

Recibido: 23 / 10 / 2007, aceptado en versión final: 25 / 11 / 2007

Metodos comparativos para determinar el azimut geográfico-observatorio geofísico de Huancayo-Perú

Comparative method to determine the geographic azimuth – geophysical observatory of Huancayo - Peru

Ricardo Santos Rodríguez*, **Hildebrando Buendía Ríos***, **Franci Benito Cruz Montes****, **Beder Ulloa Lleren****, **Domingo Rosales Corilloclla*****

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo específico desarrollar una metodología que, teniendo un sustento teórico sólido, en el campo de la Astronomía Geodésica, nos permite determinar la orientación de un alineamiento con una precisión mínima que sirve como base para todo proyecto de ingeniería.

Después de la revisión bibliográfica especializada existente, se efectuó el análisis y evaluación de los resultados que permitieron el planteamiento, en forma directa, de la determinación de la dirección del azimut geográfico por diferentes métodos, con el fin de comparar y obtener una mejor solución en la determinación del mismo, utilizándose los métodos siguientes: **Por observaciones solares**, haciendo uso del teodolito de precisión al segundo. **Por los procedimientos convencional y del ángulo horario**. **Por observación a las estrellas**, haciendo uso del teodolito con precisión al segundo, apoyado en los procedimientos convencional y del ángulo horario. Por el giróscopo y por el sistema de posicionamiento global (GPS). Obteniéndose con esos métodos precisiones de hasta $\pm 1.5''$; sin embargo, mediante las observaciones a las estrellas y bajo el método del ángulo horario, las precisiones que se alcanzan es $\pm 0.5''$. Para todo trabajo de orden "C", es suficiente y necesario el obtener la dirección del meridiano por observaciones al Sol, consiguiéndose una precisión de $\pm 5''$.

Palabras clave: Azimut geográfico, giróscopo, sistema de posicionamiento global (GPS), valor más probable, ángulo horario, observaciones a las estrellas.

ABSTRACT

The present study had as an specific objective to develop a methodology that, having a solid theoretical support, in the country of the Geodesic Astronomy, permits us to determine the orientation of an alignment with a minimum precision that serves as base for every project of engineering.

For which after the bibliographical review specialized existing, the analysis was performed and evaluation of the results that permitted the approach in direct form of the determination of the direction of the azimuth geographical by different methods, in order to compare and to obtain a better solution in the determination of the azimuth, being utilized the following methods:

By solar observations, making use of the theodolite of precision to the second, doing use of the conventional method and the clock angle. By observation to the stars, doing use of the theodolite with precision to the second, supported in the methods conventional and of the clock angle. By the gyroscope and by the system of global positioning (GPS).

Being obtained with those methods precisions of to $\pm 1.5''$; nevertheless by means of the observations to the stars and under the method of the hourly angle, the precisions that are reached is of $\pm 0.5''$. For every work of order "C", is sufficient and necessary the to obtain the direction of the meridian by observations to the Sun, being obtained a precision of $\pm 5''$.

Keywords: Azimut geographical, gyroscope, system of global positioning (GPS), more probable value, hourly angle, observations to the stars.

* Facultad de Ingeniería Geológica Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.
E-mail: rsantosr@unmsm.edu.pe, hbuendiar@yahoo.es

** Facultad de Ingeniería Civil-Universidad Nacional Federico Villarreal.

*** Instituto Geofísico del Perú-Huancayo

I. INTRODUCCIÓN

El proyecto de Investigación está enmarcado dentro del campo geodésico, bajo la consideración de que todo proyecto de ingeniería de envergadura requiere como mínimo contar con un plano geodésico, que represente lo más fiel posible las características naturales y/o artificiales del terreno. Para la elaboración del plano geodésico, se debe apoyar en una Red de figuras geométricas: Poligonales, Triangulaciones y Trilateraciones, que forman una red de control geodésico (teniendo en cuenta los órdenes “O, A, B y C”), que servirá de base para toda obra de Infraestructura.

Para dar cumplimiento a lo indicado anteriormente, en los años 2004 y 2005 (Ulloa et al., 2004, 2005), se realizó la determinación del azimut geográfico por medio de observaciones solares, con precisión de $\pm 30''$.

A fin de tener redes de control de primer orden, es necesario que la dirección del azimut astronómico sea más precisa, del orden de $\pm 0.5''$ (Martín, 1992), y ello se logrará mediante observaciones a las estrellas; para ello, previamente, se tiene que identificar a las estrellas que serán observadas, visándose a los astros en el instante que se encuentren en el cruce de los hilos reticulares, condición que tienen únicamente las estrellas de magnitudes de 2 a 6 (Martín, 1992).

Para determinar la dirección del meridiano nos apoyamos en la posición que tiene un astro en un momento dado, así como el ángulo horizontal que dicho astro hace con respecto a una línea de referencia y/o de partida, es decir determinar el azimut de la señal de referencia y a partir de ella se obtiene la dirección del meridiano que pasa por el lugar de observación (Cogan, 1971); asimismo, de acuerdo al avance tecnológico, existen instrumentos geodésicos de precisión y según estos equipos la obtención del azimut geográfico es más rápida y precisa. El objetivo de esta investigación es verificar y comparar estos métodos, obteniéndose como resultado de ello el planteamiento de un método adecuado a nuestra realidad.

Para tal fin se utilizarán los siguientes métodos de observación:

- Por observaciones solares, haciendo uso del teodolito de precisión al segundo.
- Por observación a las estrellas, haciendo uso del teodolito con precisión al segundo.
- Por el giróscopo.
- Por el sistema de posicionamiento global (GPS).

Con estos métodos, cumpliendo con el objetivo específico de desarrollar una metodología en el campo de Astronomía Geodésica, nos permite determinar la orientación de un alineamiento con una precisión mínima aplicable en proyectos de ingeniería.



Foto 1: Teodolito estacionado

II. MÉTODO

En este trabajo de investigación se utilizó el método deductivo y la observación directa, aplicando las técnicas básicas para la observación en el campo, empleando las herramientas e instrumentos geodésicos de precisión, teodolitos al segundo, giróscopo, GPS (Fotos 11, 2, 3), el desarrollo analítico del proceso de gabinete, y revisión de la bibliografía existente. Asimismo se efectuó las siguientes acciones: Recopilación de la Información existente, estudios realizados al respecto, límites permisibles para la observación astronómica. Análisis de los métodos que se aplicaron, el procedimiento Convencional, y del Ángulo Horario, usando las visaciones al Sol y a las estrellas. Se procesó los datos de campo, aplicando las fórmulas de Trigonometría Esférica (Fossi, 1963).

Para lo cual se efectuaron los métodos siguientes:

- Por observaciones solares, haciendo uso del teodolito de precisión al segundo, y mediante los procedimientos convencional y del ángulo horario
- Por observación a las estrellas, haciendo uso del teodolito con precisión al segundo, de acuerdo al procedimiento convencional y del ángulo horario
- Por el giróscopo, equipo que directamente nos indica la dirección del Norte Geográfico.
- Por el sistema de posicionamiento global (GPS), apoyado en la constelaciones de los satélites artificiales.

Las observaciones se realizaron en el “Observatorio Huancayo”, Junín, Perú (Foto 4).



Foto 2. Giróscopo instalado en la Estacion Huancayo.



Foto 3. GPS geodésico instalado en C° Gauss.



Foto 4. Vista panorámica del Observatorio Huancayo.

1. Determinación del azimut geográfico por observaciones al Sol.

Para lo cual se tomó las observaciones en la Estación “Observatorio Huancayo” y con referencia a la señal “C°Gauss” (Fotos 5).

Para determinar la dirección del meridiano, se efectuó las acciones siguientes:

- Se midió el ángulo entre la dirección de la señal de referencia y el astro, usándose el teodolito reiterador de precisión a 1”, con anteojo directo y/o inverso y luego al astro, en el momento que el Sol se encuentra tangente a los hilos reticulares. (Ulloa et al., 2004).

Para ello se utilizó las fórmulas siguientes:

a. Procedimiento convencional:

$$\cos^2\left(\frac{Z'}{2}\right) = \frac{\cos(S)\cos(S-p)}{\cos(\varnothing)\cos(h)}$$

b. Procedimiento del ángulo horario:

$$\operatorname{Tg}(Z') = \frac{\operatorname{sen}(t) \operatorname{tg}(\rho) \operatorname{sec}(\varnothing)}{1 - \operatorname{tg}(\rho) \operatorname{tg}(\varnothing) \cos(t)}$$

Con el valor Z' y según la posición del Sol (al Este y/o al Oeste), se obtuvo el azimut del Sol (Z), luego con el ángulo horizontal y de referencia al astro se calculó el azimut de la línea base o referencia: $Z_{\text{ref}} = Z - \langle H + \langle R$

2. Determinación del azimut geográfico por observación a las estrellas.

Se observó a las estrellas visibles, previamente identificadas en el Mapa de Estrellas y mediante cálculos analíticos se confirmó la identificación de las estrellas seleccionadas (α) Cruz del Sur, Sirius y (β) Ceti, apoyado en el Catálogo Astronómico APFS-2006(FK5) y Mica2-2006, obteniéndose luego sus coordenadas astronómicas (ascensión



Foto 5. Observando al Sol.

recta y declinación) y con estos datos se efectuó el cálculo del azimut astronómico (Ulloa *et al.*, 2005).

Teniendo en cuenta las fórmulas siguientes:

a. Procedimiento convencional:

$$\text{Cos}(Z') = \frac{\text{Cos}(p) - \text{Sen}(h)\text{Sen}(\varnothing)}{\text{Cos}(h)\text{Cos}(\varnothing)}$$

$$\text{Tan}^2\left(\frac{Z'}{2}\right) = \frac{\text{Sen}(S-h)\text{Sen}(S-\varnothing)}{\text{Cos}(S)\text{Cos}(S-p)}$$

b. Procedimiento del ángulo horario:

En este proceso las estrellas fueron observadas en el instante en que ellas se encontraban en el cruce de los hilos reticulares del teodolito y para el cálculo del azimut se usó las coordenadas geográficas (WGS84) del punto de estación.

$$\text{Tg}(Z') = \frac{\text{sen}(t) \text{tg}(\rho) \text{sec}(\varnothing)}{1 - \text{tg}(\rho) \text{tg}(\varnothing) \text{cos}(t)}$$

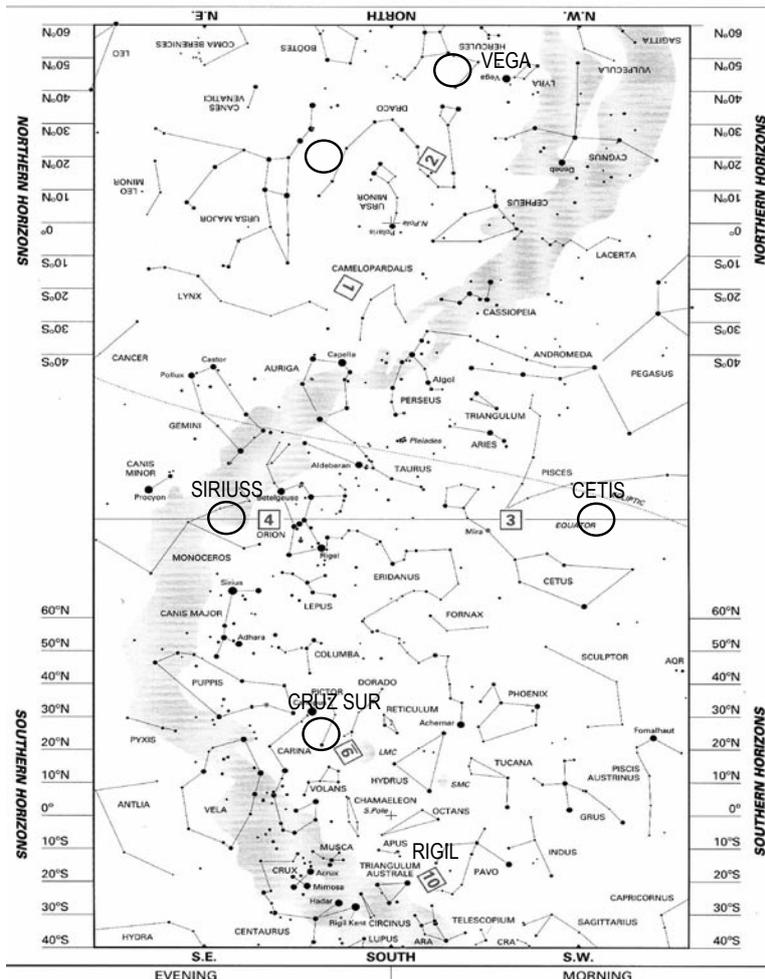
Con el valor Z' y teniendo en cuenta la posición del astro (al Este y/o al Oeste), se obtuvo el azimut de la estrella (Z) en el instante de la visación y, a partir de ella haciendo uso de los ángulos horizontales y de referencia a la estrella, se calculó el azimut de la línea base o referencia: $Z_{\text{ref}} = Z - \langle H + \langle R$

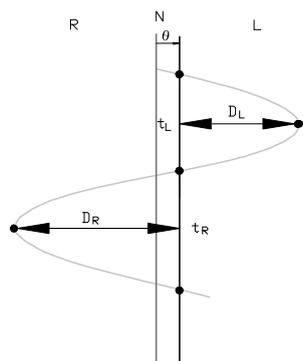
3. Por el giróscopo

Este método, para determinar el azimut Geográfico, depende en el instrumento del tiempo de toma de datos (Gráfico N.º 1), de acuerdo al siguiente modo de medida:

Cuando el verdadero norte ha sido determinado (con $\pm 20''$), por ejemplo usando el método "tiempo de medida" (2 puntos de quiebre), el SET3 debería voltearse para ver la dirección y la abrazadera horizontal debería ser la más gruesa. Cuando el GP1 está afianzando con abrazadera se lanza el anillo, el índice flotante será considerado a los procesos dentro del rango de la escala. Por ejemplo, ambos, R y L punto de quiebre, ocurrirán en la escala graduada sin el movimiento del instrumento SET3.

MAPA DE ESTRELLAS





Introduciendo en el instrumento GP1 las constantes (K y R) y la amplitud de los puntos de quiebre R y L (DR y DL) y presionando una tecla en el SF10, cada vez que el índice flotante cruce cero, el SET3 será capaz de calcular el norte verdadero utilizando la siguiente fórmula:

$$\theta = -(K \cdot D \cdot dt + R)$$

Gráfico N.º 1. Medida del tiempo.

Siendo:

- K= Constante del instrumento (C1)
- R= Constante de alineamiento (C2)
- D= $(D_R + D_L)/2$: Promedio de los valores de las amplitudes R y L
- dt= $t_r + t_L$: Tiempo entre dos cruces por cero consecutivos

Mediante este método, el norte verdadero puede ser determinado con un error máximo promedio de $\pm 20''$ según las especificaciones técnicas.

Especificaciones técnicas: giróscopo

Marca:	SOKIA-92508 GP1
Desviación estándar de medida:	$\pm 20''$
Modo de medida:	Tiempo de medida
Tiempo medio de medida:	Aprox 3 min
Peso equipo:	Aprox. 3.8kg
Batería:	12V DC - BDC7
Duración batería:	4 h
Peso batería:	Aprox. 2.0kg
Equipo apoyo:	Estación Total SET3
Teclado:	SF10
Cargador: tiempo	15 h
Constante K:	3.54
Constante R:	0

Especificaciones técnicas:: GPS

Especificaciones técnicas	Equipo GPS	
Tipo de Receptor	Trimble 4800	
	Horizontal	Vertical
Precisión en modo diferencial estático	5mm +0.5ppm RMS	10mm +0.5ppm RMS
Coefficiente de observación	10 seg.	
Tiempo de posicionamiento	60 minutos	
Doble frecuencia	L1-L2	
Número de canales	24	
Número de satélites visibles	> 4	
PDOP	< 6	
Máscara de elevación	15°	

4. Por el sistema de posicionamiento global (GPS).

Para obtener los valores del azimut geográfico, se utilizó el equipo GPS Geodésico Trimble 4800/L1-2 de características geodésicas.

Teniendo en cuenta que el equipo posee un software y con el tiempo de ocupación de cada estación (Observatorio Huancayo= 5h47m50s, C°Gauss= 4h12m45s), se determinó directamente las coordenadas geográficas (WGS84) de los puntos observados, así como las coordenadas planas UTM, y apoyado en ellas se determinó el azimut geográfico de la línea base requerida "Observatorio Huancayo" a "C°Gauss".

III. RESULTADOS

Con los datos observados en el campo, se procesó en gabinete toda la información, obteniéndose los valores siguientes:

a. Observaciones al Sol.

Con las observaciones visadas al Sol se determinó el azimut geográfico mediante el proceso convencional y del ángulo horario (Cuadro N.º 1).

b. Observaciones a las Estrellas.

Con la información de observaciones recopilada en el campo, se calculó el azimut geográfico de la referencia mediante el proceso convencional y del ángulo horario. (Cuadro N.º 2).

c. Por el giróscopo.

Con el giróscopo se efectuó dos grupos de mediciones cada una con 8 y 14 medidas, respectivamente (Cuadros N.º 3 y 4).

d. Por el Sistema de Posicionamiento Global geodésico(GPS).

Este sistema nos presenta las coordenadas geográficas y las coordenadas UTM-WGS84, y a partir de ellas se obtiene el azimut cuadrangular, corrigiéndose este por curvatura terrestre (Cuadro N.º 5) y luego, mediante el proceso de convergencia de meridianos, se obtiene el azimut geográfico con GPS-WGS84 (Cuadro N.º 6).

Cuadro N.º 1. Cálculo del azimut geográfico del Sol de la referencia
“Proceso Convencional y ángulo horario

ESTACIÓN: OBSERVATORIO HUANCAYO L A T I T U D : 12 2 32.40952 S-WGS84
 REFERENCIA: C° GAUSS T U D :
 LUGAR: HUANCAYO-PERU LONG. 75 19 14.08489 W
 COTA: 3308.91 msnm

FECHA	ASTRO OBSERVADO	N° SET	PROCESO CONVENCIONAL						PROCESO ÁNGULO HORARIO							
			ACEPT	°	'	''	D.S. ''	R	ACEPT	°	'	''	D.S. ''	R		
30-04-2006	SOL m	11	6	171	27	50.6	+	1.3		5	171	29	40.2	+	3.8	R
27/05/2006	SOL m	11	10	171	27	14.6	±	7.4	R	4	171	27	40.2	±	2.6	
27/05/2006	SOL t	11	8	171	27	39.6	±	3.4	R	6	171	27	41.8	±	2.1	
28/05/2006	SOL m	14	7	171	27	20.1	±	1.2	R	4	171	27	57.7	±	1.4	R
23/07/2006	SOL m	15	7	171	27	48.7	±	0.8		9	171	28	7.4	±	0.7	R
10/09/2006	SOL m	10	4	171	27	56.1	±	1.2		4	171	27	44.4	±	1.1	
	SOL	VMP Z _{REF} =		171	27	50.9	±	1.5			171	27	43.4	±	0.7	

Fuente: Elaboración propia

R= Retirado

Z_{REF} = Azimut del Sol de la referencia.
 VMP = Valor más probable del azimut del Sol
 D.S. = Desviación estándar.
 R = Valor que no interviene en el VMP.

Cuadro N.º 2. Cálculo del azimut geográfico de estrella de la referencia -
“Proceso Convencional y Ángulo horario”

ESTACION: OBSERVATORIO HUANCAYO LATITUD: 12 2 32.40952 S-WGS84
 REFERENCIA: C°GAUSS LONG. 75 19 14.08489 W
 LUGAR: HUANCAYO-PERU COTA: 3308.91 msnm

FECHA	ASTRO OBSERVADO	N° SET	PROCESO CONVENCIONAL						PROCESO ANGULO HORARIO							
			ACEPT	°	'	''	D.S. ''	R	ACEPT	°	'	''	D.S. ''	R		
29-04-2006	a CRUZ DEL SUR (ACRUX)	11	10	171	27	56.5	±	1.8		10	171	26	49.28	±	6.1	R
27-05-2006	a SIRIUS	10	3	171	27	54.2	±	1.6		4	171	27	56.9	±	1.7	
27-05-2006	a CRUZ DEL SUR (ACRUX)	13	8	171	30	27.4	±	52.2	R	10	171	28	43.2	±	3.3	R
22-07-2006	a RIGIL KENT	8	7	171	27	54.5	±	1.3		7	171	27	45.3	±	1.2	
22-07-2006	a VEGA	11	8	171	28	57.6	±	2.3	R	10	171	27	49.3	±	2.3	
09-09-2006	a RIGIL KENT	10	5	171	27	58.7	±	0.3		5	171	27	54.9	±	0.3	
09-09-2006	B CETI	9	6	171	27	52.8	±	0.5		5	171	27	57.1	±	0.4	
09-09-2006	a ANTARES	9	5	171	27	46.4	±	0.4	R	3	171	27	44.7	±	0.6	
	ESTRELLAS	VMP Z _{REF} =		171	27	57.0	±	0.9			171	27	53.9	±	1.3	

Fuente: Elaboración propia

R= Retirado

Cuadro N.º 3. Azimut geográfico con giróscopo.

ESTACION: OBSERVATORIO HUANCAYO LUGAR: HUANCAYO-PERU
 REFERENCIA: C°GAUSS LATITUD: 12 2 32.4095 S-WGS84
 FECHA: 29 10 2006 LONGITUD: 75 19 14.0849 W

N° MEDIDA	HORA TU			AZIMUT PRELIMINAR			HORA LOCAL	DIFERENCIA TIEMPO		
	h	m	s	h	m	s	h	m	s	
1	21	10	13	359	26	0	16.17027778	---	---	---
2	21	12	18	359	25	52	16.20500000	2	5	125.0
3	21	15	10	359	25	56	16.25277778	2	52	172.0
4	21	17	19	359	25	51	16.28861111	2	9	129.0
5	21	19	59	359	26	5	16.33305556	2	40	160.0
6	21	22	12	359	26	5	16.37000000	2	13	133.0
7	21	24	57	359	25	55	16.41583333	2	45	165.0
8	21	26	59	359	26	10	16.44972222	2	2	122.0
									Σ s =	1006.0
	Z _{PROMEDIO} =			359	25	59.9	Tiempo Promedio=	2	6	125.7500
	Z _{LINEA} =			351	27	50	Tiempo observ=	0	14	44.0

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N.º 4. Azimut geografico con giroscopo.

ESTACIÓN:	OBSERVATORIO HUANCAYO						LUGAR:	HUANCAYO-PERÚ			
REFERENCIA:	C° GAUSS						LATITUD:	12	2	32.40952	S-WGS84
FECHA:	9	9	2006				LONGITUD:	75	19	14.08489	W

N° MEDIDA	HORA TU			AZIMUT			HORA LOCAL	DIFERENCIA TIEMPO		
	h	m	s	PRELIMINAR			h	m	s	s
1	17	40	3	359	26	14	12.66750000	---	---	---
2	17	43	42	359	26	22	12.72833333	3	39	219.0
3	17	45	51	359	26	28	12.76416667	2	9	129.0
4	17	49	25	359	26	12	12.82361111	3	34	214.0
5	17	51	33	359	25	50	12.85916667	2	8	128.0
6	17	55	10	359	25	35	12.91944444	3	37	217.0
7	17	57	19	359	25	51	12.95527778	2	9	129.0
8	18	1	7	359	26	13	13.01861111	3	48	228.0
9	18	3	5	359	26	15	13.05138889	1	58	118.0
10	18	6	41	359	26	11	13.11138889	3	36	216.0
11	18	8	49	359	26	2	13.14694444	2	8	128.0
12	18	12	26	359	25	52	13.20722222	3	37	217.0
13	18	14	34	359	26	6	13.24277778	2	8	128.0
14	18	18	10	359	26	28	13.30277778	3	36	216.0
									Σ s =	2287.0
	Z _{PROMEDIO} =			359	26	7	Tiempo Promedio=	2	43	163.3571
	Z _{LÍNEA} =			351	27	58	Tiempo observ=	0	38	7.0
										0.635278

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N.º 5. Cálculo de azimut geográfico con coordenadas UTM.

LUGAR: HUANCAYO-PERÚ
 FECHA: 13 10 2006
 AZIMUT DE LA ESTACION(1)= OBSERVATORIO HUANCAYO A LA ESTACION(2) = C°GAUSS

N ₂	8,670,614.179	E ₂	464,824.535	E' ₂	-35,175.465					
N ₁	8,668,744.562	E ₁	465,107.335	2E' ₁	2(-34,892.665)					
ΔN	1,869.617	ΔE	-282.800	2E' ₁ +E' ₂	-104,960.795			PI = 3.141592654		
tg β =	$\frac{\Delta E}{\Delta N}$	=	-282.800	=	-0.151260927					
			1869.617		>					
β =	8	36	5.0707	"	Arc tg β = 8.601408525			Si ΔN(+) y ΔE(+) entonces t = β		
								Si ΔN(-) y ΔE(+) entonces t = 180 - β		
t =	351	23	54.9	"	351.3985915			Si ΔN(-) y ΔE(-) entonces t = 180 + β		
								Si ΔN(+) y ΔE(-) entonces t = 360 - β		
(t-T) =	(-ΔN)(2E' ₁ +E' ₂)(XVIII) 6.8755x10 ⁻⁸									
	- ΔN		2E' ₁ +E' ₂	(XVIII)						
1	-1.869.617	2	-104.960.795	3	0.012376	4	6.8755	5	1.00E-08	
(t-T) =	1x2x3x4x5	=	0.16697996	"	=	0.2	"			
AZIMUT FIJO CALCULADO =	t - (t-T) =					351.3985278	=	351	23	54.7
E' = E-500000								-180		
AZIMUT FIJO CALCULADO DESDE EL SUR=								171	23	54.7

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

Los métodos antes descritos nos permiten calcular el azimut astronómico por observaciones al Sol, a las estrellas, por el giróscopo y por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), en los cuales se observa lo siguiente:

- El método de medición efectuado a través del GPS (171° 27' 55.5"), se considera como el valor más probable de la dirección observado entre el "Observatorio Huancayo" y el "C° Gauss", medido desde el Sur.

Cuadro N.º 6. Cálculo de convergencia de meridianos.

Elipsoide:	WGS84	ESTACIÓN:	OBSERVATORIO HUANCAYO		
a=	6378137.0	O=	12	2 32.40952 S	12.042335978 S
b=	6356752.3	N=	8,668,744.562		0.210178412
f=	0.00669437999013	E=	465,107.335		1"= 0.000277778
Ko=	0.9996				
e ² =	(a ² -b ²)/a ²	=	0.00669438444		
e'2=	e ² /(1-e ²)	=	0.006739501254		
r=	a/(1-e ² *SIN O ²) ^{0.5}	=	6379066.482		
E'=	ABS(E-500000)	=	34892.665		
q=	0.000001*E'	=	0.034892665		
q3=	q ³	=	4.248175232E-05		5.65044079E-17
XV =	(TAN O/(r*SIN DEG(0,0,1)))*(1/Ko)*1E6	=	6900.6752877		1.04022778E+18
XVI=	(TAN O/(3*r ³ *SIN DEG(0,0,1)))*(1+TAN O ² -e' ² *COS O ² -2*e' ² *COS O ⁴)*(1/Ko ³)*1E18	=	58.77745449		
F5=	q ⁵ *(TAN O/(15*r ⁵ *SIN DEG(0,0,1)))*(2+5*TAN O ² +3*TAN O ⁴)*(1/Ko ⁵)*1E30	=	3.214947983E-08		
C=	XV*q-XVI*q3+F5	=	2.407804542E+02	=	0.0668835 ° = 240.7804542 " = 0 4 0.78
LUEGO:					
	AZIMUT FIJO DESDE EL SUR (por coord UTM)	=			171 23 54.7
	+ CONVERGENCIA DE MERIDIANOS	=		+	0 4 0.78
	AZIMUT GEOGRAFICO CON GPS-WGS84	=	171.465411237	=	171 27 55.5

Fuente: Elaboración propia

- Con el método del ángulo horario, se obtiene mayor precisión cuando se observa a las estrellas (171°27'53.9" ±1.3"); producto de 10 observaciones realizadas en diferentes fechas; dicho valor se encuentra en el orden B, suficiente para ser utilizado en los trabajos geodésicos.
- De acuerdo al procedimiento del ángulo horario por observación al Sol, se obtiene un valor de 171°27'43.4" ±0.7", que se encuentra en el orden C, suficiente para efectuar trabajos de proyectos de ingeniería.

También, utilizando el procedimiento convencional, se obtiene:

- Por mediciones al Sol un valor de 171°27'50.9" ±1.5".
- Por mediciones a las estrellas, un valor de 171°27'57.0" ±0.9".

Deduciéndose que por observación al Sol se alcanzan precisiones del orden C y por observaciones a las estrellas del orden B.

Asímismo utilizando el Giróscopo, se obtiene un valor de 171°27' 58" ±20", del cual se deduce que se encuentra en el orden C de la clasificación dada por el IGN, siendo útil para los trabajos subterráneos.

Es importante mencionar que para alcanzar una mayor precisión se requiere contar con equipos de mayor precisión (Wild T-3, T-4 y/o el Kern DKM-3^a).

Se concluye que los datos encontrados están dentro de la precisión requerida para este tipo de trabajo.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg (2006). Apparent places of fundamental Stars-FK5. Karlsruhe, Germany.
2. Cogan, I.; Luna, A.; Chang-Way C. and L.A. Naveda (1971). *Astronomía. Teoría y práctica*. Edit Astro - FIC UNI, Perú.
3. Fossi, I. (1963). *Trigonometría rectilínea y esférica*. Edit. Dossat S.A., Madrid.
4. Martín, F. (1992). *Astronomía*. Edit. ALBER. Madrid.
5. MICA. (2006). *Multiyear Interactive Computer Almanac*, versión 2.0. Edit. U.S. Naval Observatory.
6. Montes De Oca, M. (1994). *Topografía*. Edic. Alfa Omega, S.A. de C.V., México.
7. Santos, R. (1992). *Astronomía de posición*. Edit. Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Perú.
8. Ulloa, B. et al. (2004). *Métodos de determinación del azimut geográfico por observaciones solares*. Instituto de Investigación. FIC-UNFV, Perú.
9. Ulloa, B. et al. (2005). *Determinación del azimut astronómico por observaciones de estrellas*. Instituto de Investigación. FIC-UNFV, Perú.