandone a su suerte.

En el lanzamiento de tejo se produce flexión de la cadera permitiendo elasticidad en el lanzamiento, técnica utilizada por el americano O'BRIEN [7], sin embargo, el objetivo de la biomecánica es encontrar la técnica más adecuada a un movimiento propuesto teniendo en cuenta las propiedades biomecánicas del aparato locomotor humano. Utilizando la tecnología cinematográfica con una cámara de vídeo de alta frecuencia de filmación, se obtuvo una fotografía secuencial en el lanzamiento de tejo, el teleobjetivo era observar el momento de salida del tejo y conseguir la secuencia del mismo hasta llegar a la moñona y por ello se ubicaron unos puntos que indicaban la altura máxima del lanzamiento y su distancia formando de esta manera una imagen parabólica a medir, que consiste en un ángulo total de lanzamiento.

En la película tomada se analizó el momento en el cual el deportista suelta el tejo, determinándose la altura desde el piso, formando un arco semiparabólico (8) al momento

de soltarlo, movimiento cinemático abierto y obteniendo una altura de liberación del tejo a 1.60 m, movimiento realizado por la extremidad superior derecha y siguiendo la secuencia del objeto se pudo analizar que el tejo llega a una altura máxima y a una distancia total de recorrido culminando con la moñona que es el máximo puntaje.

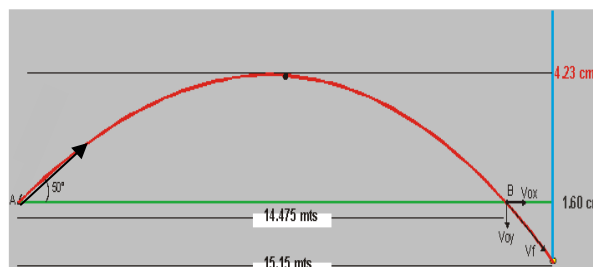


Figura 1. Angulo de tiro del tejo

En la figura 1 se observa la trayectoria secuencial del tejo cuando se lanza formando un ángulo de 50° de inclinación con respecto a la horizontal alcanzando una altura máxima de 4,23 m en donde comienza a descender formando un ángulo hasta llegar al punto B, que trazado en línea recta al momento del lanzamiento del punto A, forma una distancia total de recorrido lineal de 14,475 m.

### 3. METODOLOGÍA IMPLEMENTADA

En la figura 2 se puede analizar el ángulo de tiro que corresponde a 50° y una distancia de 14,475 m con un tiempo de 1,307 segundos, con estos resultados se puede identificar la velocidad inicial mediante la fórmula

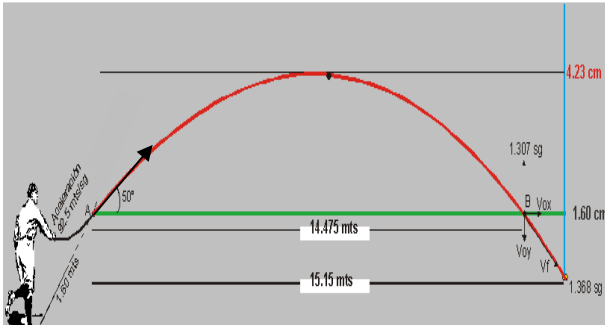
$$V_o = \frac{x}{(\cos \theta)t} = \frac{14,475m}{(\cos 50^\circ)1,307seg.} = \quad (1)$$

$$V_o = 17,2 \frac{m}{s} = 62,0 Km/h$$

En la figura 2 aparece velocidad inicial ( $V_o$ ) en el punto A y luego la velocidad en el punto B para continuar hasta el punto C que consiste en la llegada del tejo al bocín, en la operación antes realizada la velocidad inicial es de 62,0 Km/h ó 17,2 m/s en el punto A, como se puede observar la mano describe un cuasi semiarco de circunferencia de 1,60 m el cual podemos aproximar a un movimiento rectilíneo para efecto de facilidad en su estudio, con esta medida se puede detectar la aceleración del tejo con respecto a la mano así:

$$a = \frac{Vf^2 - V1^2}{2x} = \frac{(17,2m/Seg)^2 - (0m/seg)^2}{2(1,60m)} \quad (2)$$

$$a = 92,5m/seg^2$$



**Figura 2.** Arco de circunferencia de la mano y velocidad del recorrido

Como la velocidad inicial es 17,2 m/s en el punto A (igual a la velocidad con que llega al punto B por simetría del movimiento), se halla la velocidad con que llega al punto final C haciendo un análisis por componentes rectangulares, así:

$$Vf_c = \sqrt{Vfx^2 + Vfy^2}$$

$$Vfx = Vo \cos \theta = (17,2m/s) \cos 50^\circ = 11,0m/s \quad (3)$$

$$Vfy = (Vo \text{Sen} \theta) + gt$$

Donde t es el tiempo que tarda de ir desde B hasta C, así:  $t = 1.368 \text{ s} - 1.307 \text{ s} = 0.061 \text{ s}$ .

Teniendo en cuenta que la gravedad en la ciudad de Armenia es de 9.777 podemos hallar la velocidad final así:

$$Vfy = (Voy \text{Sen} \theta) + gt$$

$$Vfy = 17,2m/s(\text{sen}50^\circ) + 9,777m/s^2 \times 0,61s = (4)$$

$$Vfy = 13,7m/s$$

Para hallar la velocidad final el recorrido total del lanzamiento de tejo utilizaremos la siguiente ecuación:

$$Vf = \sqrt{Vfx^2 + Vfy^2} \quad (5)$$

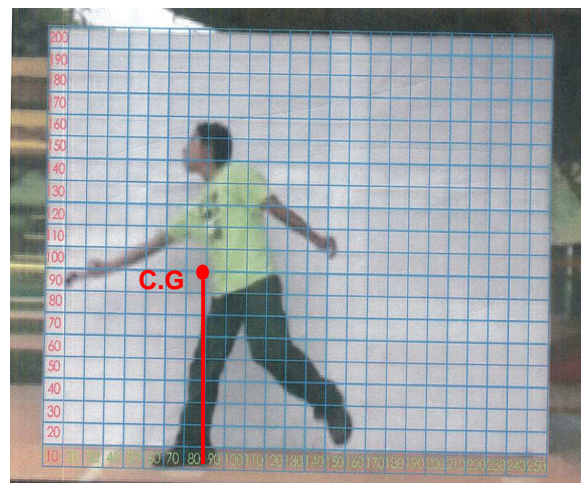
$$Vf = \sqrt{(11,0m/s)^2 + (13,7m/s)^2} = 17,6m/s = 63,3Km/h$$

Entonces:  $Vf = 63,3 \text{ Km/h}$

### 3.1. CENTRO DE GRAVEDAD

En un cuerpo humano totalmente desarrollado y de constitución normal, los pesos de sus partes guardan una proporción fija con el peso total del cuerpo. También los centros de gravedad están fijos en los ejes longitudinales de las extremidades, ocurriendo que también en este caso puede encontrarse una relación directa entre la distancia del centro de gravedad de la articulación más próxima, señalada como el radio del centro de gravedad y el centro de gravedad del cuerpo [9].

Se cuadrículó un fondo de 2,5 m (largo) por 2,0 m (alto), teniendo cada cuadro con un trazo de 10 cm por 10 cm, donde se utilizó una cámara ubicada a tres metros de la posición del deportista, allí la toma abarca toda el área cuadrículada y en ella se podía analizar la dinámica del deportista desde el momento de salida hasta realizar el lanzamiento. Se realizaron varias tomas hasta dar con la toma efectiva, que consiste en la embocinada que en el tejo es el mejor lanzamiento, también se realizó otra grabación en la cual el deportista ejecuta un lanzamiento donde constituyó la aparición de la mecha explosiva comparando cada uno de los lanzamientos y así poder verificar si existe o no variables que puedan influir en un mejor resultado.



**Figura 3.** Toma cinematográfica del centro de gravedad

Se tomaron muestras del centro de gravedad utilizando la metodología científica de Bernstein y Ficher (4).

La tabla 1 fue modificada en el estudio de centro de gravedad del deportista en el lanzamiento de tejo, ya que se tuvo en cuenta el peso éste que corresponde a 60 kg-f, más el peso adicional del tejo, agregándole este peso a la extremidad superior derecha que es la que ejecuta el

movimiento y restándole el peso a la extremidad superior izquierda, debido a que este último segmento corporal, sólo hace parte de la coordinación parcial del movimiento

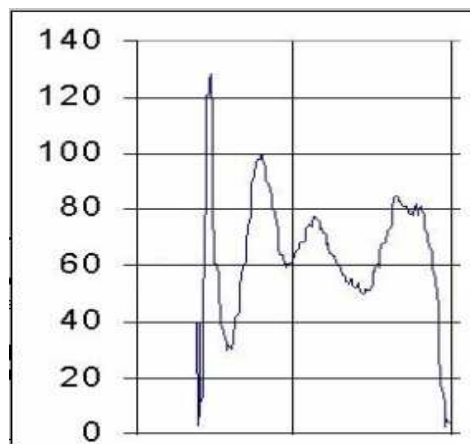
Parte del cuerpo	Peso (G)	X cm	Y cm	X.G cm	X.G cm
Cabeza	0.07	80	150	5.6	10.5
Tronco	0.43	85	110	6.55	17.3
Brazo Izquierdo	0.025	104	125	2.6	3.125
Brazo Derecho	0.03	65	108	1.95	3.24
Antebrazo izquierdo	0.015	120	112	1.8	1.68
Antebrazo Derecho	0.02	42	97	0.84	1.94
Mano izquierda	0.005	140	100	0.7	0.5
Mano derecha	0.025	23	90	0.57	2.25
Muslo izquierdo	0.012	108	67	12.96	8.04
Muslo derecho	0.12	85	62	10.2	7.44
Pierna izquierda	0.05	126	42	6.3	2.1
Pierna derecha	0.05	76	29	3.8	1.45
Pie izquierdo	0.02	146	22	2.92	0.44
Pie derecha	0.02	68	5	1.36	0.1
				<b>88.15</b>	<b>90.105</b>

**Tabla 1.** Muestras de Centro de Gravedad.

**3.2. ANÁLISIS DE FUERZA DE IMPULSO**

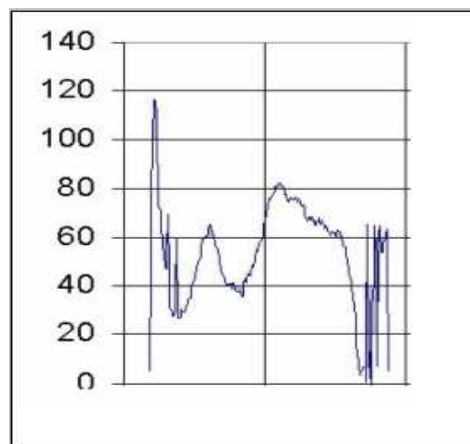
Bajo una técnica deportiva y sus diferentes características biomecánicas se logró buscar en esta investigación las propiedades del aparato locomotor humano para poder ejecutar un movimiento adecuado en lanzamiento de tejo, utilizando una tecnología que midiera la fuerza de apoyo o impulso en el lanzamiento de tejo donde se utilizó la celda de carga. Es importante establecer las diferentes técnicas de una especialidad deportiva, encontrando entre ellas la más apropiada y se representa como una característica deportiva. Si varios deportistas emplean la misma técnica, como lo realiza la escuela de Comfenalco Quindío, entonces los resultados gráficos en la fuerza de impulso serán de las mismas características, pero en el caso que nos ocupa, la gráfica de fuerza de impulso no coinciden, esto quiere decir que cada deportista tiene sus cualidades físicas y psíquicas especiales y específicas así como el dominio técnico empleado en dicho lanzamiento. De otra manera hay que

destacar la fuerza muscular adecuada, acompañada por la palanca, articulaciones y estructura biológica de cada uno de los deportistas.



**Figura 4.** Lanzamiento no acertado

En las figuras 4 y 5, se analizan la fuerza de impulso aplicada a un deportista entrenado en el lanzamiento de tejo y en logro de la moñona que en este deporte es caracterizada como el mejor lanzamiento y se determinó que la fuerza de impulso es aproximadamente el doble del peso del deportista, en comparación con la gráfica anterior y cuyo lanzamiento no corresponde al mejor puntaje, pero aproxima al mejor lanzamiento, concluyéndose que la fuerza de impulso en el lanzamiento de tejo, es directamente proporcional dos veces el peso del deportista, teniendo en cuenta que éste, pesa 60 Kg-f y al momento de lanzar aplica una fuerza de 125 Kg/f, según el tope máximo que alcanza la gráfica al momento de realizar el lanzamiento, como se demuestra en la figura 5.



**Figura 5.** Lanzamiento acertado

### 3.3. CELDA DE CARGA

La celda de carga es un sensor resistivo que mide flexión de acuerdo a la tensión que se le hace a una lámina [2], el sensor en sí detecta el peso corporal de base que utiliza el deportista para impulsar el lanzamiento, esta celda de carga tiene una capacidad hasta de 150 kg-f de soporte y contiene una plataforma donde el deportista se apoya; cuando este movimiento se realiza se activa la información de la fuerza con que llega al lanzamiento, información transmitida al sistema mediante un mecanismo electrónico, teniendo como resultado el impulso y apoyo del lanzamiento de tejo con un peso adicional, el cual corresponde al impulso de lanzamiento y el peso del tejo. Entre las fuerzas en el lanzamiento de tejo cabe destacar la fuerza imprimida al tejo teniendo en cuenta cada uno de sus datos registrados en la investigación.

### 3.4. POTENCIA AL IMPACTO

El tejo en este movimiento parabólico llega a su punto de impacto con una determinada velocidad, realizando a su vez en un trabajo mecánico que se traduce en la mejor de las veces en un impacto certero sobre el bocón y sobre la mecha que hay sobre esta produciendo el ideal del lanzamiento que es la moñona, es decir este trabajo convierte esta energía cinética en energía de presión y térmica para hacer estallar la mecha; por lo tanto la potencia con que llega al punto de impacto, considerando que llega aproximadamente con la misma fuerza con que se lanzó es:

$$P = f.v = 118 \text{ Kg-f. } 17,6 \text{ m/s}$$

$$P = 1.153,6 \text{ N (17,6 m/s)}$$

$$P = 20,3 \text{ Kw}$$

### 3.5. ENERGÍA AL IMPACTO

Dado que la energía al impacto se transforma para eventualmente hacer explotar la pólvora y producir el efecto deseado, es interesante calcular dicha energía a efecto de calcular su equivalente en energía calórica (10), así la velocidad final del tejo en el punto de impacto es igual a 17.6 m/s

$$1 \text{ Joule} = 0.24 \text{ calorías}$$

$$E = \frac{1}{2} m \cdot V^2 = \frac{1}{2} (1,315 \text{ Kg}) (17,6 \text{ m/s})^2 = 203.7 \text{ joules}$$

$$E = 48.8 \text{ calorías.}$$

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el proyecto análisis biomecánico del gesto técnico del lanzamiento del tejo se analizó una descripción cinemática y mecánica del lanzamiento, pretendiendo

eleva el nivel y el rendimiento de los deportistas en las diferentes competencias en esta disciplina, por tal motivo es importante determinar el gesto técnico ayudando al deportista a mejorar su rendimiento construyendo una técnica que minimice el gasto energético, elevando así su competitividad.

Empleando cámaras de vídeo, se determinó el centro de gravedad, el ángulo de tiro, la altura y la longitud horizontal a la que cae el tejo, además se halló la fuerza de impulso por medio de una celda de carga que permite determinar la presión-fuerza que hace el deportista en sus extremidades inferiores en el lanzamiento del tejo y luego proceder a determinar la velocidad con que es arrojado el tejo.

Para concluir se determinó que adquiriendo un buen gesto deportivo se logra que el deportista eleve su nivel de rendimiento, motivándose a practicar esta disciplina con más entrega y dedicación y obteniendo mejores resultados en la competencia.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] HOCHMUTH GERHARD, Biomecánica De Los Movimientos Deportivos. Madrid, Instituto Nacional de Educación Física, 1993. Imprime Ruan S.A., España, página 10.
- [2] CREUS, ANTONIO. Instrumentación Industrial. México DF. Alfaomega Marcombo. 1997.
- [3] VERGARA GUZMÁN, JORGE. Revista Tejo. Guía Básica Segunda Edición Comfenalco Quindío.
- [4] GUTIERREZ DAVILA MARCOS. Biomecánica Deportiva. Editorial: Síntesis. pags 26,27,28.
- [5] GUIMARAES, TONIHO. educación física. aula alegre. magisterio.
- [6] MARTINEZ F. JOSE A., Fundamentos Biomecánicos de la musculación, Rafael Santonja editor, 1994.
- [7] ACERO JOSE, Aplicaciones Biomecánicas en el Deporte del Tejo. Universidad del Valle.
- [8] SERWAY RAYMOND A, Física. editorial McGraw Hill segunda edición.
- [9] BAUMLER, GUNTHER, SCHNEIDER, Flaus. Biomecánica Deportiva.
- [10] CROMER ALAN H., Física para las ciencias de la vida, Editorial Reverté, segunda edición,