

14.  
2 ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERIA

BOSQUEJO GEOLOGICO

Y

YACIMIENTOS MINERALES

DEL

PROYECTO SAN FRANCISCO

MUNICIPIO DE SANTA ANA, (ESTACION LLANO) SONORA.

TESIS PROFESIONAL

---

JOSE AURELIO LAGUNA MONTIEL

*Ing. Geologo.*

CIUDAD UNIVERSITARIA 1991

FALLA DE INGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

	Página
I.- <u>Introducción.</u>	1
I.1. Resumen.	
I.2. Generalidades.	6
I.3. Localización y Acceso.	8
I.4. Infraestructura.	
I.5. Fisiografía y Geomorfología.	
I.6. Clima.	11
I.7. Flora y Fauna.	
II.- <u>Geología Regional.</u>	12
II.1. Estratigrafía.	
II.2. Resumen Tectónico.	17
III.- <u>Geología Local.</u>	21
III.1. Litología.	
III.2. Geología Estructural.	27
IV.- <u>Yacimientos Minerales.</u>	33
IV.1. Morfología.	
IV.2. Mineralogía.	34
IV.3. Estructura y Textura de la Mena.	36
IV.4. Zoneamiento.	37
IV.5. Alteraciones.	
IV.6. Clasificación de los Yacimientos.	38
IV.7. Edad de los Yacimientos.	39
IV.8. Descripción de los Diferentes Cuerpos del Proyecto San Francisco.	41

	Página
IV.9. Modelo Geológico de los Depósitos.	52
V.- <u>Métodos de Exploración.</u>	54
V.1. Geología de Superficie y del Interior de Minas Antiguas.	
V.2. Exploración Geoquímica.	
V.3. Exploración Geofísica.	56
V.4. Barrenación de Percusión.	
V.5. Barrenación de Diamante.	57
V.6. Desarrollo de Obras Mineras Subterráneas.	
V.7. Barrenación con Circulación Inversa.	59
VI.- <u>Evaluación de Recursos Minerales.</u>	61
VI.1. Método de Cálculo.	
VI.2. Opción 1.	62
VI.3. Opción 2.	
VI.4. Comentarios Sobre el Método de Explotación y Recuperación Metalúrgica.	63
VII.- <u>Conclusiones y Recomendaciones.</u>	77

## Indice de Figuras y Tablas.

Figuras		Página
Fig. No.1	Plano de Localización.	9
Fig. No.2	Plano de Provincias Fisiográficas de México.	10
Fig. No.3	Columna Estratigráfica.	15
Fig. No.4	Plano Geológico Regional.	16
Fig. No.5	Plano Geológico del Proyecto San Francisco.	28
Fig. No.6	Localización del Proyecto San Francisco en la zona del Megashear Mojave-Sonora.	40
Fig. No.7	Sección Geológica A-A' Cuerpo San Francisco.	48
Fig. No.8	Sección Geológica B-B' Cuerpo el Manto.	49
Fig. No.9	Sección Geológica C-C' Cuerpo de Enmedio.	50
Fig. No.10	Sección Geológica D-D' Cuerpo El Polvorín.	51
Fig. No.11	Sección Transversal Idealizada del Proyecto San Francisco.	53
Fig. No.12	Plano Geológico de las Minas San Francisco y El Carmen.	58
Fig. No.13	Diseño de Tajos Opción 1.	64
Fig. No.14	Cuerpo de Mineral Nivel 680 Opción 1.	65
Fig. No.15	Diseño de Tajos Opción 2.	66
Fig. No.16	Cuerpo de Mineral Nivel 680 Opción 2.	67

**Tablas****Página**

<b>Tabla No.1</b>	<b>Barrenación y Cuele de Obras Mineras Desarrolladas.</b>	<b>60</b>
<b>Tabla No.2</b>	<b>Gran Total de Reservas, Opción 1.</b>	<b>68</b>
<b>Tabla No.3</b>	<b>Reservas Cuerpo San Francisco, Opción 1.</b>	<b>69</b>
<b>Tabla No.4</b>	<b>Reservas Cuerpo El Manto, Opción 1.</b>	<b>70</b>
<b>Tabla No.5</b>	<b>Reservas Cuerpo De Enmedio, Opción 1.</b>	<b>71</b>
<b>Tabla No.6</b>	<b>Reservas Cuerpo El Polvorín, Opción 1.</b>	<b>72</b>
<b>Tabla No.7</b>	<b>Gran Total de Reservas, Opción 2.</b>	<b>73</b>
<b>Tabla No.8</b>	<b>Reservas Cuerpo San Francisco, Opción 2.</b>	<b>74</b>
<b>Tabla No.9</b>	<b>Reservas Cuerpo El Manto, Opción 2.</b>	<b>75</b>
<b>Tabla No.10</b>	<b>Reservas Cuerpo De Enmedio, Opción 2.</b>	<b>76</b>

## I.- Introducción.

### I.1.- Resumen

El proyecto San Francisco se localiza en la parte norte-central del estado de Sonora, a 150 Km al norte de Hermosillo. Está comprendido en la porción sonorensa de la provincia fisiográfica de "Sierras y Cuencas" (Basin and Range).

La geología de la región está constituida por rocas metamórficas del Precámbrico (Complejo Bámori) y del Jurásico (Grupo Coyotillo); rocas sedimentarias del Precámbrico (Capas Gamuza), del Cretácico (Formación Represo) y del Terciario (Formación Báucarit); rocas ígneas del Terciario (Granodiorita El Claro, Rocas volcánicas de composición basáltica, andesítica y riolítica y diques andesítico-dioríticos) y del Cuaternario (Formación Comedores) y por coluvión y aluvión del Cuaternario.

La región ha sido afectada por abundantes procesos geológicos a través del tiempo como es: la Revolución Mazatzal al cierre del Precámbrico; la depositación de las Capas Gamuza en el Precámbrico Tardío; la existencia de un arco magmático edificado en el borde continental durante el Triásico terminal-principios del Jurásico; el evento de metamorfismo regional que dió origen al Grupo Coyotillo, durante el Jurásico Medio; el evento de deformación de la secuencia metamórfica de Estación Llano en el Jurásico Superior; la transgresión marina durante el Cretácico Inferior; el desarrollo de la Fase Compresiva Mesocretácica; período de erosión representado por las molasas en el NE del Estado (Grupo Cabullona); el desarrollo de

la Revolución Laramide; el evento de magmatismo-vulcanismo del Terciario; la tectónica distensiva que provoca la apertura del Protogolfo de California y la provincia de Sierras y Valles Paralelos; el evento de denudación tectónica, y la depositación de las unidades Báucarit y Cocóspera; los ajustes isostáticos continuos que levantan, fallan y fracturan la Formación Báucarit; las erupciones por fisuras que dieron origen a la Formación Comedores y el desarrollo de depósitos no consolidados de aluviones y coluviones.

La litología aflorante en el proyecto consta de rocas pertenecientes al Grupo Coyotillo (secuencia metavulcanosedimentaria correspondiente a un dominio epi-mesozonal, y secuencia francamente metamórfica correspondiente a un dominio meso a catazonal) atravesadas por diques andesítico-dioríticos y por vetas de cuarzo y cuarzo-turmalina. Se tiene en el área una importante cubierta aluvial, que en algunas zonas es contenedora de abundantes obras de laboreo por oro de placer.

Los rasgos estructurales observables consisten en: estratificación; foliación con una tendencia general NW-SE con echados al NE; lineación mineral y de crenulación; pliegues; bandeamiento gneísico; diques andesítico-dioríticos; fracturas; vetas de alto ángulo (Veta San Francisco) y vetas de bajo ángulo (Vetas de la Valenzuela); red entrelazada de vetillas (stock-work) de cuarzo-turmalina y fallas de cabalgadura, normales e inversas.

Los depósitos minerales del proyecto San Francisco consisten en cuerpos de morfología burdamente tabular, a manera de "mantos", constituidos por una red entrelazada de vetillas (stock-work) de cuarzo-turmalina, en horizontes de granito-gneis y de gneises, siguiendo la "tendencia" (trend) estructural de estas rocas.

Vetas de alto y bajo ángulo forman parte integral de los depósitos.

La mineralogía principal de la mena es: oro, pirita y goethita en vetas y vetillas de cuarzo-turmalina; éstos dos últimos en combinación con fragmentos de la roca encajonante constituyen la ganga. Existen otros minerales a manera de trazas como es la galena, esfalerita, calcopirita, etc.

La mineralización de oro es desde grano muy fino, hasta de varios milímetros de diámetro. Al microscopio se observa incluida en goethita, pirita, cuarzo, y ocasionalmente en galena y petzita.

Las estructuras en escarpela y las texturas de relleno de cavidades, islas y mares, y coloforme, caracterizan a la mena del proyecto.

Las alteraciones observadas son: silicificación, piritización, sericitización, cloritización, epidotización. Las alteraciones supergénicas más comunes son la oxidación, y la sericitización y caolinización de feldespatos.

Según Changkuon (1990), los depósitos del proyecto se sitúan entre los modelos de tipo mesotermal e hipotermal. Según Silberman (1987) y Pérez (1989), se consideran como del tipo relacionado a "zona de cizalla" (shear zone). El suscrito se inclina por la idea de que son depósitos formados a temperaturas de moderadas a altas, con un origen estrechamente relacionado a la "zona de corredores deformados" de la "Megacizalladura" (Megashear) Mojave-Sonora.

La edad precisa de los depósitos se desconoce pero por las relaciones de campo se considera como del período Cretácico.

Se han logrado encontrar, a la fecha los cuerpos San Francisco, El Manto, De Enmedio y EL Polvorín.

El modelo geológico de los depósitos incluye las siguientes cuatro etapas: 1) etapa de tectónica compresional; 2) etapa de mineralización; 3) evento ígneo intrusivo; y 4) etapa de fracturamiento extensivo.

A la fecha se han usado varios métodos de exploración como son: levantamientos geológicos, exploración geoquímica, exploración geofísica, barrenación de percusión, barrenación de diamante, desarrollo de obras mineras y un amplio programa de barrenación de circulación inversa.

Para definir las reservas del proyecto se realizaron dos cálculos denominados respectivamente opción 1 (3,873,430 ton con 1.75 g Au/ton con una relación tep./min. de 5.73:1) y opción 2 (1,827,030 ton con 2.11 g Au/ton con una relación tep./min. de 3.91:1).

La metalurgia a aplicarse sería de "lixiviación de montones" (heap leaching) a un tamaño de quebrado óptimo de  $-3/8"$  y con un tiempo de duración de 30 días en las camas de riego por aspersión con cianuro con una recuperación de Au del 77 %.

## 1.2. Generalidades.

Dentro de las actividades generadas por la humanidad, la minería ha sido una de las industrias más importantes, básica en la civilización industrial y motivo de grandes asentamientos humanos; dado que la política de México para los próximos años es la de incrementar la producción de materias primas y productos industriales para evitar la fuga de divisas, es indispensable el crecimiento de la actividad minero-metalúrgica en el país.

El reto es muy grande y hasta ahora se ha sabido enfrentarlo, pues es evidente que en los últimos 20 años la producción y las reservas en las minas en operación en el país se han incrementado, como es el caso de los distritos de Guanajuato, Gto., Fresnillo, Zac. y Naica, Chih., así como los descubrimientos de nuevos yacimientos de gran tamaño de oro diseminado, plata diseminada, cobre, plomo y zinc, etc. entre los que se pueden citar a: Mulatos, Son., Real de Angeles, Zac., La Caridad, Son., El Arco, B.C.S. y Bismark, Chih.

Esto ha proporcionado una gran seguridad y un gran optimismo en cuanto a la potencialidad minera de la nación. Actualmente la exploración geológica-minera en busca de metales preciosos, específicamente del oro, tiene gran importancia en el país especialmente en el estado de Sonora, debido:

1. A la aplicación de nuevas teorías de modelos de yacimientos de oro diseminado, como las establecidas a partir de la localización de varios depósitos en el suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica, como son: Mezquite, Picacho y Cargo Muchacho , en California; Sleeper, Carlin, Round Mountain y Gold Quarry, en Nevada; La Mina Sigma en Canadá y los depósitos de Champagne Pool, en Nueva Zelanda.
2. A que el precio del oro, aunque ha bajado en los últimos tiempos, todavía es atractivo.
3. Al desarrollo de técnicas de tratamiento y extracción del mismo con bajos costos operativos.
4. A que algunas condiciones geológicas de yacimientos como Picacho y Cargo Muchacho en California, parecen extenderse hacia México.

**Objetivo:**

El presente trabajo tiene como objetivo definir y explicar las características generales de los depósitos minerales del proyecto San Francisco, Son., así como la evaluación de sus recursos con base en los datos obtenidos en los trabajos de campo.

### **I.3.- Localización y Acceso.**

El proyecto San Francisco se localiza en la parte norte-central del estado de Sonora, en el noroeste de México, aproximadamente a 150 Km al norte de la ciudad de Hermosillo y a escasos 2 Km al S50°W del poblado de Estación Llano, con el cual se comunica por un camino de terracería transitable todo el año; sus coordenadas geográficas son: 30°20'14'' a 30°21'19'' latitud Norte y 111°06'43'' a 111°08'07'' longitud Oeste (figura No.1).

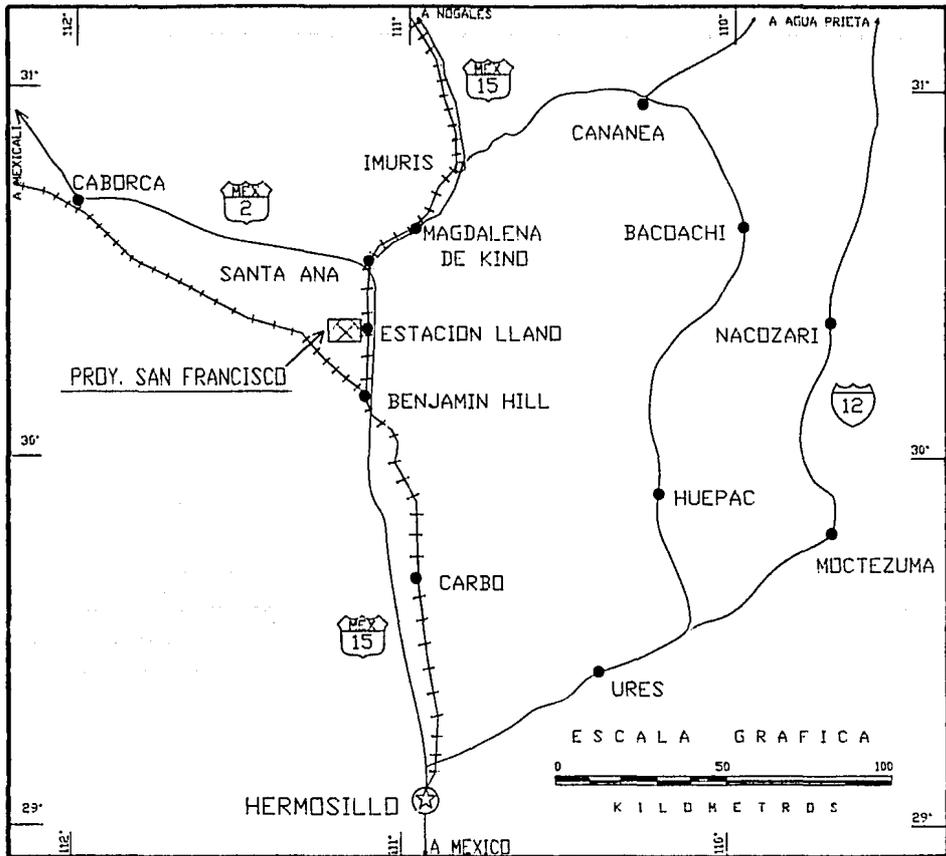
### **I.4.- Infraestructura.**

El proyecto se ubica a 2.5 Km al poniente de la carretera internacional de cuatro carriles México 15 en su tramo Nogales-Hermosillo y a 2 Km de una pequeña estación del F.F.C.P., ubicada en Estación Llano, lugar con una población aproximada de 1800 habitantes, que cuenta con servicios de energía eléctrica, agua potable y una caseta telefónica.

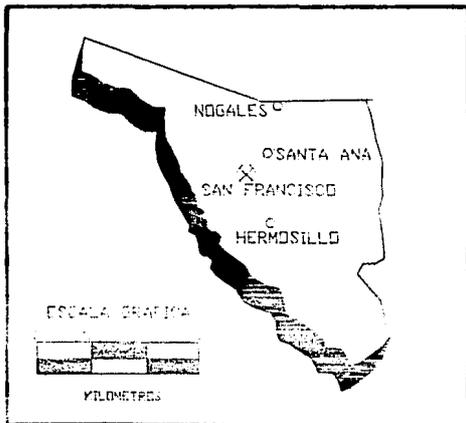
A 20 Km al norte de Estación Llano se localiza la ciudad de Santa Ana, Son., la cual cuenta con servicios bancarios, de telégrafos, correos, teléfono, etc.

### **I.5.- Fisiografía y Geomorfología.**

El área de estudio está comprendida dentro de la porción sonorenses de la provincia fisiográfica de "Sierras y Cuencas" (Basin and Range) (Fenneman, 1931) o en la provincia de Sierras y Valles Paralelos (Raíz, 1964) (Figura No. 2).



## ESTADO DE SONORA



MANZANA	FACULTAD DE INGENIERIA
	PLANO DE LOCALIZACION PROYECTO SAN FRANCISCO MUNICIPIO DE SANTA ANA (ESTACION LLANO), SONORA.
	ING. ARNELIO CACUNA MONTIEL



La región está caracterizada por sierras aisladas, fuertemente disectadas, separadas por amplias cuencas rellenas de aluvi6n, casi planas y con una superficie de pedimentos.

En el 6rea los principales lomerios que representan las partes altas son : cerro La Barajita y cerro San Francisco, situados en la porci6n sur, cerro Gauna en la parte central y sierra de la Vetatierra al norte de la misma.

La altitud de los valles es de 700 m.s.n.m., y las m6ximas elevaciones tienen alrededor de los 900 m.s.n.m.

#### I.6.- Clima.

Altas temperaturas y bajos niveles de precipitaci6n pluvial son caracteristicas del clima de esta regi6n; el cual es clasificado como BW, seco des6rtico con lluvias muy escasas y espor6dicas (K6eppen, 1931).

En el verano se tiene una temperatura media m6xima mensual de 29.1°C; y en el invierno una temperatura media m6nima mensual de 12.4°C; la temperatura media anual es de 20.6°C. Las lluvias se presentan en los meses de Julio y Agosto con una precipitaci6n media anual de 332 mil6metros, las heladas ocurren de Febrero a Marzo.

#### I.6.- Flora y Fauna.

La flora y fauna de la regi6n son t6picas de las zonas des6rticas, y comprende respectivamente: ocotillo, gobernadora, uña de gato, palo verde, palo fierro y sahuaro. Liebre, codorniz, v6bora de cascabel, escorpi6n, correcaminos, coyote, lagartija y conejo.

## II.- Geología Regional.

### II.1.- Estratigrafía.

La geología de la región está constituida por rocas metamórficas del Precámbrico y Jurásico; rocas sedimentarias del Precámbrico, del Cretácico y del Terciario; rocas ígneas del Terciario y Cuaternario; y por coluvión y aluvión del Cuaternario (Morales, 1984)(figura No. 3 y figura No. 4).

#### a).- Precámbrico:

- Complejo Metamórfico Bámori: constituido por una asociación de esquistos y cuarcitas propias de la facies esquistos verdes; así mismo, existen anfibolitas y gneises de la facies anfibolita. También se presentan rocas graníticas de carácter pegmatítico; probablemente de la serie de las migmatitas. Se asigna al Precámbrico Temprano; aflora a 18 Km al SW del área de estudio (Morales, op. cit.).

- Capas Gamuza: se tienen ubicados afloramientos equivalentes a la parte inferior de esta unidad del Precámbrico Tardío (con marcados cambios de facies), constituidos por lutitas, calizas y areniscas. Afloran a 19 Km al SW del proyecto San Francisco (Morales, op. cit.).

#### b).- Paleozoico:

- No se han reportado rocas de esta edad en las cercanías de esta zona.

- El Paleozoico de la región de Caborca aproximadamente a 120 Km al NW de la zona de estudio está representado desde el Cámbrico al Pérmico por una secuencia calcáreo-detritica.

c).- Mesozoico:

- Triásico:

No se han reportado rocas de esta edad en las cercanías del área de estudio.

El Triásico de la zona del Antimonio, aproximadamente a 45 Km al W-SW de Caborca está representado por depósitos marinos de areniscas, calizas y lutitas (González, 1982).

- Jurásico.

Grupo Coyotillo. Salas (1968), denomina así a una asociación de filitas, micaesquistos, mármoles, metaconglomerados y cuarcitas, con paragénesis de minerales correspondiente a la facies de esquistos verdes, aflorantes en las inmediaciones de Santa Ana Viejo, a las cuales asignó una edad de Precámbrico Tardío. Otros afloramientos asignables a esta unidad, son los expuestos al W del poblado de Estación Llano, en los cerros denominados la Barajita, San Francisco y Gauna.

Posteriormente Morales (1984), asigna para el Grupo Coyotillo una edad de Jurásico Medio-Tardío, y observa que las rocas de esta unidad se encuentran cortadas por diques andesíticos y vetas de cuarzo. Esta unidad es la que contiene los depósitos minerales de rendimiento económico objetivo de la exploración realizada en el Proyecto.

- Cretácico.

- Formación Represo: término utilizado por Salas (op.cit.) para definir una secuencia terrígeno-carbonatada, constituida por una intercalación de limolitas, areniscas y calizas, con algunos horizontes conglomeráticos. Afloran en los alrededores de Santa Ana (Morales, op.cit.).

Esta unidad contiene evidencias de mineralización en forma de vetas y cuerpos de skarn, desafortunadamente sin valor económico.

En el flanco sur de la sierra de la Vetatierra presenta ligero metamorfismo y está en contacto por falla con las rocas del Grupo Coyotillo (Espinosa, 1988).

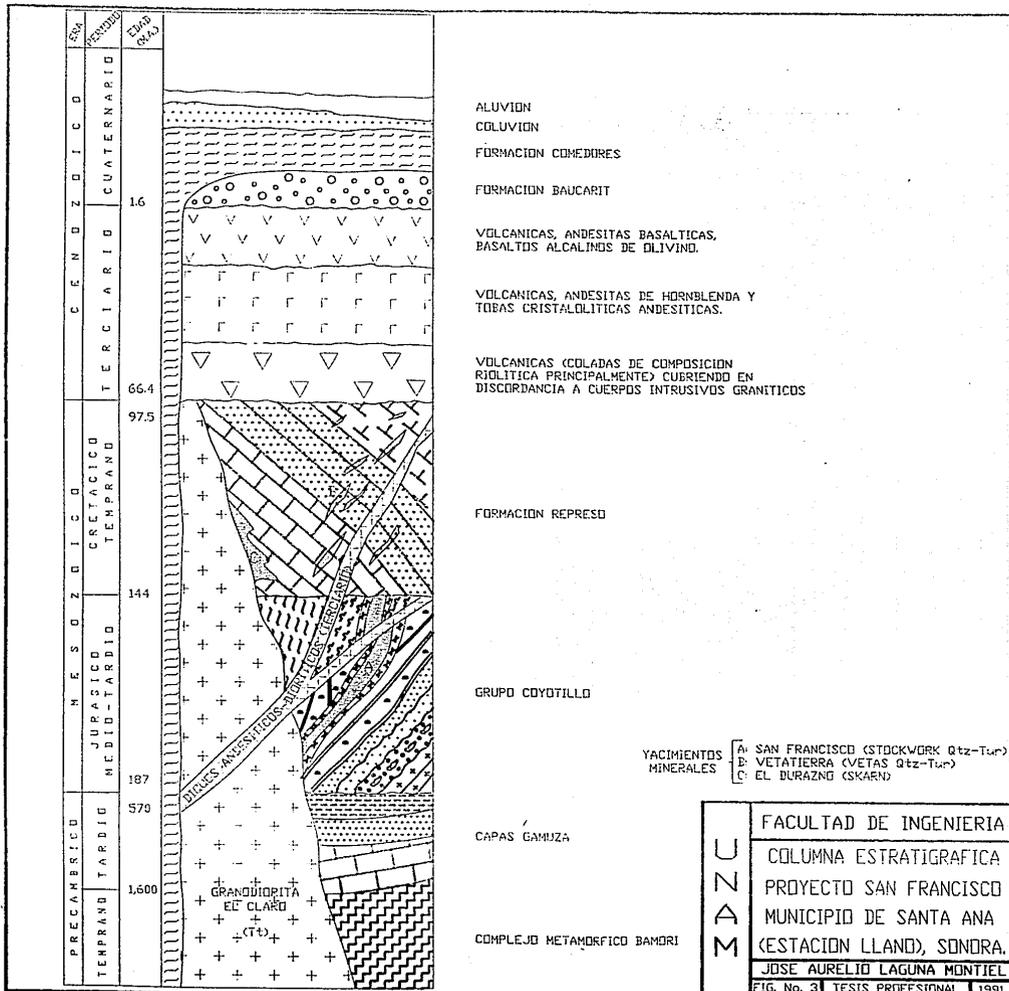
d).- Cenozoico:

- Terciario:

- Granodiorita el Claro, cuerpo plutónico de naturaleza félsica. Aflora a 12 Km al norte del proyecto San Francisco. Intrusiona a las rocas de la Formación Represo y da lugar a la formación de skarn (Morales, op.cit.).

- Rocas volcánicas de composición basáltica, andesítica y riolítica originadas durante la gran actividad magmática que tiene lugar en la provincia de Sierras y Valles Paralelos, afloran al este de Santa Ana (Morales, op.cit.).

- Diques andesítico-dioríticos, se encuentran intrusionando a las rocas metamórficas del Grupo Coyotillo y a las rocas sedimentarias de la Formación Represo.



ALUVION  
COLUVION

FORMACION COMEDORES

FORMACION BAUCARIT

VOLCANICAS, ANDESITAS BASALTICAS,  
BASALTOS ALCALINOS DE OLIVINO.

VOLCANICAS, ANDESITAS DE HORNBLENDA Y  
TOBAS CRISTALOLITICAS ANDESITICAS.

VOLCANICAS (COLADAS DE COMPOSICION  
RIOLITICA PRINCIPALMENTE) CUBRIENDO EN  
DISCORDANCIA A CUERPOS INTRUSIVOS GRANITICOS

FORMACION REPRESO

GRUPO COYOTILLO

YACIMIENTOS MINERALES

- A: SAN FRANCISCO (STOCKWORK Qtz-Tur)
- B: VETATIERRA (VETAS Qtz-Tur)
- C: EL DURAZNO (SKAEN)

CAPAS GAMUZA

COMPLEJO METAMORFICO BAMBURI

FACULTAD DE INGENIERIA  
COLUMNA ESTRATIGRAFICA  
PROYECTO SAN FRANCISCO  
MUNICIPIO DE SANTA ANA  
(ESTACION LLANO), SONORA.  
JOSE AURELIO LAGUNA MONTEIL  
FIG. No. 3 TESIS PROFESIONAL 1991





## EXPLICACION

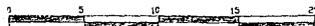
ALUVION	
COLUVION	
DISCORDANCIA	
FORMACION BAUCARIT	
DISCORDANCIA	
VOLCANICAS, ANDESITAS BASALTICAS, BASALTOS ALCALINOS DE OLIVINO	
DISCORDANCIA	
VOLCANICAS, ANDESITAS DE MORNPLENDA Y TOBAS CRISTALOLITICAS ANDESITICAS	
DISCORDANCIA	
VOLCANICAS SOLADAS DE COMPOSICION ROLITICA PRINCIPALMENTE, QUEBIENDO EN DISCORDANCIA A CUERPOS INTRUSIVOS GRANITICOS.	
GRANDISIRITA EL CLARO	
DISCORDANCIA	
FORMACION REPRESO	
MIEMBRO CALICA DE LA FORMACION REPRESO	
DISCORDANCIA	
GRUPO COYOTILO (FILITAS, CUARCITAS, MARMOLES, ESQUISITOS, METACONGERADOS CORTADOS POR DIQUES ANDESITICOS)	
DISCORDANCIA	
PRECAMBRIOS FARDOS (SECUENCIA CASQUETADA-CLASICA CONSISTENTE EN EOLANIAS, OSTEOCUARCITAS Y LINGULITAS)	
DISCORDANCIA	
PRECAMBRIOS TEMPRANO (COMPLEJO METAMORFICO BANCRI)	
<b>S I M B O L O G I A</b>	
CONTACTO GEOLOGICO (INFERIO DISCONTINUO)	
FALLA NORMAL MOSTRANDO EL BLOQUE HUNDIDO (INFERIO DISCONTINUO)	
FALLA O FRACTURA (INFERIO DISCONTINUO)	
EJE ANTICLINAL (INFERIO DISCONTINUO)	
EJE SINCLINAL (INFERIO DISCONTINUO)	
RUMBO Y ECHADO FOTOLOGOLOGICO	
LINEAMIENTOS SOBRE FORMACION BAUCARIT	
KLEPPE	
CENTRO DE FOTOGRAFIA AEREA MOSTRANDO DIRECCION DE VUELO Y LINEA DE VUELO	
CIUDAD O PUEBLADO	
CAMINO DE TERRACERIA	
VIA FERREA	
ARROYO INTERMITENTE	
COORDENADA GEOGRAFICA	
RIO O CORRIENTE PERMANENTE	
AREA DE ESTUDIO	



1111400



ESCALA GRAFICA



KILOMETROS

FACULTAD DE INGENIERIA

PLANO GEOLOGICO REGIONAL  
 PROYECTO SAN FRANCISCO  
 MPIG. DE SANTA ANA  
 ESTACION LALAND, SONORA  
 TOMADO DE MORALES, 1984

JOSE AURELIO LAGUNA MONTIEL

FIG. No. 4 TESIS PROFESIONAL 1991

M.Z.C.

- Formación Báucarit, consistente en conglomerados y areniscas bien estratificadas, es posterior a la gran época de actividad volcánica del Terciario. Afloran al este de Estación Llano (Espinosa, 1989).

- Cuaternario.

- Formación Comedores, constituida por basaltos alcalinos de olivino. Afloran al este del área de estudio (Morales, op. cit.).

- Aluvión y coluvión en grandes extensiones, se encuentran cubriendo a todas las rocas anteriores.

## II.2.- Resumen Tectónico.

El siguiente resumen tectónico se realizó con base en datos de las publicaciones sobre el área de estudio.

1.- El evento más antiguo corresponde a un proceso de metamorfismo regional que dió lugar a la formación del Complejo Metamórfico Bámori, durante la Revolución Mazatzal al cierre del Precámbrico Temprano (Morales, 1984).

2.- La depositación de la secuencia carbonatada clástica del Precámbrico Tardío en zonas de plataforma de aguas someras con aporte detrítico de tierras positivas del paleo-relieve existente, que son la prolongación hacia el sur del Geosinclinal de la Cordillera (Morales, op. cit.).

3.- La existencia de un arco magmático edificado en el borde continental como consecuencia de la subducción de la corteza oceánica bajo la margen occidental de Norteamérica durante el Triásico terminal-principios del Jurásico. Al oriente de este arco, se localizaba una cuenca donde se depositaron rocas vulcanosedimentarias con elementos de origen volcánico contemporáneo y con elementos producto de la erosión del mismo arco. Este evento vulcanosedimentario daría origen a la secuencia original presente en Estación Llano cuya edad sería posiblemente Triásico Superior-Jurásico Inferior (Herrera,1989).

4.- En el Jurásico Medio se lleva a cabo un evento de metamorfismo regional produciendo la secuencia metamórfica y metavulcanosedimentaria de Estación Llano, en un ambiente epizonal inferior a francamente mesozonal (Herrera, op. cit.).

La asignación del metamorfismo al Jurásico Medio se apoya, además, en un fechamiento radiométrico (Damon,1981 en Herrera, 1989) realizado en un gneis de biotita proveniente de una secuencia similar presente en la sierra de La Jojoba (Región de Magdalena, Son.), el cual estableció una edad para el metamorfismo de  $169 \pm 0.8$  m.a.

5.- En el Jurásico Superior ocurre un evento de deformación de la secuencia metamórfica de Estación Llano manifestado por el plegamiento en diversas fases (F1, F2 y F3) de la foliación o esquistosidad. Este evento correspondería al conocido como Orogenia Nevadiana y sería el responsable de la serie de cabalgamientos internos con vergencia aparentemente hacia el Sur o el SW (Herrera, op. cit.).

6.- Durante el Cretácico Inferior sucedió una transgresión marina producto de la prolongación al oeste de la Cuenca Chihuahuense, originándose el Grupo Bisbee al NW del Estado y de la Formación Represo (Salas,1968) situada al norte de la zona de estudio. Esta formación presumiblemente se deposita en discordancia sobre la secuencia metamórfica de Estación Llano (Herrera,op.cit.).

7.- A mediados del Cretácico se desarrolla la fase compresiva Mesocretácica plegando tanto a la Formación Represo como a la secuencia metamórfica de Estación Llano, en donde estaría representada al menos por la fase tardía F4, la cual ha sido igualmente observada en la secuencia cretácica antes mencionada (Herrera, op. cit.)

8.- Período de erosión representado por las molasas al NE del Estado (Grupo Cabullona) que cubren en discordancia al Cretácico inferior y a su basamento paleozoico (Rangin,1977 en Morales,1984).

9.- La Revolución Laramide, representada por la cabalgadura de los depósitos del Cretácico Inferior y su basamento, sobre el Grupo Cabullona del Cretácico Superior, en la región de Cabullona, aproximadamente 25 Km al sur de Agua Prieta a 175 Km al NE del proyecto San Francisco, y por el magmatismo asociado que dió origen a la unidad Riolita El Pinito, que aflora al NE de Imuris aproximadamente a 55 Km al NE del área de estudio (Morales,op. cit.).

10.- Un evento de plutonismo-vulcanismo producto de la gran actividad magmática del Terciario provocó el emplazamiento de un importante conjunto vulcano-plutónico alineado NNW-SSE, representado por la Granodiorita El Claro y las rocas volcánicas de la serie calcoalcalina (Morales, op. cit.).

11.- Una tectónica distensiva que origina la apertura del Protogolfo de California y la formación de la provincia de Sierras y Valles Paralelos (Morales, op. cit.).

12.- La denudación tectónica de las unidades geomórficas expuestas y la depositación en condiciones tafrogeosinclinales de las unidades Báucarit y Cocóspera (Morales, op. cit.).

13.- Ajustes isostáticos continuos que levantan, fallan y fracturan la Formación Báucarit (Morales, op. cit.).

14.- Erupciones por fisuras profundas debido a la continuidad de la distensión provocan el depósito de la Formación Comedores (Morales, op. cit.).

15.- Acción continua de fuerzas exógenas causan la denudación de las unidades expuestas y provocan el desarrollo de depósitos no consolidados de aluviones y coluviones (Morales, op. cit.).

### **III.- Geología Local.**

#### **III.1.- Litología.**

La litología aflorante en el proyecto está representada por rocas metamórficas pertenecientes al Grupo Coyotillo, cortadas por diques andesítico-dioríticos y por vetas de cuarzo y cuarzo-turmalina (Figura No. 5).

##### **III.1.1.- Grupo Coyotillo.**

###### **A.- Secuencia Metavulcanosedimentaria:**

Constituída de la base a la cima, por filitas negras, zona de "escamas" constituída por una porción de filitas negras y otra de gneises de biotita, secuencia de 740 m constituída por cuarcitas de biotita, filitas cuarcíticas, tobas líticas y lítico cristalinas, subarcosas o meta-grauvacas arcósicas, meta-areniscas conglomeráticas - metaconglomerados arenosos (Mar) y por filitas grises a negras (Fi). Afloran en el cerro "La Barajita" (Herrera, 1989).

Las rocas de esta secuencia presentan débil metamorfismo y corresponden a un dominio que se puede situar entre la epizona y la mesozona (Pérez, 1989).

###### **B.- Secuencia Francamente Metamórfica, cuyas unidades son:**

a) Un conjunto de rocas verdes constituído por gneis-esquisto (Gn-Eq), Gneis anfibolítico (Gns) y paragneis (PGn), con delgados y esporádicos lentes de mármol gris; b) Granito-gneis (Gr-Gn); y c) Migmatita de Inyección (Mig).

Estas rocas pertenecen a un dominio metamórfico claramente meso a catazonal (Pérez, 1989).

**a).- Gneis-Esquisto (Gn-Eq):**

Localmente se denomina gneis-esquisto a un conjunto de rocas constituido en forma general por un intercalamiento de gneises de biotita-clorita y micaesquistos en sus tres tipos: a) Esquistos de muscovita-biotita-cuarzo, b) Esquistos de plagioclasa-clorita-cuarzo y c) Esquistos de muscovita-clorita-cuarzo, estos últimos en ocasiones denominados gneis-esquistos de cuarzo-clorita-sericita en las descripciones de barrenos.

Las rocas de esta unidad presentan pirita fresca disseminada.

**b).- Gneis anfibolítico (Gns).**

Megascópicamente presenta una textura granoblástica, gneísica mesocrática en donde los cristales de anfíbol verde se encuentran débilmente alineados dentro de la zoisita (esta es megascópicamente similar a las plagioclasas).

Microscópicamente esta roca está compuesta de zoisita, tremolita-actinolita, diópsida y clintonita (Vélez, 1987).

Aflora en una de las lomas de la porción sur del proyecto, también se han detectado rocas de este tipo en barrenos y zanjas de exploración.

Esta roca proviene del metamorfismo de un gabra en forma de placolito (sill) (Vélez, op.cit.).

**c).- Paragneis (PGn).**

Son rocas de color verde con franjas blancas y ligeros tonos amarillentos, de textura granoblástica con aspecto detrítico, que ocasionalmente presentan textura "augen".

Generalmente contienen intercalaciones de delgados lentes de mármol o de horizontes de micaesquisto.

Al microscopio petrográfico presentan una textura gneísica, granoblástica de grano medio a grueso, constituidos esencialmente por plagioclasa sódica, cuarzo, calcita y diferentes proporciones de micas (muscovita-clorita-biotita), las cuales dan una foliación a la roca. El cuarzo presenta alargamiento paralelo a la foliación y está fuertemente intercrecido con las plagioclasas. Las micas se encuentran entre los granos de cuarzo-plagioclasa o entre los granos de cuarzo-calcita. Se presenta zircón y apatita como minerales accesorios (Vélez op. cit.).

Estas rocas provienen del metamorfismo de bajo grado de areniscas (posiblemente grauvacas), las cuales contenían en ocasiones interestratificaciones de pelitas, calizas y margas.

**d).- Granito-Gneis (Gr-Gn).**

Roca de color blanco con esporádicos tintes verdes y manchas amarillo-rojizas, de textura predominantemente granoblástica, presenta también bandeamiento gneísico y en algunas localidades se observa con texturas graníticas. En ejemplar de mano la mineralogía observable es cuarzo, feldespatos y muscovita.

Su principal afloramiento es dentro del tajo "El Salvador" y en sus alrededores. Se han encontrado horizontes de roca similar, de menores dimensiones, en algunas zanjas de exploración realizadas en el proyecto.

Se encuentra encajonado por paragneises y gneis-esquistos de cuarzo-clorita-sericita al alto y gneis-esquistos de biotita-clorita y gneises anfibolíticos al bajo.

Microscópicamente se observa de textura equigranular débilmente gneísica. Los cristales de cuarzo deformados aparecen alargados y formando bandas discontinuas, se encuentran intercrecidos con plagioclasas, las cuales están parcialmente muscovitizadas, sericitizadas y cloritizadas. En otra facies se presenta de textura equigranular entrecruzada, formada por cristales de plagioclasa sódica (en ocasiones deformados), afectada por microfracturas que contienen cuarzo, calcita, hematita y algo de muscovita (Vélez op. cit.).

En la facies rica en microclina, la roca se encuentra afectada por una alteración sericitica que transforma en diferente grado (hasta un 50%) a las plagioclasas; es más intensa en zonas de microfiloncillos y en zonas de intensa deformación (Pérez,1989).

El granito-gneis es la roca más favorable para contener la mineralización de oro debido a su grado de competencia, el cual propició la preparación mecánica necesaria para la conducción y depósito de la misma.

**e).- Migmatita de Inyección (Mig):**

Roca leucocrática, constituida de cristales gruesos de cuarzo, plagioclasa, feldespatos y micas; su textura es granoblástica gruesa, en ocasiones pegmatítica; se presenta en esporádicos y pequeños afloramientos los cuales muestran una continuidad pobre en dirección del rumbo de las rocas foliadas. Su carácter intrusivo se observa en una de las catas antiguas de la parte SE del proyecto.

Al microscopio petrográfico, se observan formadas por cuarzo, plagioclasa sódica antiperitítica frecuentemente deformada y feldespato potásico peritítico. La muscovita y la sericita se presentan como minerales de alteración a lo largo de los cruceros de la plagioclasa. Estas rocas son producto de la fusión parcial de las rocas preexistentes, inyectadas durante el metamorfismo (Vélez, 1987).

### III.1.2.- Brecha (Br).

De origen hidrotermal. Constituida por fragmentos angulosos a subangulosos de rocas metamórficas, cementados por cristales de barita y óxidos de Fe. Se presentan en la parte sur del proyecto, en el contacto entre la secuencia francamente metamórfica y la secuencia metavulcanosedimentaria.

### III.1.3.- Diques Andesíticos y Dioríticos (And y Dio) :

Son rocas predominantemente mesocráticas, las cuales muestran una textura que varía de afanítica a fanerítica, se presentan en forma de diques desde algunos centímetros hasta 30 m de espesor, con una orientación WNW-ESE, casi paralelos al rumbo de la foliación de las rocas metamórficas a las cuales se encuentran intrusionando.

Los diques de grano fino y porfídicos son los más angostos. Al microscopio muestran una textura subofítica con microlitos de plagioclasa, fenocristales de plagioclasa zonados y hornblenda, la cual puede estar parcial o totalmente reemplazada por calcita, clorita, epidota y tremolita-actinolita. Los intersticios de los microlitos están ocupados por cuarzo e intercrecimientos gráficos de cuarzo-ortoclasa. Estas rocas fueron clasificadas como andesitas de hornblenda (Vélez, op. cit.).

Los diques de mayor espesor y de textura fanerítica muestran texturas similares y su composición mineralógica es la misma, pero la hornblenda está en menor proporción que en los diques de grano fino. Estas rocas son clasificadas como dioritas de hornblenda (Vélez, op. cit.).

#### III.1.4.- Aluvión (Al) :

Todas las rocas anteriormente descritas están cubiertas por aluvión, que al oriente del arroyo El Llano llega a tener espesores superiores a los 100 m, como los 140 m detectados en el pozo para agua perforado en Estación Llano, cerca de la escuela Telesecundaria (Fomento Agrícola, 1988, información oral); lo cual constituye un factor que puede limitar la exploración de posibles extensiones al oriente de los cuerpos mineralizados.

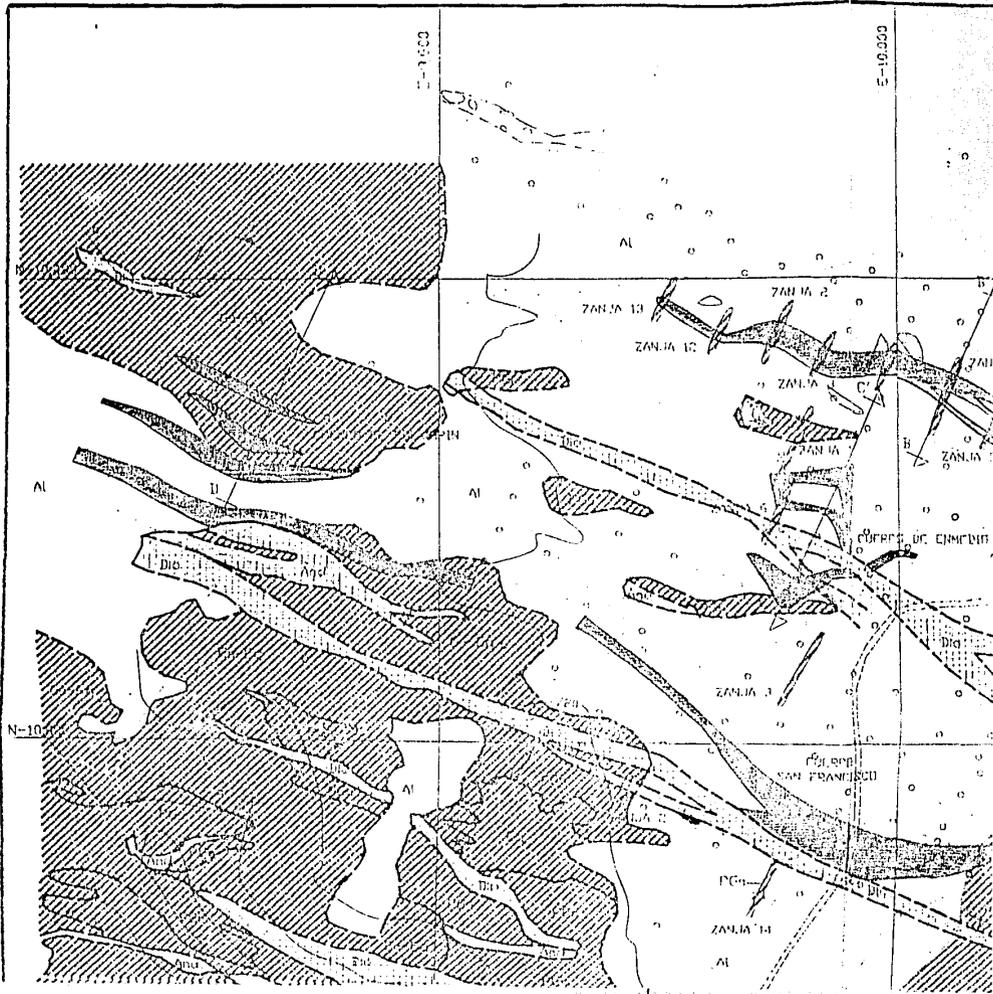
#### III.2.- Geología Estructural.

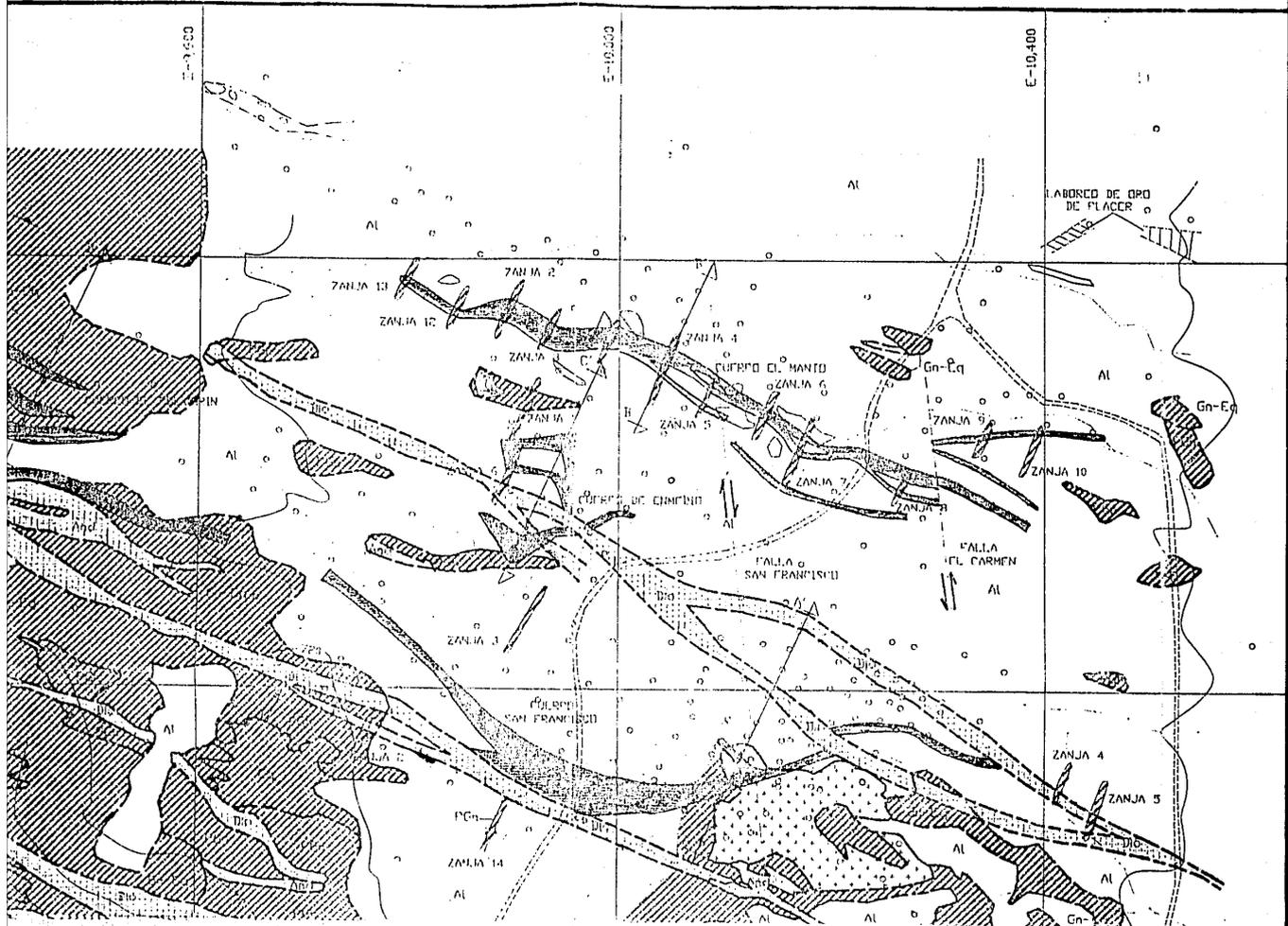
Los rasgos estructurales observables consisten en: estratificación, foliación, lineaciones, pliegues, bandeamiento gneísico, diques, fracturas, vetas, vetillas y fallas.

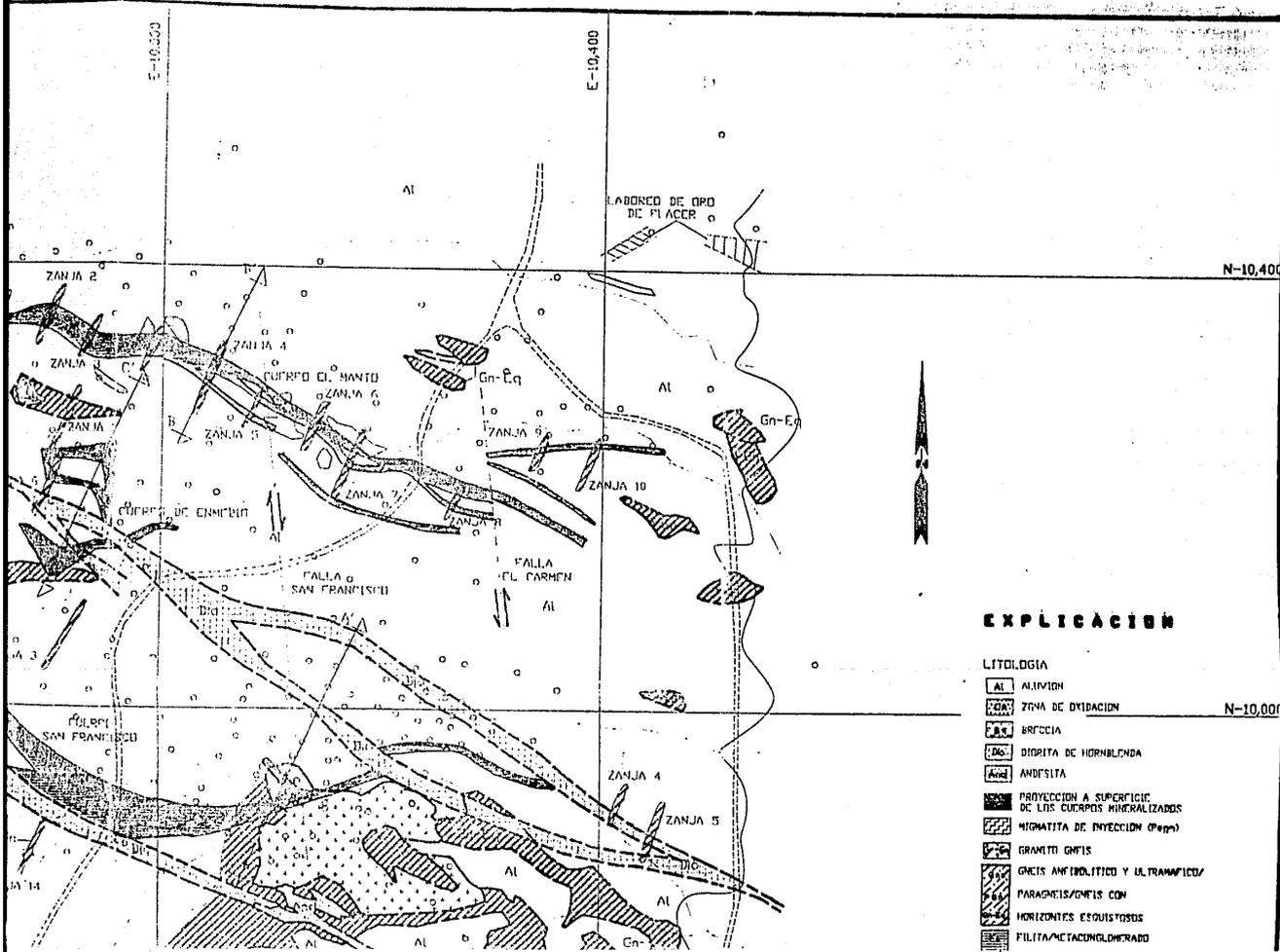
##### - Estratificación:

La estratificación original se puede reconocer con certeza en las rocas de la secuencia metavulcanosedimentaria como es la cuarcita de biotita (Herrera, 1989).

El paragneis de la secuencia francamente metamórfica muestra una pseudoestratificación en capas de 10 a 30 cm no siempre observable (Vélez, 1987).



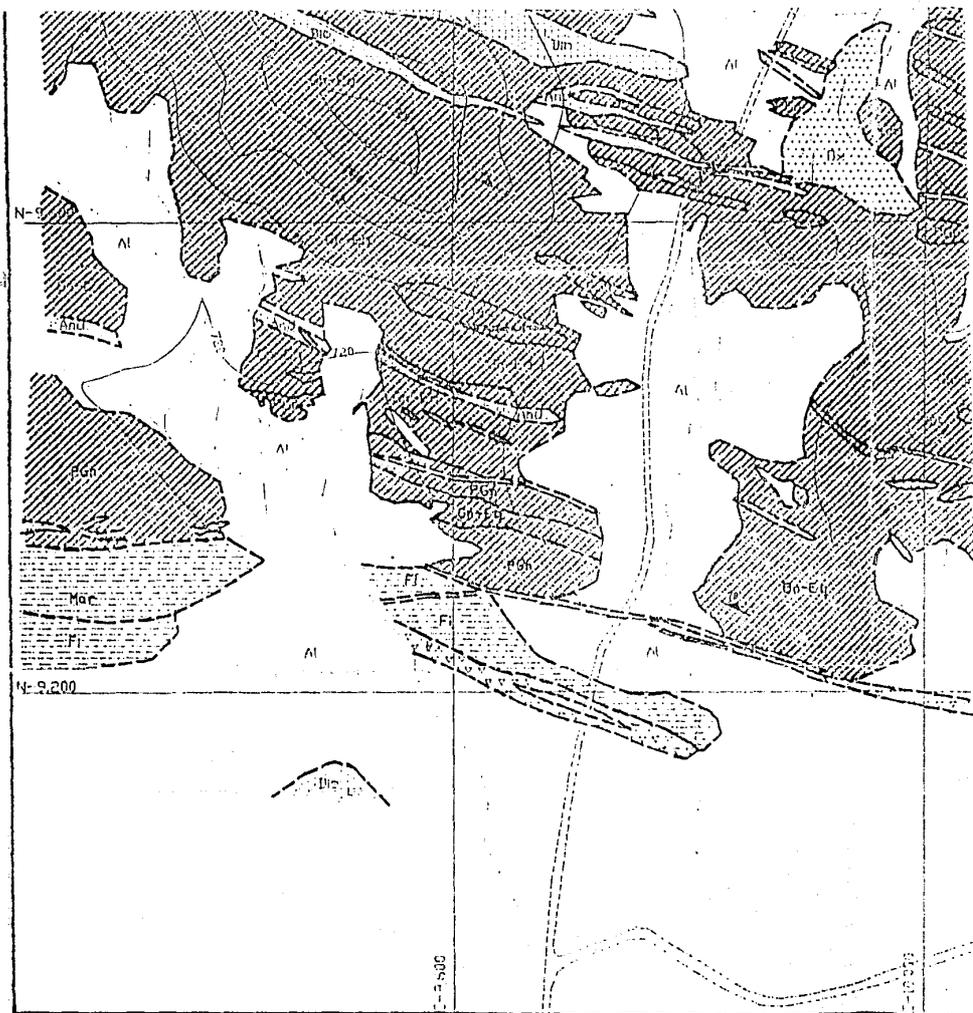




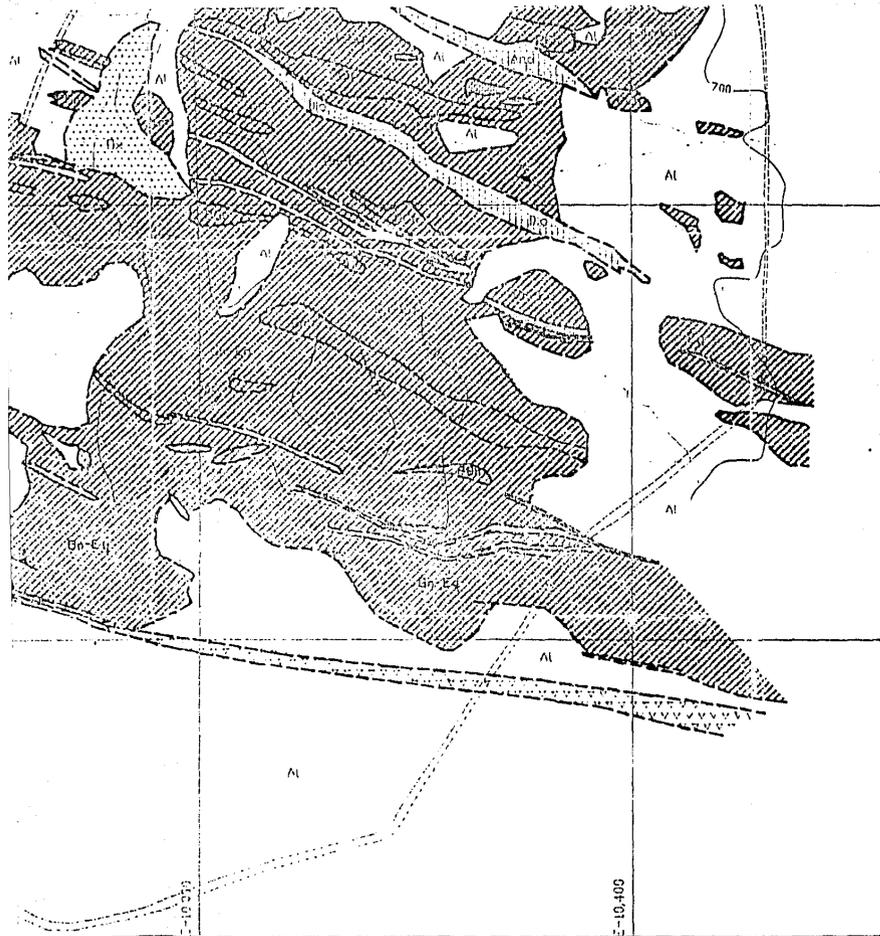
## EXPLICACION

### LITOLOGIA

-  ALUMINIO
-  ZONA DE OXIDACION
-  BRICIA
-  DIORITA DE HORNELEDA
-  ANDESITA
-  PROYECCION A SUPERFICIE DE LOS CUERPOS MINERALIZADOS
-  MICHATITA DE INYECCION (Pepa)
-  GRANITO GNFS
-  GNFS ANFIBOLITICO Y ULTRAFILICO
-  PARACHELS/GNFS CON
-  HORIZONTES ESQUISTOSOS
-  FILITA/METACONGLOMERADO







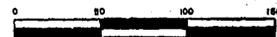
 META IGNEA DE LA SECUENCIA  
 META VIA SEDIMENTARIA

**SIMBOLOGIA**

-  RUMBO Y EDAD DE FOLIACION
-  FRACTURA Y FALLA
-  CONTACTO REFINADO O SUTURA
-  AFLORAMIENTO
-  CURVA DE NIVEL (M/20m)
-  OMPAS HONDAS SUPERFICIALES
-  ZANJA
-  TERRERO
-  BARREJO DE CIRCULACION INVERSA DE DIAMANTE Y DE PERCUSION
-  ZONA DE LABORIO DE DRO DE PLACER
-  ARROYO
-  CAMINO

N-9,600

ESCALA GRAFICA



METROS

M A Z U C

FACULTAD DE INGENIERIA

PLANO GEOLOGICO  
 PROYECTO SAN FRANCISCO  
 MPIO. DE SANTA ANA  
 (ESTACION LLANO), SONORA.  
 MODIFICADO DE C. SANTIAGO.

JOSE AURELIO LAGUNA MONTIEL

FIG. No. 5

TESIS PROFESIONAL

1961

- Foliación:

La foliación regional es de una tendencia general  $N78^{\circ}W/60^{\circ}NE$ , mientras que en las rocas del conjunto denominado gneis-esquistos varía hasta  $N63^{\circ}W/53^{\circ}NE$  (Trigos, 1988).

- Lineación:

a) Lineación mineral, manifestada por la orientación de micas (biotita y clorita) en una dirección general NW-SE, sobre todo en las rocas de la unidad denominada gneis-esquistos (Herrera, op. cit.).

b) Lineación de crenulación ("string-slip cleavage"): Observada en las filitas de la zona de "escamas" en la secuencia metavulcanosedimentaria, se manifiesta por la deformación de la esquistosidad en pequeños pliegues. Su orientación general es NE-SW (Herrera, op. cit.).

- Pliegues:

Herrera, op. cit. detecta cuatro tipos de plegamiento, sin establecer hasta el momento su cronología relativa.

- F1: Pliegues isoclinales, de escala decimétrica, con planos axiales orientados NW-SE y un echado constante hacia el NE.

- F2: Pliegues abiertos simétricos, de escala decimétrica con planos axiales orientados NW-SE y echados leves al NE. A nivel de afloramiento se puede observar que afectan a la fase F1.

- F3: Pliegues tipo "kink" del orden de decímetros de extensión, presentan planos axiales predominantemente orientados NW-SE y un echado frecuentemente de 90° o un fuerte echado al NE o al SW.

- F4: Pliegues simétricos abiertos: son del orden de decímetros a decenas de metros en extensión, con planos axiales orientados NW-SE y con un echado muy fuerte o verticales. A nivel del afloramiento se puede observar que esta fase involucra a la fase F1.

- Bandeamiento gneísico.

Observado sobre todo en los paragneises de la secuencia francamente metamórfica, constituido por una alternancia de bandas de minerales claros (cuarzo y feldespatos) y de minerales oscuros (biotita-clorita).

- Diques.

En el área se observa una serie de diques de composición intermedia (andesítico-dioríticos), algunos de ellos emplazados a lo largo de los planos de foliación, muchos otros se emplazaron en fallas de gran y bajo ángulo intrusionando a las rocas metamórficas y desplazándolas. Su rumbo general es N63°W/58°NE.

- Fracturas: Las rocas contenedoras de la mineralización están intensamente fracturadas. Los cinco sistemas más importantes de fracturamiento son:

sistema uno	N40°E/90°
sistema dos	N64°W/60°NE
sistema tres	N84°E/59°NW
sistema cuatro	N49°W/80°NE
sistema cinco	E-W/50°S

- Vetas:

a) De alto ángulo, tipo Veta San Francisco, la cual presenta un rumbo N64°W/70°NE en niveles superficiales, que por abajo de los 690 m.s.n.m., cambia su echado hacia el SW.

- Vetillas.

Se observa vetilleo de cuarzo y cuarzo-turmalina presente como escarapela (stock-work), emplazado en donde se intersectan vetas de alto ángulo con vetas de bajo ángulo, por ejemplo en el tajo "El Salvador".

- Fallas.

Se reconocen una serie de fallas de cabalgadura como las observadas en la zona de "escamas" y aquella que pone en contacto la secuencia metamórfica sobre la secuencia metavulcanosedimentaria. Estas fallas se orientan en general E-W y presentan un fuerte echado ( $60^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ) hacia el Norte, probablemente como resultado de movimientos tectónicos posteriores (Orogenia Nevadiana ?) (Herrera op. cit.).

En el área de la mina, existen fallas post-mineral (Fallas San Francisco y El Carmen) que desplazan a los cuerpos, se presentan con un rumbo general de N-S con  $65^{\circ}$  a  $74^{\circ}$  al E. Es posible que estas estructuras hayan sido producidas durante los eventos que dieron origen a la provincia de "Sierras y Cuencas" (Basin and Range).

#### IV.- Yacimientos Minerales.

##### IV.1.- Morfología.

En el Proyecto San Francisco los cuerpos mineralizados se presentan en dos formas:

1.- "Mantos" constituidos por una red entrelazada de vetillas (stock-work) de cuarzo-turmalina en horizontes de granito gneis y de gneises, siguiendo la "tendencia" (trend) estructural de estas rocas. A la fecha se han descubierto cuatro cuerpos mineralizados de esta naturaleza, denominados San Francisco, De Enmedio, El Manto y El Polvorín (figura No. 11).

2.- Vetas que pueden ser de alto ángulo (como la explotada en la mina antigua de San Francisco) y de bajo ángulo (como las de la mina antigua La Valenzuela).

Estas estructuras también están constituidas por cuarzo-turmalina con altos valores de oro, y sus espesores van de 0.2 a 2.0 m.

De los cuerpos hasta ahora encontrados, el cuerpo San Francisco es el mejor conocido, ya que en él se han desarrollado: barrenación de percusión, barrenación de diamante, cuele de obras mineras; estudios tales como caracterización mineralógica, petrografía, análisis estructural; y un intenso programa de barrenación con circulación inversa.

#### IV.2.- Mineralogía.

La mineralogía observada por minerografía es la siguiente:

Principales de la Mena. Oro (Au), pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y goethita ( $\text{FeO(OH)}$ ) en vetas y vetillas de cuarzo-turmalina; estos dos últimos minerales en combinación con fragmentos de la roca encajonante constituyen la ganga.

Otros minerales presentes en trazas son: galena ( $\text{PbS}$ ), esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), argentita ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), calcopirita ( $\text{CuFeS}$ ), bornita ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), covelita ( $\text{CuS}$ ), petzita ( $\text{Ag}_3\text{AuTe}_3$ ), anglesita ( $\text{PbSO}_4$ ), malaquita ( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ), casiterita ( $\text{SnO}_2$ ). Ocasionalmente se observa calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y siderita ( $\text{FeCO}_3$ ) en vetillas, y dendritas de pirolusita ( $\text{MnO}_2$ ) en planos de fracturas, cerca de la superficie.

En el Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico de Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V. por medio de análisis puntuales de dispersión de energía se encontraron las siguientes especies mineralógicas en trazas: magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ilmenita ( $\text{FeTiO}_3$ ), rutilo ( $\text{TiO}_2$ ), zircón ( $\text{ZrSiO}_4$ ), monazita ( $(\text{CeLa})\text{PO}_4$  y  $(\text{Ce, La, Th})\text{PO}_4$ ) y óxidos de Cerio y Lantano  $\text{La}_2\text{O}_3$  y  $\text{Ce}_3\text{O}$ .

La mineralogía presente en la descripción de barrenos, consta esencialmente de pirita, goethita (como pseudomorfo de pirita), hematita, limonita, pirolusita y ocasionalmente se ha observado oro nativo.

La mineralización de oro se presenta principalmente en grano muy fino no observable a simple vista y de grano grueso de hasta varios milímetros de diámetro; asociado a vetas y vetillas de cuarzo-turmalina y a óxidos como goethita y limonita.

Al microscopio, el oro se observa incluido en las siguientes fases: pirita, goethita, cuarzo, galena y en ocasiones intercrecido en petzita.

1.- La goethita (Pseudomorfo según pirita) contiene aproximadamente el 60 % del oro identificado, el cual se encuentra como finas inclusiones, formando filamentos y cristales redondeados desde dos micras hasta observables a simple vista, en ocasiones en contacto con la pirita o con el cuarzo.

2.- En el cuarzo, el oro se observa en cristales redondeados con un diámetro que va desde las dos micras y en filamentos cortos desde cinco micras de espesor. En ocasiones se observó intercrecido con galena y/o petzita, se calcula que el 30 % del oro se encuentra incluido en el cuarzo.

3.- En la pirita forma finos cristales redondeados (glóbulos) con diámetro que varía de 3 a 80 micras. El 10 % del oro observado se presenta con esta característica.

La petzita determinada al microscopio mineragráfico y confirmada con microsonda electrónica, es a la fecha el único telururo identificado en una de las muestras por el Departamento de Investigaciones Geológicas de Compañía Fresnillo S.A. de C.V., sin embargo, Pérez (1988) observó varios telururos en la mineralogía del proyecto. Este mineral se encontró formando cristales muy finos desde diez micras, invariablemente intercrecido con oro o galena y contenido en cuarzo.

#### IV.3.- Estructura y Textura de la Mena.

##### a).- Estructuras.

Las estructuras en escarpela (red entrelazada de vetillas) son las que caracterizan a la mena del proyecto.

##### b).- Texturas.

Megascópicamente la única textura observable es la de relleno de cavidades.

Las texturas vistas al microscopio mineragráfico son:

- 1.- Islas y Mares, observadas en la pirita reemplazada parcialmente por goethita.
- 2.- Textura Coloforme, observada en la goethita a manera de bandas irregulares.

#### IV.4.- Zoneamiento.

No se ha identificado algún tipo de zoneamiento hipogénico de la mineralización de oro, mientras que en el ambiente supergénico por procesos químicos, el oro ha sufrido removilización sólo perceptible a nivel microscópico (por oxidación de la pirita) por lo que no se espera encontrar zonas lixiviadas ni de concentración por oxidación. Aunque por procesos mecánicos si se tienen abundantes zonas con oro de placer evidenciadas por la innumerable cantidad de obras de laboreo en los aluviones del área de estudio.

#### IV.5.- Alteraciones.

Las alteraciones observadas en el proyecto son:

- a) Silicificación en vetillas, afecta a todas las rocas metamórficas.
- b) Piritización, representada por cristales euedrales de grano fino a grueso diseminados en las rocas y ocasionalmente en vetillas.
- c) Sericitización de intensidades desde débil a moderada, producto de la alteración de feldespatos.

Estos tres tipos de alteración denominados en conjunto como alteración filica (cuarzo-pirita-sericita), se presenta íntimamente relacionada a la mineralización de oro.

- d) Cloritización, de tipo regional en las rocas metamórficas, producto de la alteración de minerales ferromagnesianos por procesos hidrotermales y/o supergénicos; se ha observado también clorita de claro origen hidrotermal en forma de vetillas.

e) Epidotización, en menor escala ocurre en forma de hilillos y reemplaza feldespatos; se ha observado que afecta principalmente al gneis anfibolítico y en algunos casos al resto de las rocas del proyecto.

f) Las alteraciones supergénicas más comunes son la oxidación (derivada de la pirita) y la sericitización y caolinización de feldespatos.

#### IV.6.- Clasificación de los Yacimientos.

Según Changkuon (1990), las vetillas mineralizadas de cuarzo-turmalina fueron producidas en dos eventos, por dos fluidos hidrotermales diferentes de posible origen meteórico con fuerte interacción agua-roca. El primer fluido tuvo una temperatura de 250° a 360° C. El segundo tuvo una temperatura más baja, de 200° a 250° C. Ambos fluidos presentan la misma salinidad que varía entre 4 y 10 % equivalente en peso de NaCl; por los anteriores datos y por las características de las rocas encajonantes se sitúa a los depósitos del proyecto San Francisco entre los modelos de tipo mesotermal e hipotermal.

Silberman et. al.(1987) clasifica al depósito de oro de San Francisco como del tipo "Controlado Estructuralmente", cuya principal característica es la asociación espacial de la mineralización de oro a estructuras de bajo ángulo.

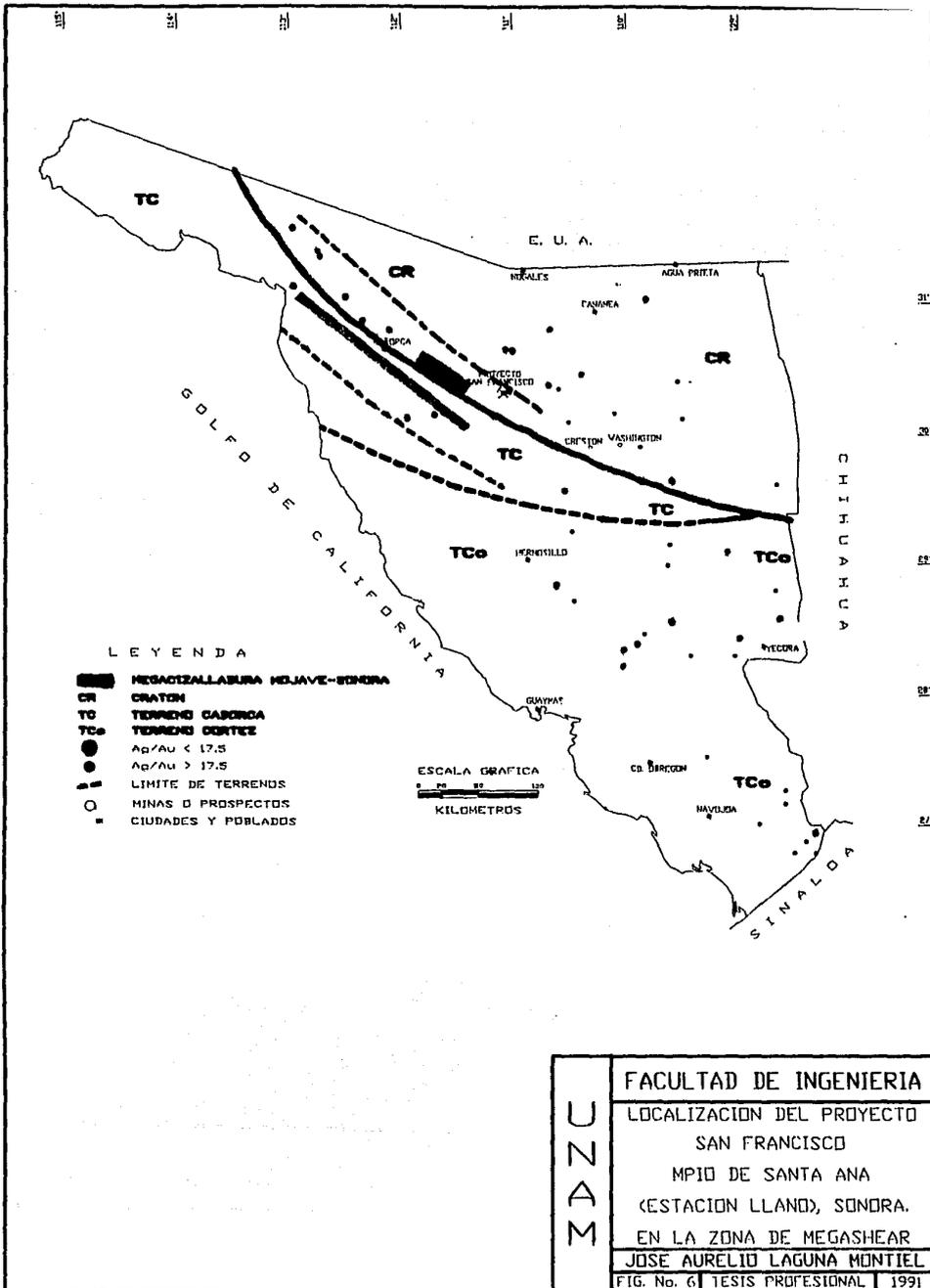
Pérez (1989), basado en Silberman (op. cit.), considera a San Francisco como un depósito relacionado con "corredores deformados" a escala regional de tipo "zona de cizalla" (shear zone) (Fig. No 4).

El suscrito se inclina por que los depósitos del proyecto San Francisco sean de origen hidrotermal, del tipo mesotermal, ya que a diferencia de los yacimientos epitermales, no presentan zeolitas, caolinita y adularia. Aunque la presencia de turmalina indica una tendencia hacia los de alta temperatura, es sabido que los depósitos mesotermales pueden tener características comunes a los yacimientos hidrotermales de alta y baja temperatura.

En cuanto a la ubicación del proyecto con respecto a la "Megacizalladura" (Megashear) Mojave-Sonora (Figura No. 6), esta estructura de carácter regional puede tener una estrecha relación con la preparación mecánica de la roca huésped de la mineralización en el proyecto.

#### IV.7.- Edad de los Yacimientos.

La edad precisa de los depósitos se desconoce, pero por las relaciones de campo se infiere que es post-metamorfismo y previa a las estructuras de la provincia de "Sierras y Cuencas" (Basin and Range) y a los diques diorítico-andesíticos, por lo tanto, se sitúa en el periodo Cretácico.



## **IV.8.- Descripción de los Diferentes Cuerpos del Proyecto San Francisco**

### **IV.8.1.- Cuerpo San Francisco.**

#### **Rocas Encajonantes.**

La roca que aloja al cuerpo San Francisco es un horizonte de granito-gneis de 4 a 50 m de espesor, de color blanco con esporádicos tintes verdes y manchas amarillo-rojizas; con textura predominantemente granoblástica; además, presenta bandeamiento gneísico y en algunas localidades se observa con texturas graníticas. Se encuentra encajonado por paragneises y gneis-esquisto de cuarzo-clorita-sericita al alto y gneis-esquisto de biotita-clorita y gneises anfibolíticos al bajo.

#### **Morfología del Cuerpo.**

El cuerpo San Francisco presenta una morfología burdamente tabular (Figura No.8) a manera de un "manto" constituido por un horizonte de granito-gneis contenedor de una red entrelazada de vetillas (stock-work) de cuarzo-turmalina, el cual alcanza a aflorar parcialmente (tajo El Salvador). Tiene un rumbo general de N60°W con inclinaciones entre los 18° y 35° al NE con espesores que varían de 4 a 32 m; longitudinalmente se tienen conocidos alrededor de 600 m de los cuales 200 m están comprobados por obras mineras desarrolladas en 1987-1988, y el resto se conoce por barrenación de circulación inversa.

Además, como parte integral de este cuerpo se tienen **vetas**, las cuales pueden ser de los siguientes dos tipos:

a).- De alto ángulo, como la veta San Francisco, explotada en la mina antigua de San Francisco, que en su primer nivel se observa constituida de cuarzo-turmalina y que en algunos tramos presenta diseminaciones de galena y malaquita. Esta estructura tiene un rumbo general de N65°W con echados que varían de 70° a 80° al NE desde la superficie hasta la elevación 695 m.s.n.m., en los niveles inferiores cambia el echado a 60° y 85° al SW. Su espesor va desde 0.1 hasta 1.8 m; se observa intrusionada por un dique andesítico con alteración propilitica.

Esta veta es una estructura formal conocida por aproximadamente 150 m desde el tiro principal hasta el tiro inclinado San Francisco, evidenciada por los pilares y rebajes antiguos.

El muestreo a partir del tiro principal hacia el SE en una longitud de 18 m en el primer nivel indicó, para un ancho promedio de 0.25 m, una ley de 6.8 g de Au/ton.

Operaciones mineras antiguas reportan leyes de 15 g de Au/ton a 60 m de profundidad (Giles, datos no pub., 1986, en Silberman, 1988).

b).- De bajo ángulo, en los rebajes de la mina antigua La Valenzuela se observan por lo menos dos vetas con orientación variable entre  $S80^{\circ}W/8^{\circ}NW$  y  $N77^{\circ}W/22^{\circ}NE$ , cuyo espesor oscila entre 0.2 m y 1.0 m aproximadamente. Están constituidas por fragmentos de vetillas de cuarzo-turmalina, cementados por cuarzo-turmalina, algunas veces incluyen fragmentos de la roca encajonante (Trigos, 1988). Las leyes de estas estructuras son de alrededor de 5 g de Au/ton.

### **Estructura y Textura de la Mena.**

#### **Estructura:**

La disposición de las vetillas de cuarzo-turmalina contenedoras de la mineralización de oro en estructuras en escarpela es la más típica presentación de la mena del cuerpo San Francisco. En el área de la mina ocasionalmente se observan zonas de aspecto brechoide constituidas por fragmentos de granito-gneis (fuertemente sericitizados) cementados por cuarzo-turmalina.

#### **Texturas:**

Megascópicamente sólo se ha observado la textura de relleno de cavidades.

Al microscopio mineragráfico se ha visto que la pirita presenta texturas en islas y mares al ser reemplazada parcialmente por goethita.

La goethita presenta textura coloforme en bandas irregulares.

### **Alteraciones:**

Las principales alteraciones presentes en el cuerpo San Francisco son: silicificación, piritización, sericitización, cloritización, oxidación y caolinización; de la manera descrita anteriormente.

El cuerpo San Francisco es el más importante en cuanto a tonelaje se refiere, ya que los demás cuerpos son más pequeños, posicionados sub-paralelamente y situados en diferentes niveles por encima de éste. Se desconoce la relación existente entre ellos, pudiendo ser desprendimientos al alto y en realidad constituir el reflejo de un solo sistema hidrotermal.

Las características mineralógicas, de alteración, de estructura y textura de la mena del cuerpo San Francisco, se han extrapolado para los demás cuerpos, suponiendo que son similares por lo que sólo se harán las descripciones de las rocas encajonantes y de la morfología para los cuerpos "El Manto", "De Enmedio" y "El Polvorín".

#### **IV.8.2.- Cuerpo El Manto.**

##### **Rocas encajonantes.**

Las rocas encajonantes del cuerpo "El Manto" son paragneises de color blanco con bandas verdes, de composición predominantemente cuarzo-feldespática, con cantidades variables de clorita, de textura granoblástica a bandeada, con ocasional textura augen. Se encuentran contenidas en rocas del conjunto denominado como gneis-esquistos.

### **Morfología:**

La morfología de este cuerpo es burdamente tabular a manera de un "manto" (Figura No. 8) constituido por un horizonte de paragneises contenedor de una red entrelazada de vetillas (stock-work) de cuarzo y cuarzo-turmalina.

El rumbo general del cuerpo es de  $N65^{\circ}W$  con echados que varían de  $32^{\circ}$  a  $50^{\circ}$  al NE; se tiene explorado con barrenación de circulación inversa y zanjas (hechas con tractor de banda D-7) en una longitud de 350 m, su espesor va desde los 4 a los 22 m, en elevaciones entre los 714 y los 631 m.s.n.m.

En esta área se observan una serie de obras mineras antiguas burdamente alineadas en un rumbo similar al de ahora conocido cuerpo "El Manto", desarrolladas sobre vetillas de rumbo  $N80^{\circ}W$  con echados entre  $38^{\circ}$  a  $60^{\circ}$  al SW (son de echado perpendicular al de las rocas metamórficas), con espesores que varían entre 0.05 a 0.10 m y leyes de 1 a 89 g de Au/ton.

Así también están presentes fallas de rumbo  $N80^{\circ}W$  con echados de  $70^{\circ}$  a  $85^{\circ}$  al NE en donde los valores de Au van de 0.2 a 1.45 g de Au/ton.

#### IV.8.3.- Cuerpo De Enmedio.

##### Rocas encajonantes.

Las rocas contenedoras del cuerpo "De Enmedio" son paragneises de color blanco con finas bandas verdes, de textura granoblástica a bandeada, que ocasionalmente presentan textura augen. Se encuentran como intercalaciones dentro del conjunto denominado gneis-esquisto.

##### Morfología.

El cuerpo "De Enmedio" es en realidad una zona contenedora de pequeños cuerpos mineralizados similares a los ya descritos (Figura No. 9) , que ocurren donde la roca huésped es de composición predominantemente cuarzo-feldespática; tienen un rumbo general de N60°W con echados que varían entre los 19° y los 45° al NE y espesores entre los 4 y 22 m.

Son conocidos únicamente con barrenación de diamante y de circulación inversa en una longitud de 130 m, en elevaciones comprendidas entre los 714 y los 617 m.s.n.m.

#### IV.8.4.- Cuerpo El Polvorín.

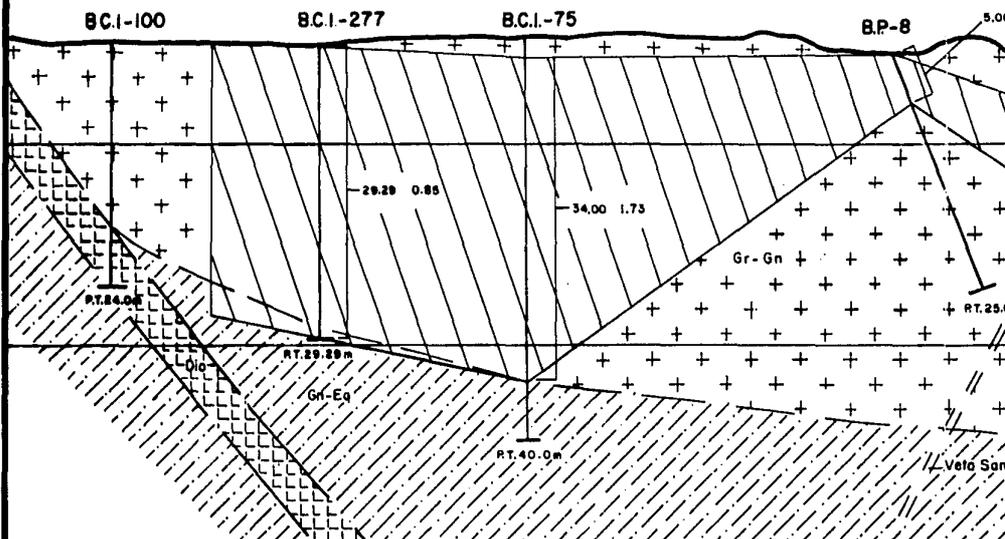
##### Rocas Encajonantes.

Las rocas encajonantes del cuerpo "El polvorín" pertenecen a la unidad denominada gneis-esquisto; constan esencialmente de gneises de cuarzo-clorita-feldespato de textura predominantemente bandeada, con intercalaciones de micaesquisto de textura lepidoblástica.

## Morfología.

El cuerpo "El polvorín" al igual que el Cuerpo De Enmedio, es una zona contenedora de pequeños cuerpos mineralizados, de forma burdamente tabular a manera de "mantos" (Figura No. 10), constituidos por horizontes de las rocas arriba descritas, contenedoras de una red entrelazada de vetillas (stock-work) de cuarzo y cuarzo-turmalina; presentan un rumbo general de  $N65^{\circ}W$  con echados que varían entre los  $42^{\circ}$  y los  $49^{\circ}$  al NE y cuyos espesores oscilan entre 4 y 20 m. Son conocidos únicamente con barrenación de circulación inversa en una longitud de aproximadamente 226 m, en elevaciones comprendidas entre los 731 y los 622 m.s.n.m.

A

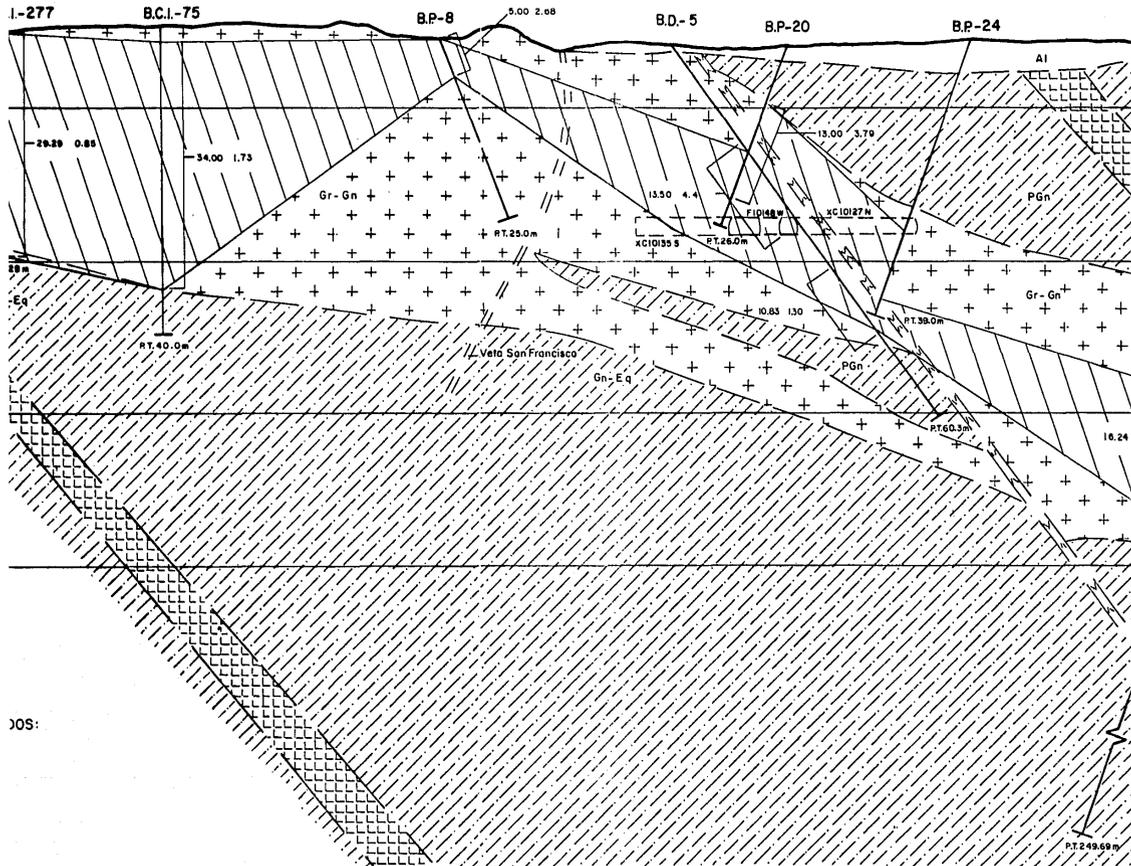


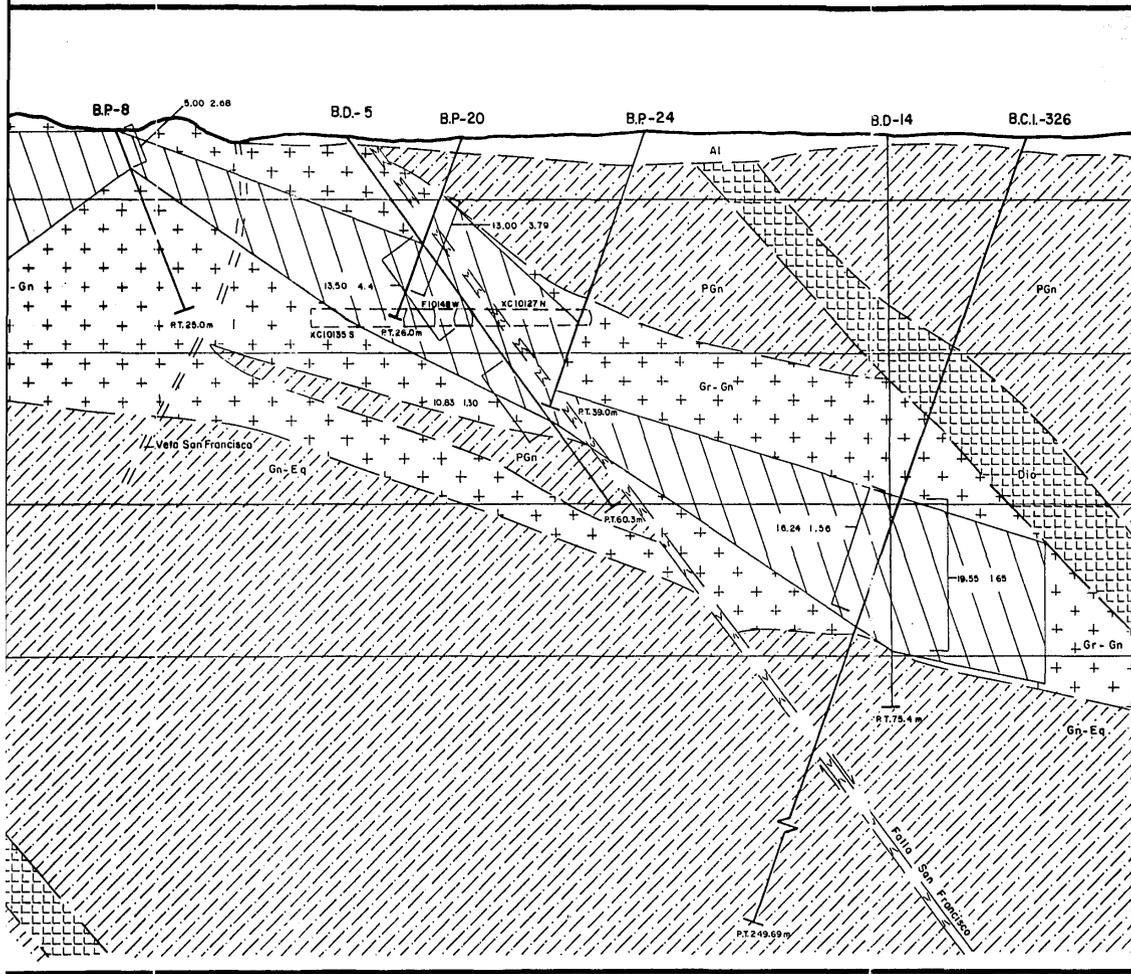
**EXPLICACION**

-  **Al** ALUVION
-  **Dio** DIORITA
-  **Pgn** PARAGNEIS
-  **Gn-Eq** GNEIS - ESQUISTO
-  **Gr-Gn** GRANITO - GNEIS
-  **Min** MINERAL

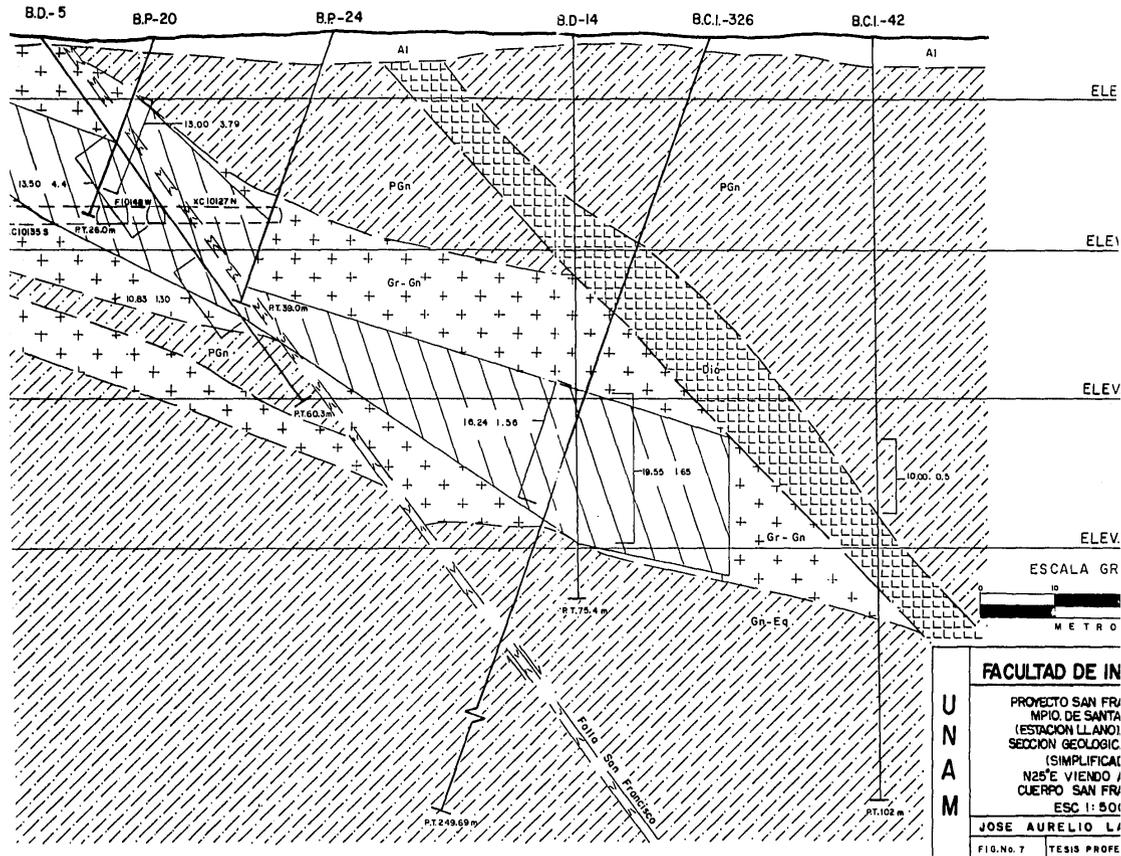
**INTERVALOS MINERALIZADOS:**

Ancho (m)	Ley de Au (g/ton)
13.5	4.4





A'



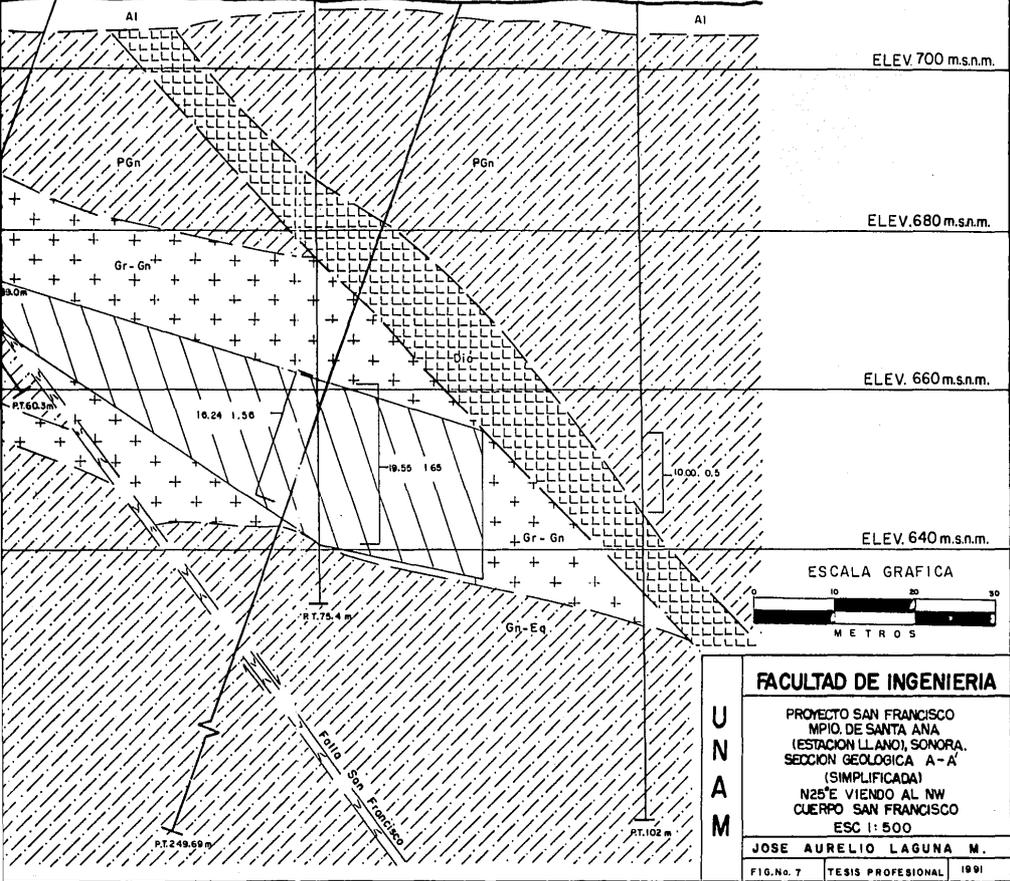
A'

B.P.-24

B.D.-14

B.C.I.-326

B.C.I.-42



ELEV 700 m.s.n.m.

ELEV 680 m.s.n.m.

ELEV 660 m.s.n.m.

ELEV 640 m.s.n.m.

ESCALA GRAFICA



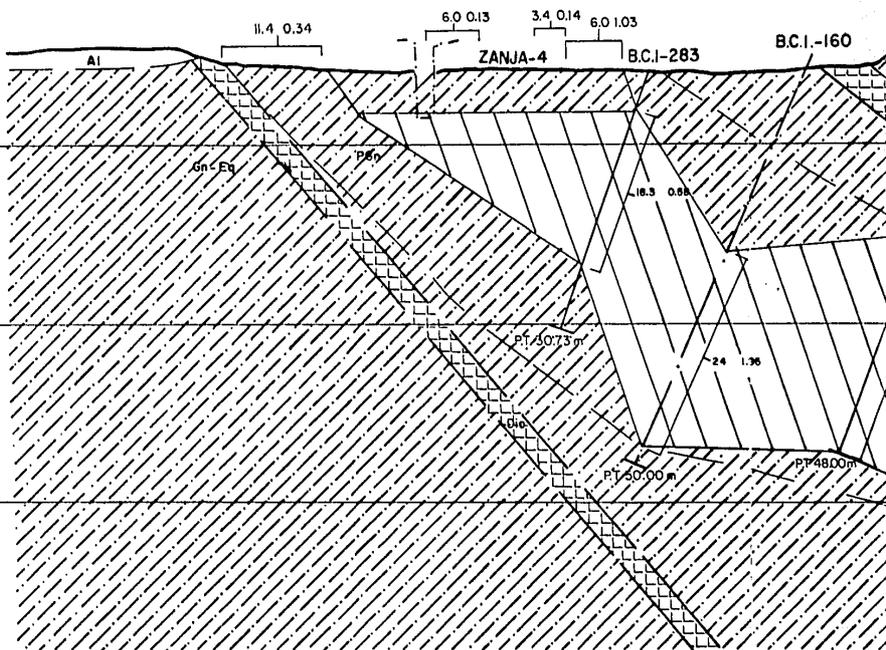
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO SAN FRANCISCO  
MPIO. DE SANTA ANA  
(ESTACION LLANO), SONORA.  
SECCION GEOLOGICA A-A'  
(SIMPLIFICADA)  
N25°E VIENDO AL NW  
CUERPO SAN FRANCISCO  
ESC 1: 500

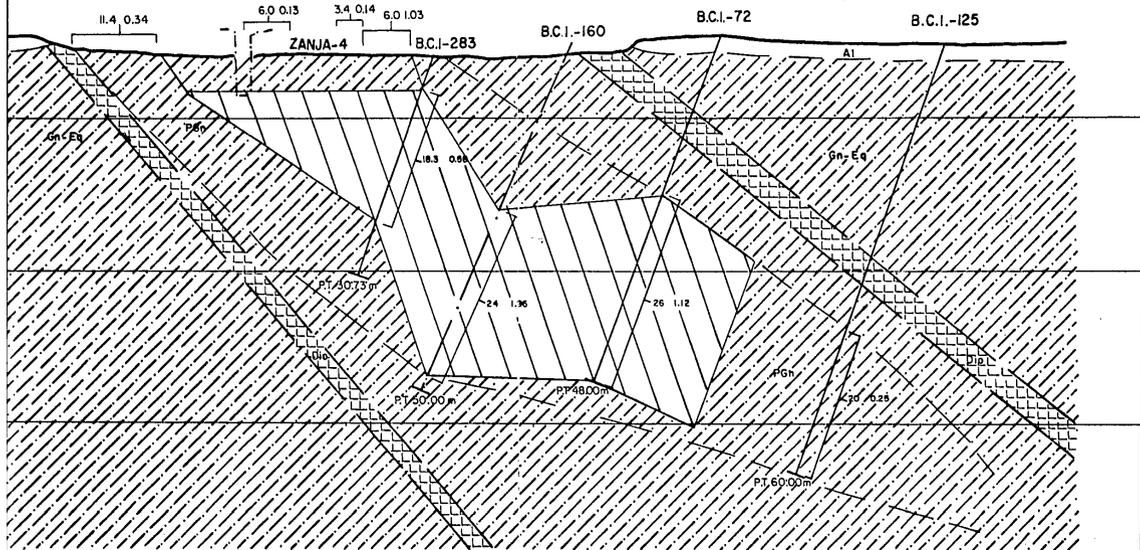
JOSE AURELIO LAGUNA M.

FIG.No. 7 TESIS PROFESIONAL 1991

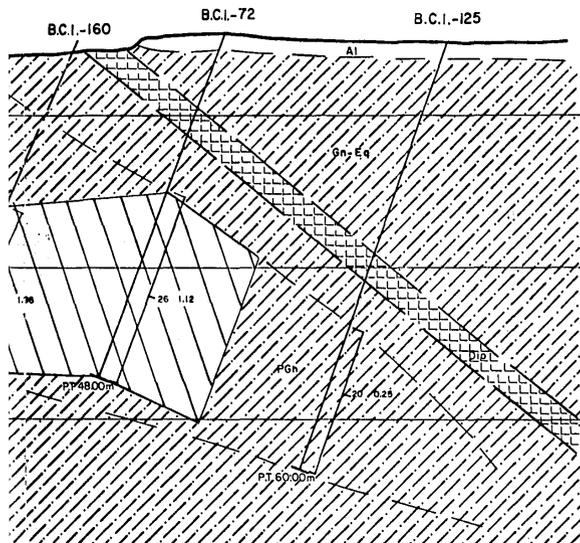
B



B'



B'



**EXPLICACION**

-  **Al** ALUVION
-  **Dior** DIORITA
-  **Pgn** PARAGNEIS
-  **Gn, Es** GNEIS-ESQUISTO
-  **Min** MINERAL
-  **H.R.F.** HORIZONTE DE ROCA FAVORABLE

**INTERVALOS MINERALIZADOS:**

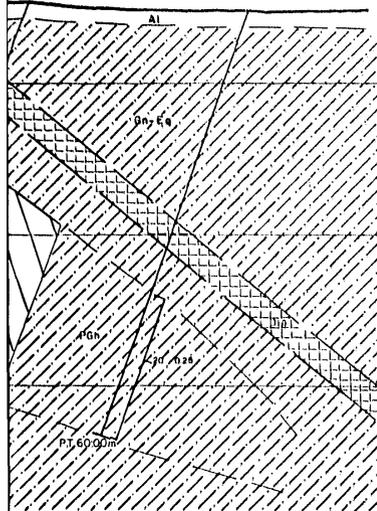
Ancho (m)	Ley de Au (g/ton)
13.5	4.4

L  
D  
A  
N

B.C.I.-72

B.C.I.-125

B'



ELEV. 700

ELEV. 680

ELEV. 660

EXPLICACION



ALUVION



DIORITA



PARAGNEIS



GNEIS - ESQUISTO



MINERAL

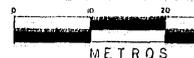


HORIZONTE DE ROCA FAVORABLE

INTERVALOS MINERALIZADOS:

Ancho (m)	Ley de Au (g/ton)
135	4.4

ESCALA GRAFICA



FACULTAD DE INGE

PROYECTO SAN FRANCISCO

MPIO. DE SANTA ANA, S.M.

SECCION GEOLOGICA B

(SIMPLIFICADA)

NOMBRE VIENDO AL N

CUERPO EL MANTI

ESC. 1: 500

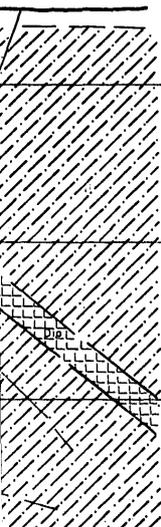
U  
N  
A  
M

JOSE AURELIO LAGU

FIG. No. 8 TESIS PROFESION

B'

C.I.-125



ELEV. 700 m.s.n.m.

ELEV. 680 m.s.n.m.

ELEV. 660 m.s.n.m.

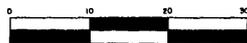
### EXPLICACION

-  ALUVION
-  DIORITA
-  PARAGNEIS
-  GNEIS - ESQUISTO
-  MINERAL
-  HORIZONTE DE ROCA FAVORABLE

### INTERVALOS MINERALIZADOS:

Ancho (m)	Ley de Au (g/ ton)
13.5	4.4

ESCALA GRAFICA



METROS

### FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO SAN FRANCISCO  
MPIO. DE SANTA ANA, SONORA.  
SECCION GEOLOGICA B - B'  
(SIMPLIFICADA)

N29°PE VIENDO AL NW  
CUERPO EL MANTO

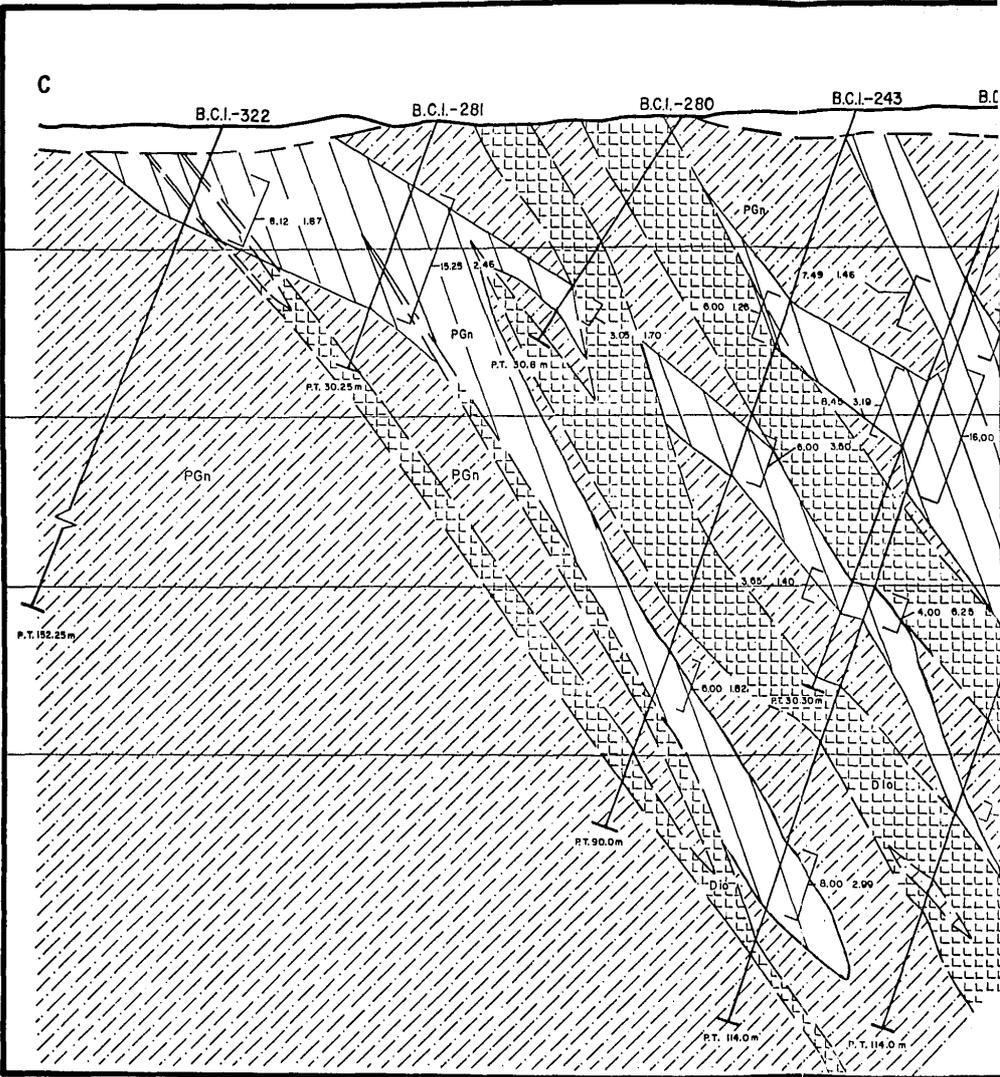
ESC. 1:500

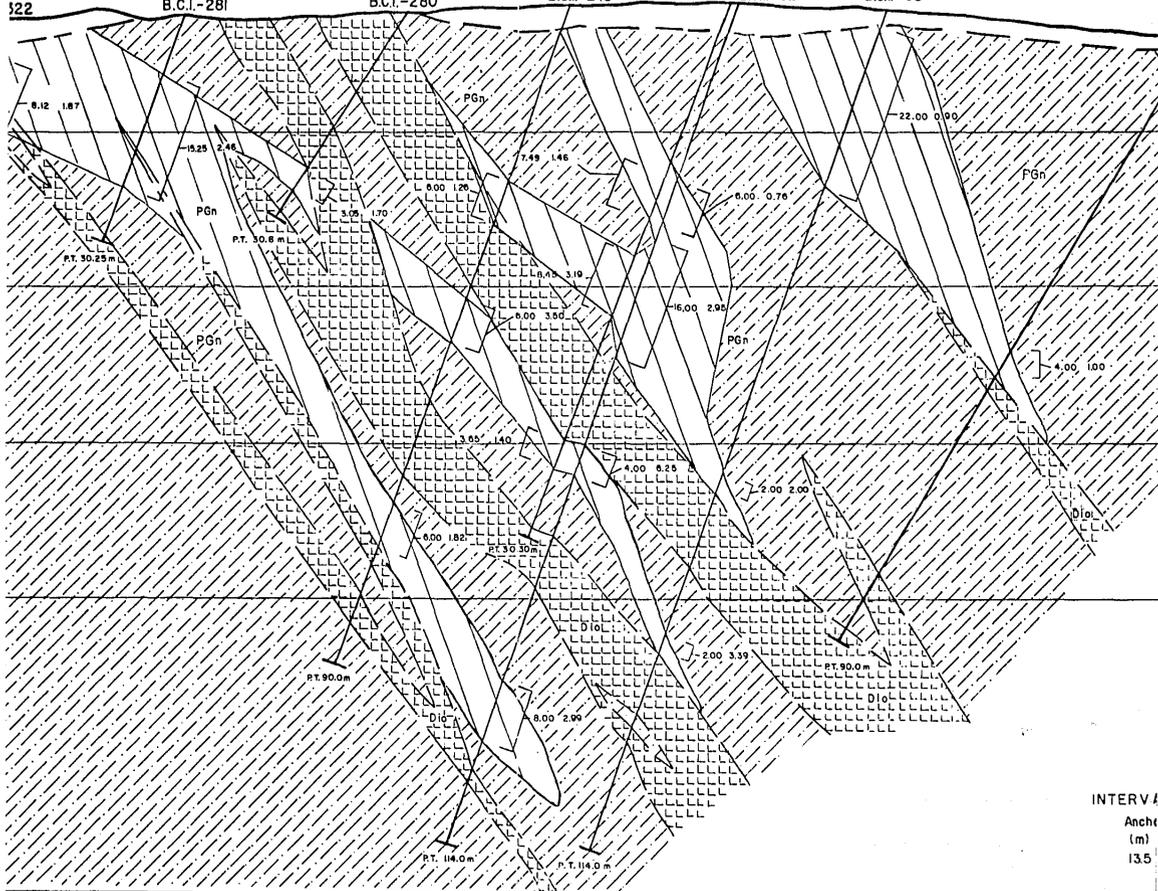
U  
N  
A  
M

JOSE AURELIO LAGUNA M.

FIG. No. 8 TESIS PROFESIONAL 1991

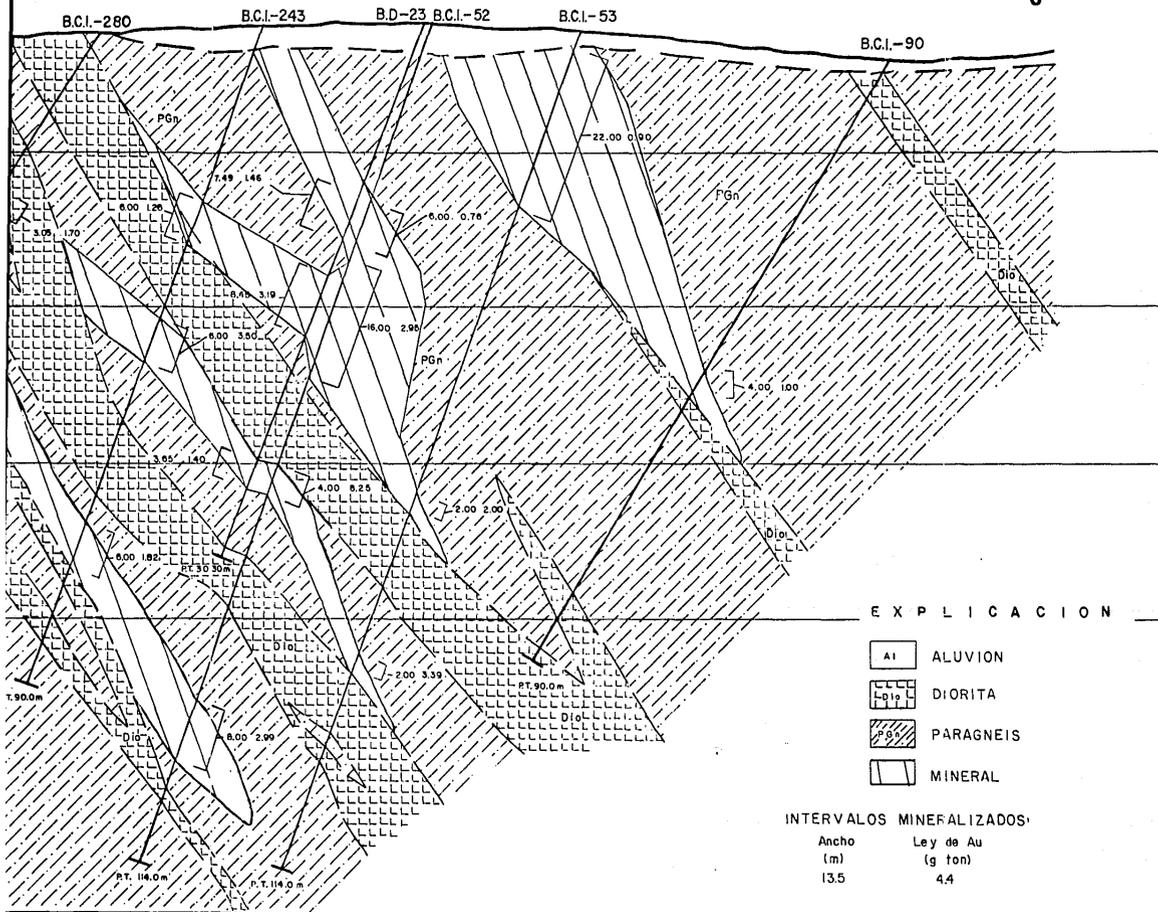
C





INTERV /  
 Anch  
 (m)  
 135

C'

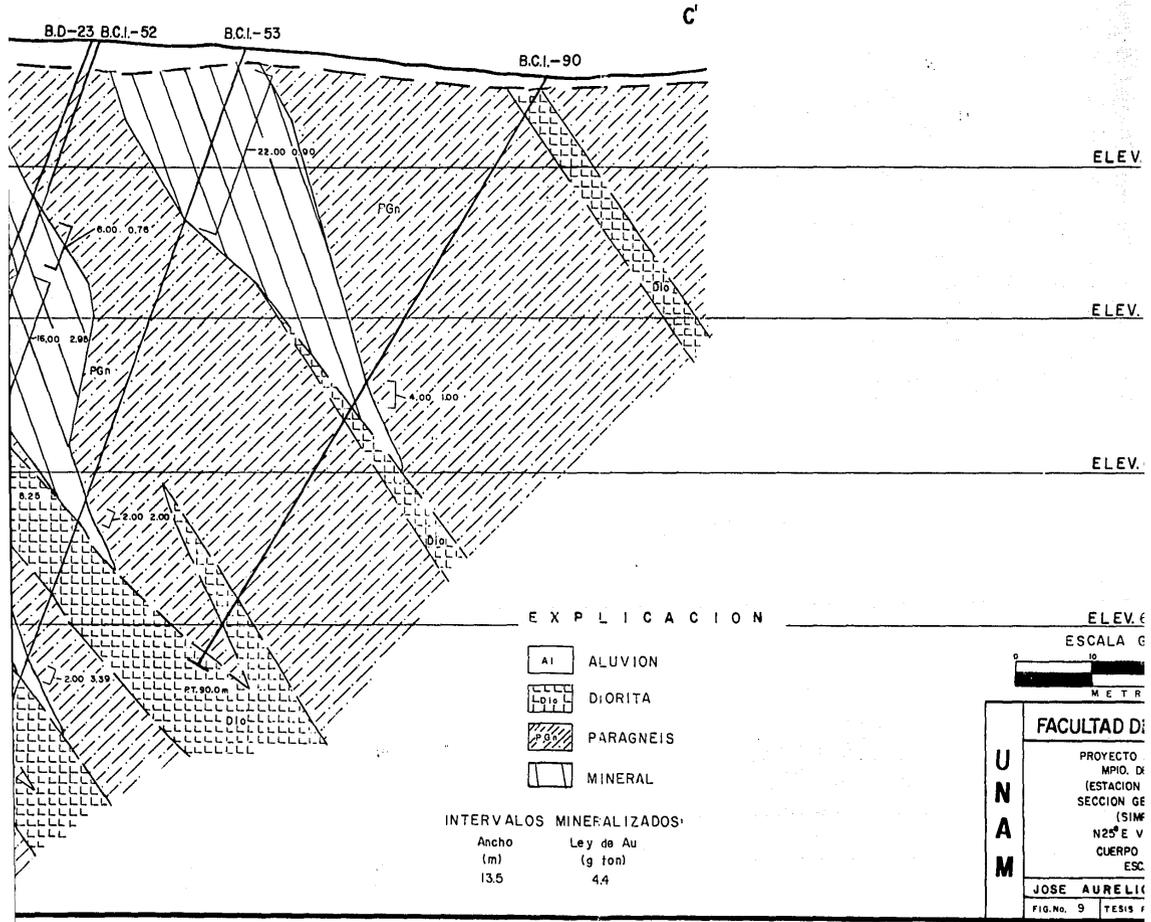


EXPLICACION

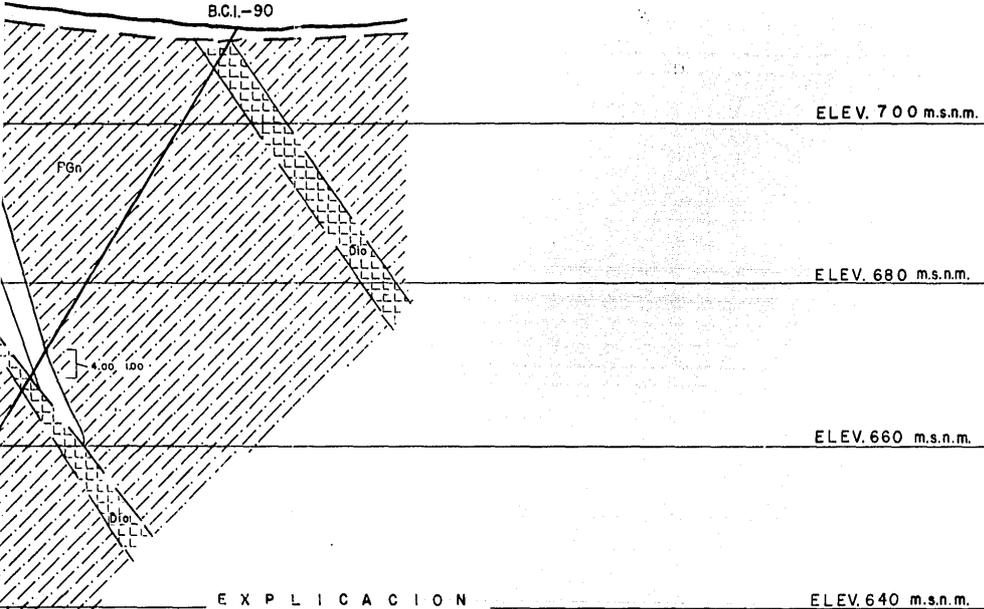
-  ALUVION
-  DIORITA
-  PARAGNEIS
-  MINERAL

INTERVALOS MINERALIZADOS:

Ancho (m)	Ley de Au (g ton)
13.5	4.4



C'



EXPLICACION

- AI ALUVION
- Dio. DIORITA
- PGn PARAGNEIS
- MINERAL

INTERVALOS MINEFALIZADOS

Ancho (m)	Ley de Au (g ton)
135	4.4

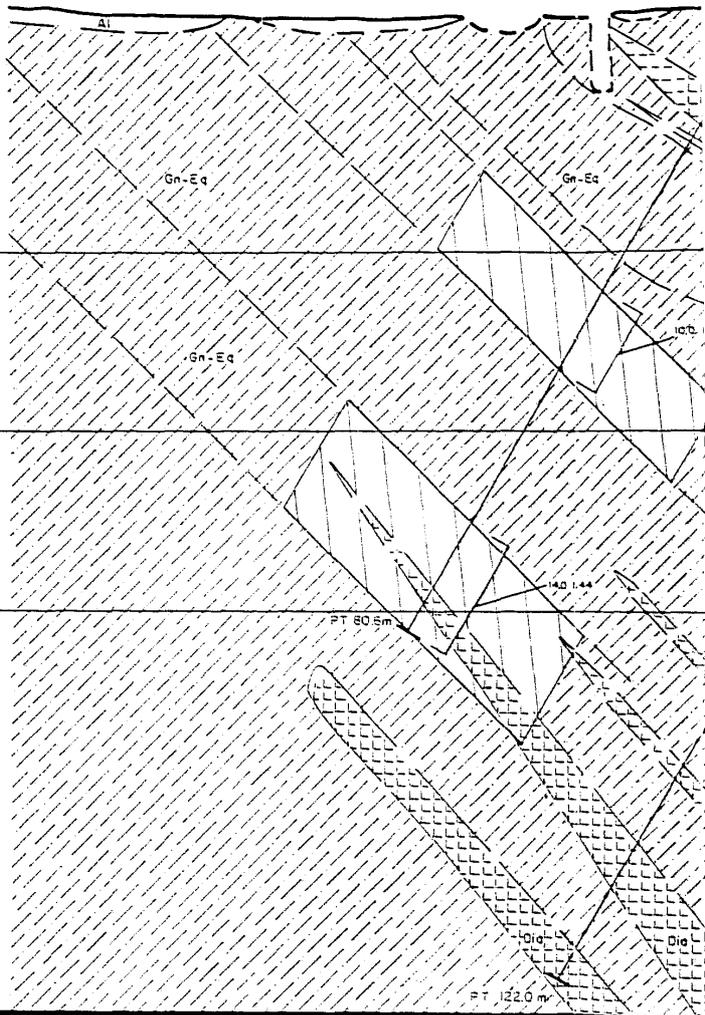
ELEV. 640 m.s.n.m.

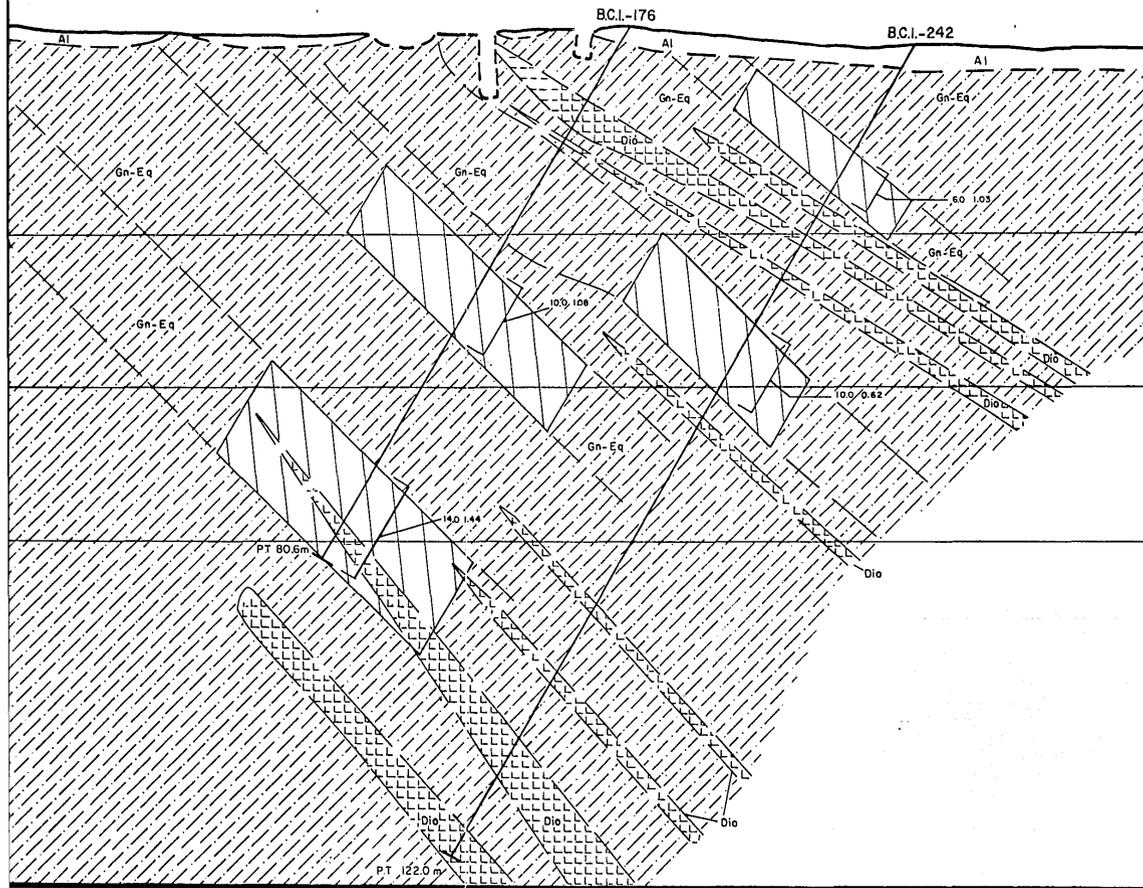
ESCALA GRAFICA



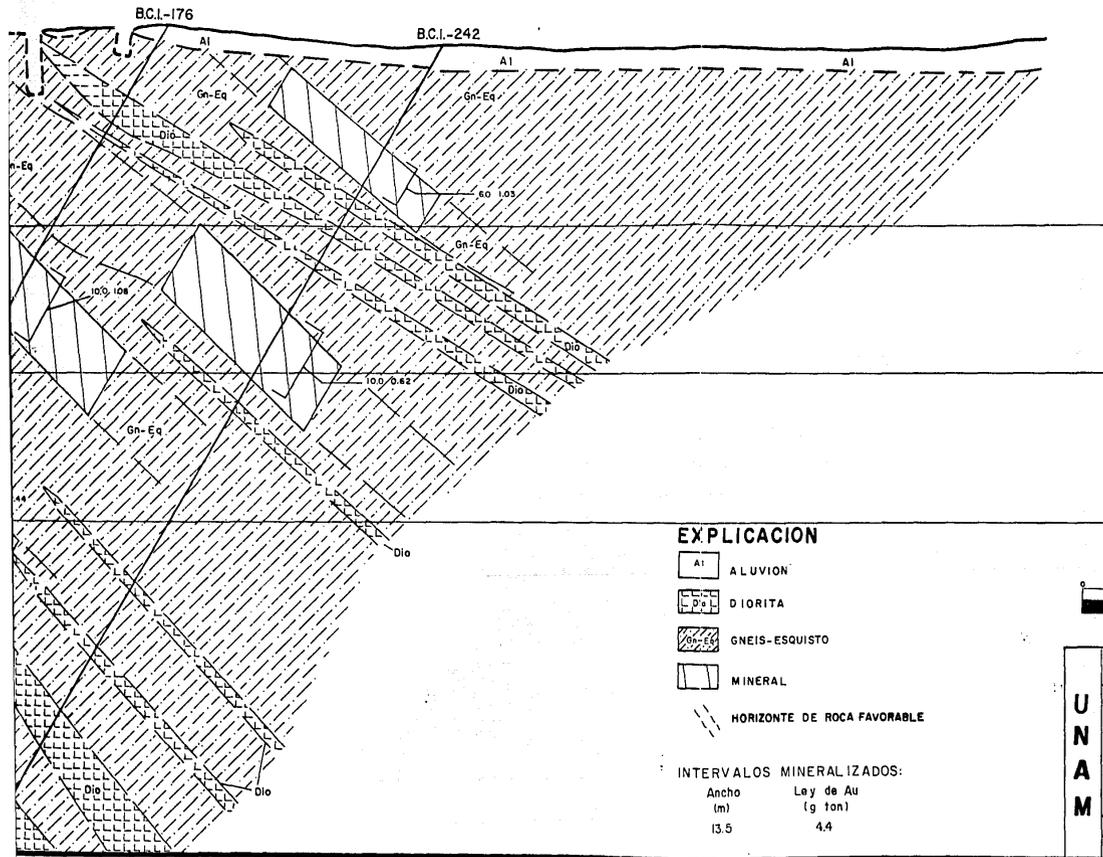
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	PROYECTO SAN FRANCISCO MPIO. DE SANTA ANA ESTACION LLANO, SONORA SECCION GEOLOGICA C - C' (SIMPLIFICADA) N25° E VIENDO AL NW CUERPO DE ENMEDIO ESC. 1 : 500	
	JOSE AURELIO LAGUNA M.	
	FIG.No. 9	TESIS PROFESIONAL

D





D'



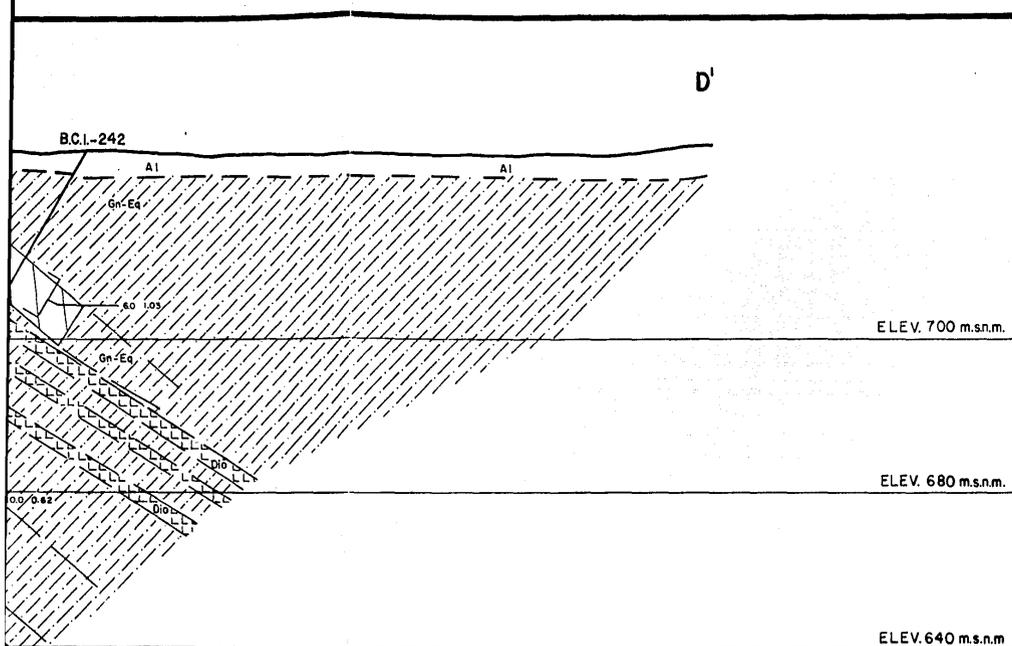
**EXPLICACION**

-  ALUVION
-  DIORITA
-  GNEIS-ESQUISTO
-  MINERAL
-  HORIZONTE DE ROCA FAVORABLE

**INTERVALOS MINERALIZADOS:**

Ancho (m)	Ley de Au (g ton)
13.5	4.4

U  
N  
A  
M



### EXPLICACION

-  ALUVION
-  DIORITA
-  GNEIS-ESQUISTO
-  MINERAL
-  HORIZONTE DE ROCA FAVORABLE

### INTERVALOS MINERALIZADOS:

Ancho (m)	Ley de Au (g ton)
13.5	4.4

ESCALA GRAFICA



### FACULTAD DE INGENIERIA

UNAM

PROYECTO SAN FRANCISCO  
MPIO. DE SANTA ANA  
(ESTACION LLANO, SONORA,  
SECCION GEOLOGICA D-D'  
(SIMPLIFICADA)  
N25°E VIENDO AL NW  
CUERPO EL POLVORIN  
ESC. 1: 500

JOSE AURELIO LAGUNA M.

FIG. No. 10 TESIS PROFESIONAL 1991

#### IV.9.- Modelo Geológico de los Depósitos.

Actualmente se tiene contemplado el siguiente modelo geológico para los depósitos (modificado de Querol, 1989).

1.- Etapa de tectónica compresional (Orogenia Nevadiana ? del Jurásico Tardío) que produce fuertes cabalgaduras a través de contactos litológicos; cizallamiento en los planos de foliación y apertura de fracturas en la roca.

2.- Etapa de mineralización (posiblemente durante el Cretácico) que se produce por una removilización de soluciones hidrotermales de posible origen meteórico (por una fuente de calor, posiblemente un intrusivo) que viajaron por estructuras de bajo ángulo y por planos de foliación de las rocas metamórficas, las cuales al llegar a un nivel de fracturamiento abierto y por efecto de descompensación de presión y temperatura depositan carga mineralógica en los planos de foliación rellenando de igual forma las fallas y/o las fracturas de grandes dimensiones (vetas San Francisco y La Valenzuela) (figura No. 11).

3.- Evento ígneo que provoca la intrusión de diques andesítico-dioríticos (del Terciario) que cortan, y en ocasiones desplazan, a la secuencia metamórfica y a las vetillas mineralizadas.

4.- Por último, tiene lugar una etapa de fracturamiento extensivo que produce fallas normales de fuerte ángulo (Fallas San Francisco y El Carmen), atribuibles a los eventos que originaron la provincia fisiográfica de "Sierras y Cuencas" (Basin and Range) (del Terciario).

AREA SAN FRANCISCO

AREA CUERPO DE

MINA ANTIGUA  
SAN FRANCISCO

V. VALENZUELA

POSIBLES  
CAMBIOS  
DE ECHADO

Gr-Gn

ELEV. 640 m

V. SAN FCO

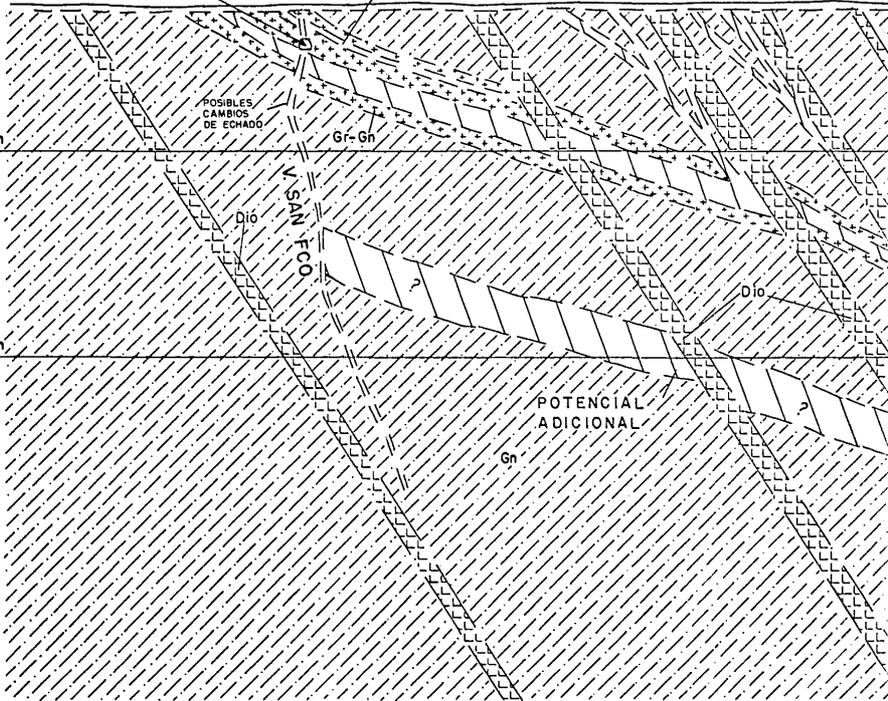
Dio

Dio

ELEV. 540 m

POTENCIAL  
ADICIONAL

Gn

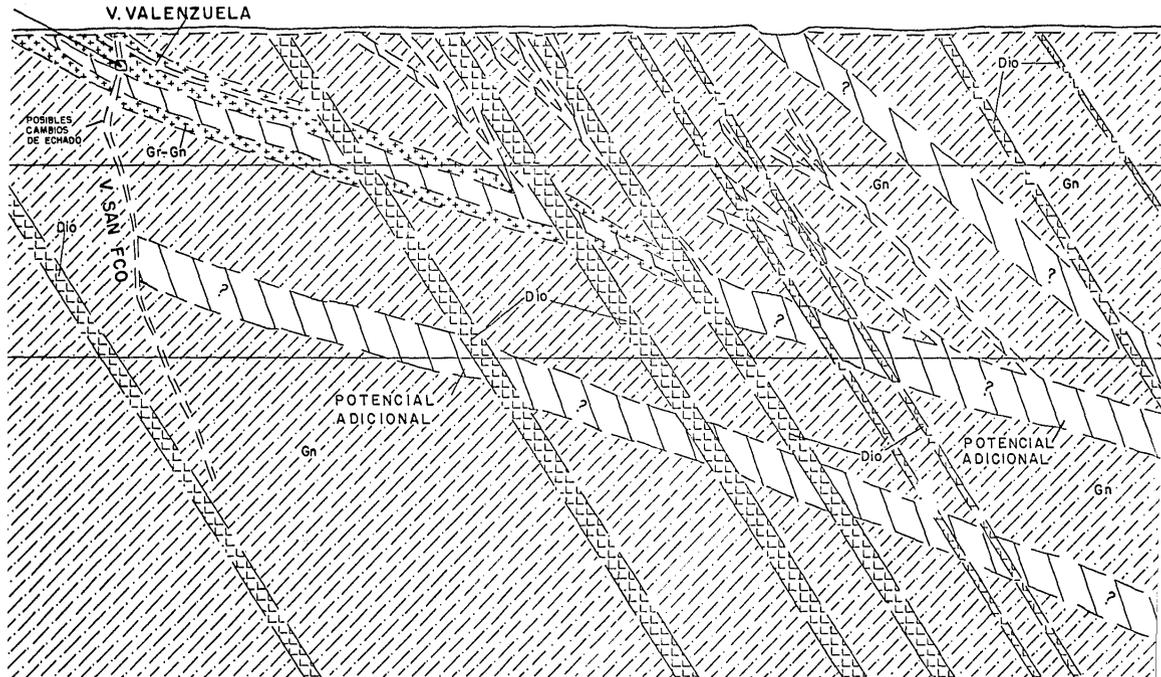


AREA SAN FRANCISCO

AREA CUERPO DE ENMEDIO

AREA EL MANTO

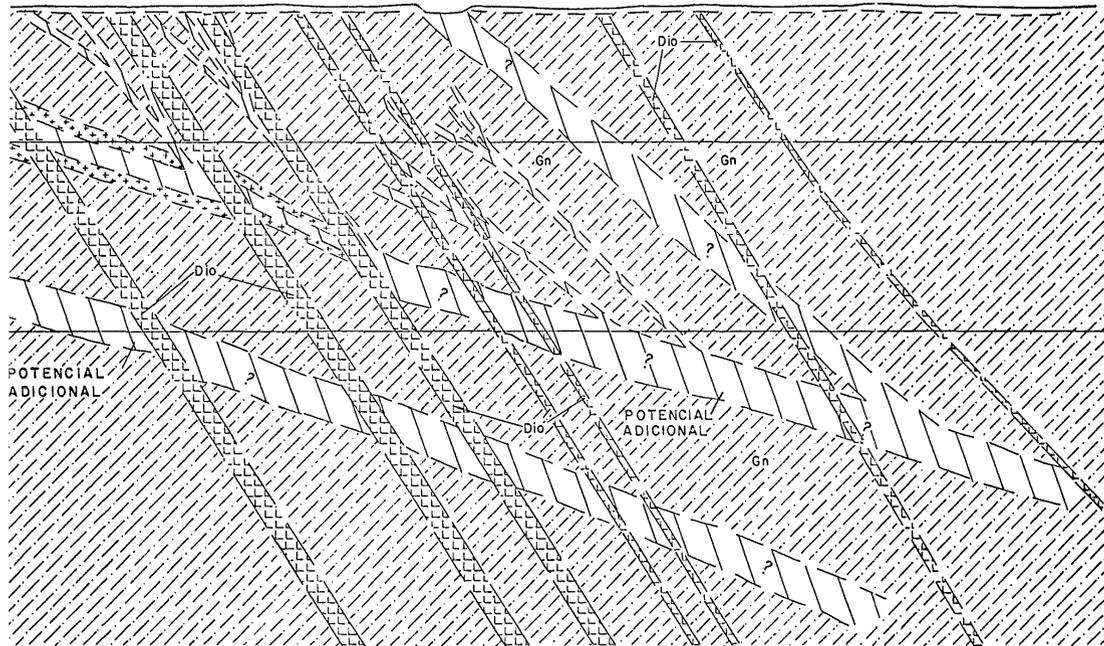
V. VALENZUELA



3

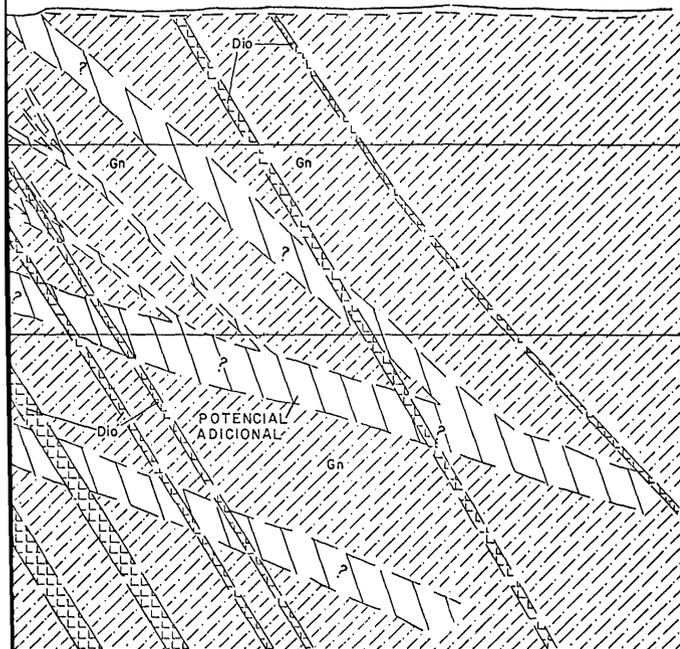
AREA CUERPO DE ENMEDIO

AREA EL MANTO



0

AREA EL MANTO



EXPLICACION

ELEV. 640 m

-  ALUVION
-  DIORITA
-  GNEIS-ESQUISTO
-  GRANITO-GNEIS
-  CUERPO MINERALIZADO
-  VETA
-  ZANJA

ESCALA GRAFICA



M E T R O S

FACULTAD DE INGENIERIA

U  
N  
A  
M

SECCION GEOLOGICA TRANSVERSAL  
IDEALIZADA  
N25°E VIENDO AL NW  
DEL PROYECTO SAN FRANCISCO  
MPIO. DE SANTA ANA  
(ESTACION LLANO), SONORA  
ESC. 1:2000

JOSE AURELIO LAGUNA M.

FIG. Nº 11 TESIS PROFESIONAL 1991

## **V.- Métodos de Exploración.**

### **V.1.- Geología de superficie y del interior de minas antiguas.**

Las actividades de exploración en el proyecto San Francisco se iniciaron en Mayo de 1984; consistieron de levantamientos geológicos Esc. 1:500 y mapeo regional Esc. 1:10000; muestreo de obras antiguas, de suelo en pozos y de afloramientos, en este mismo año se realizaron zanjas con retroexcavadora y su correspondiente muestreo.

La realización de levantamientos geológicos ha continuado hasta la fecha. Y se han venido haciendo con base en los requerimientos de las áreas a barrenar. Las principales escalas para éstos han sido 1:10,000, 1:2,000, 1:1000 y 1:500.

### **V.2.- Exploración Geoquímica.**

1.- Se han realizado estudios geoquímicos, de los cuales algunos se llevaron a cabo en las cercanías del proyecto (incluyendo áreas cercanas a las obras mineras). Los resultados obtenidos de estos estudios de detalle en particular se consideran como no representativos, ya que por la existencia de abundantes trabajos mineros y sus correspondientes terreros y los jales de San Francisco es factible un alto grado de contaminación.

2.- Sin embargo, de Mayo a Agosto de 1989 se llevó a cabo un estudio geoquímico de sedimentos y rodados de arroyo en la región del proyecto San Francisco, cuyo objetivo fue definir el comportamiento geoquímico regional del oro en muestras de sedimentos y rodados de arroyo; y delimitar las áreas de interés.

Este estudio se realizó con fotografías aéreas Esc. 1:50,000 y 1:10,000, para cubrir un área de 260 Km<sup>2</sup>.

En las mismas fotografías se marcaron cada una de las muestras a recolectar en campo.

La toma de muestras se hizo de acuerdo a una forma utilizada por AMAX en los E.U.A., la cual consiste en recolectar aproximadamente de 3 a 4 kg de muestras de sedimentos, distribuidos a lo largo de 250 m, es decir que cada 13 pasos dobles conforman una porción, hasta tomar 13 porciones. Al mismo tiempo se tomaron muestras con evidencias de mineralización independientemente de su composición.

Se tomaron muestras sólo de los principales arroyos procurando cubrir todas y cada una de las sierras y lomeríos de la región en sus diferentes flancos. De esta manera se tiene el mejor control de la posible localización del origen de la mineralización cuando esta existe.

Se obtuvieron algunas zonas anómalas de las cuales, la más importante es la denominada "Anomalía Geoquímica 1B" ubicada al norte del cerro Gauna. Esta área tiene un potencial aproximado de 1.7 millones de ton con 1.5 gm de Au/ton.

### **V.3.- Exploración Geofísica.**

Polarización Inducida: En diciembre de 1988. Geociencias Aplicadas, S.A. realizó un estudio de prueba con el método de polarización inducida y resistividad, consistente en el levantamiento de una línea con una longitud de 1 km. Los resultados obtenidos mostraron seis zonas anómalas de cargabilidad, una de las cuales se correlacionó con la zona mineralizada del cuerpo San Francisco. De acuerdo con las recomendaciones de esta prueba se dieron seis barrenos, de los cuales dos intersectaron zonas mineralizadas de 4 y 14 m respectivamente, lo que motivó la realización de once líneas más (del 08/06/89 al 15/07/89), con una longitud de 1.4 km cada una, orientadas Norte-Sur, con estaciones cada 20 m y separación entre ellas de 100 m. Las anomalías detectadas se exploraron con diez barrenos de circulación inversa, los cuales resultaron desafortunadamente negativos.

### **V.4.- Barrenación de Percusión (tabla No. 1).**

En 1985 se realizó un programa de barrenación de percusión cuyos objetivos consistían en verificar a profundidad la continuidad de las zonas con valores apreciables de oro detectados con el muestreo de canal en las minas antiguas, investigar la continuidad hacia el oriente de la Veta San Francisco, así como también para explorar el contacto entre el granito-gneis y el esquisto contenedor de ramaleos de cuarzo-turmalina y una veta de poco espesor y echado al sur; se dieron 30 barrenos (de los cuales algunos fueron para cerrar barrenación donde se detectaron valores) con un total de 775 m.

Posteriormente, se realizaron las secciones geológicas correspondientes. Se utilizó este sistema por la imposibilidad de encontrar una máquina de perforación con circulación inversa en todo el país.

#### **V.5.- Barrenación de Diamante (tabla No. 1).**

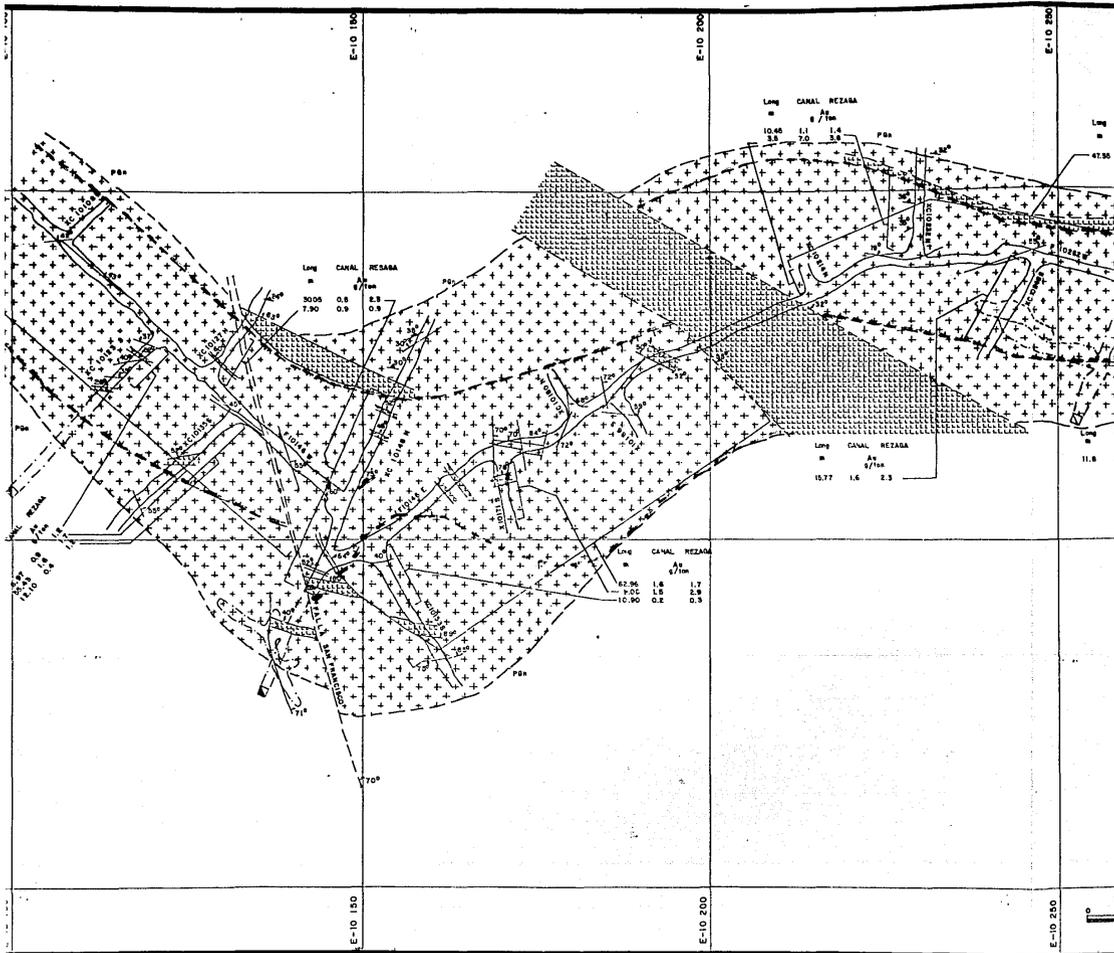
En el mismo año de 1985 se dieron 3 barrenos de diamante cuyo objetivo era investigar posibles estructuras paralelas a las ya conocidas en las obras mineras antiguas, así como para probar la mineralización identificada en los barrenos de percusión. Se perforaron un total de 153 m.

En 1986 se dieron 15 barrenos de diamante con objetivos similares a los ya descritos, con un total de 855 m. Finalmente, en 1988 se dieron otros 765 m en 10 barrenos de diamante con la finalidad de explorar otras zonas al W, NW y N del área San Francisco y El Manto. Se perforaron un total de 1773 m.

#### **V.6.- Desarrollo de Obras Mineras Subterráneas (figura No. 12 y tabla No. 1).**

De Febrero de 1987 a Enero de 1989 se desarrollaron 540 m de cuele de obras mineras subterráneas en el área San Francisco; se dió inicio con el tiro inclinado "El Carmen" cuyo objetivo era cortar el cuerpo a los 5 m y seguirlo hasta la elevación de 685 m.s.n.m.; se cortó el intervalo mineralizado encontrado en el barreno de percusión No 26.





Long CANAL MEZABA  
 = 6 7/16m  
 30.08 0.8 0.9  
 7.90 0.8 0.9

Long CANAL MEZABA  
 = 6 7/16m  
 10.40 1.1 1.4  
 3.8 7.0 3.8

Long CANAL MEZABA  
 = 6 7/16m  
 10.77 1.6 2.3

Long CANAL MEZABA  
 = 6 7/16m  
 12.96 1.6 1.7  
 10.1 1.8 2.4  
 10.90 0.8 0.9

E-10 150

E-10 150

E-10 200

E-10 250

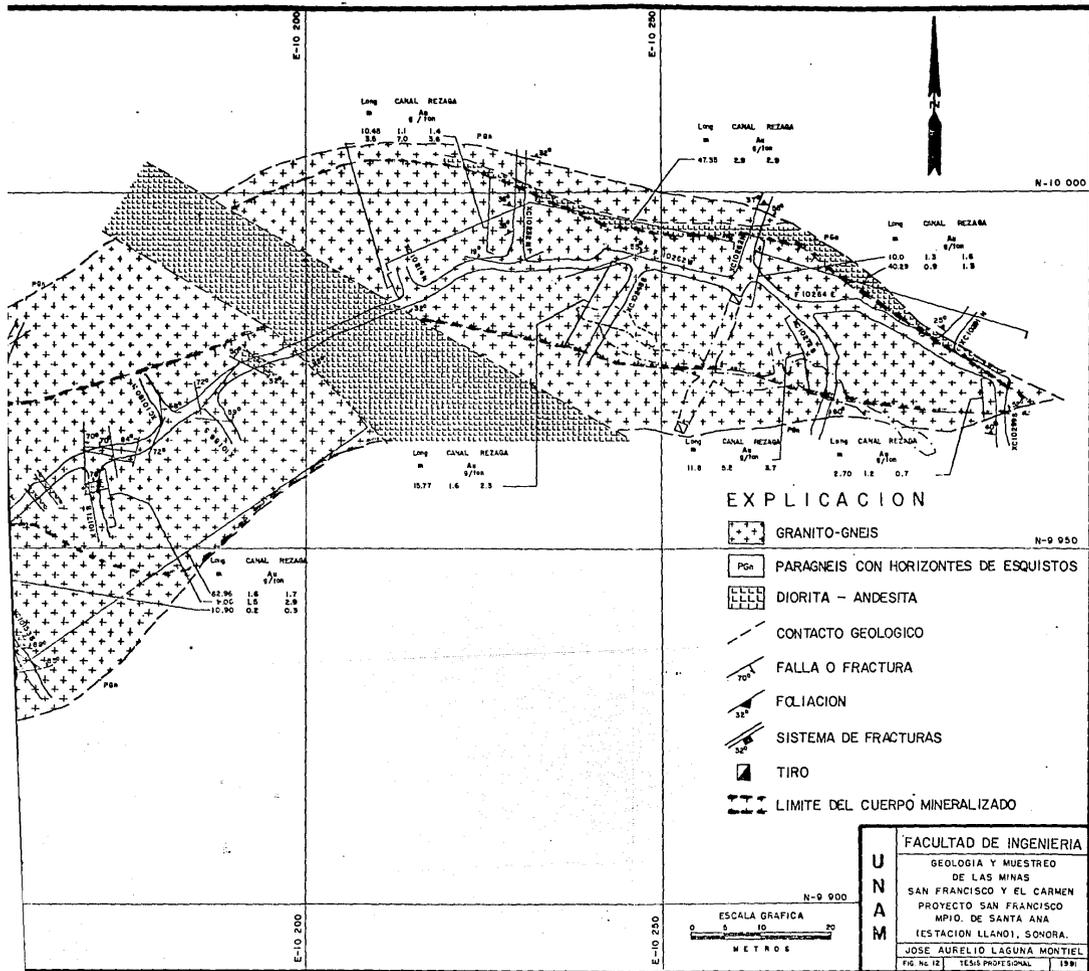
E-10 150

E-10 150

E-10 200

E-10 250

10



Al mismo tiempo se comenzó el tiro inclinado "San Francisco" cuyo objetivo era intersectar el cuerpo a los 16 m y continuar por el mismo hasta cortar el intervalo mineralizado detectado por el barreno de diamante No 4. Posteriormente en ambas obras se desarrollarían cruceros que seguirían la mineralización hacia el alto, para después seguir la exploración por medio de frentes al W y al E, desarrollando cruceros aproximadamente cada 20 m, perpendiculares a éstas, tanto al N como al S, con la finalidad de determinar los límites del cuerpo San Francisco. Estos trabajos confirmaron la continuidad de valores en el cuerpo, como así lo indicó el muestreo de canal y de rezaga efectuado en las obras mineras, que permitió establecer un limitado tonelaje de reservas probadas.

#### V.7.- Barrenación con Circulación Inversa (tabla No. 1).

Del 15 de Septiembre de 1988 al 7 de Junio de 1990 se realizó un intenso programa de barrenación con circulación inversa con algunos períodos de receso, intercalados. Este ha sido el método de exploración más utilizado, ya que a la fecha se han dado 299 barrenos para un total de 23,841 m barrenados. Con este método se descubrieron los cuerpos "El Manto", "De Enmedio", "El Polvorín", así como la prolongación al W del Cuerpo San Francisco.

**Tabla No. 1: Barrenación y Cuele de Obras Mineras Desarrollados.**

<b>AÑO</b>	<b>B.P.</b>	<b>B.D.D.</b>	<b>B.C.I.</b>	<b>DESARROLLO DE OBRAS MIN. SUBTERRANEAS.</b>
1985	775.00	153.10		
1986		855.20		
1987				221.81
1988		765.45	2,250.00	310.50
1989			16,450.15	8.14
1990			5,141.14	
<b>TOTAL</b>	<b>775.00</b>	<b>1,773.75</b>	<b>23,841.29</b>	<b>540.45</b>

**GRAN TOTAL DE METROS BARRENADOS: 26,390.04**

## VI.- Evaluación de Recursos Minerales.

### VI.1.- Método de cálculo:

a) Se elaboraron las secciones geológicas correlacionando la geología de superficie con la determinada en los barrenos y en las obras mineras.

b) Una vez obtenidos los resultados de análisis de muestras y de haber sustituido los valores disparados, se correlacionaron las zonas mineralizadas para definir los límites de los cuerpos de mineral en cada una de las secciones.

c) Se establecieron bloques de mineral midiendo las áreas de los cuerpos sobre las secciones transversales y se multiplicó éstas por una longitud de influencia igual a la mitad de la distancia entre la sección en cuestión y las secciones de barrenación más próximas; así se obtuvo el volumen de cada bloque.

d) Para obtener el tonelaje de los bloques se multiplicó el volumen obtenido por el peso específico de 2.5 ton/m<sup>3</sup>. La ley se obtuvo de promediar los intervalos mineralizados (incluidos en el bloque) de: barrenos, obras mineras y barrenos, según fuera el caso en cuestión.

e) Para cada cuerpo se determinó el tonelaje y la ley en sección sumando los datos de cada bloque. La ley se obtuvo promediando el tonelaje y la ley de cada bloque.

f) El siguiente paso consistió en calcular el tonelaje de cada cuerpo para lo cual se hizo la suma de los tonelajes de las secciones involucradas; la ley promedio se obtuvo tomando en cuenta el tonelaje y la ley de cada sección.

g) Finalmente se determinó el tonelaje total del proyecto sumando los tonelajes de los cuerpos. La ley promedio se calculó tomando en cuenta el tonelaje y la ley de cada cuerpo.

Se realizaron dos cálculos denominados opción 1 y opción 2 como a continuación se describe:

VI.2.- El cálculo denominado opción 1 (figura No. 13 y 14; tablas No. 2 a 6), se realizó tomando en consideración a los cuerpos San Francisco, de la sección 1W a la 30W; El Manto, de la sección 15W a la 30W; De Enmedio, de la 18W a la 24W y El Polvorín, de la sección 39W a la 45W; así mismo se consideró como mineral minable al que contiene ley de oro mayor o igual a 0.80 g/t y mineral marginal aquel con leyes de oro de 0.50 a 0.79 g/t, situado arriba del mineral minable; los valores superiores a 5 g/t de oro fueron sustituidos por ese valor; calculándose así mismo la relación tepetate/mineral.

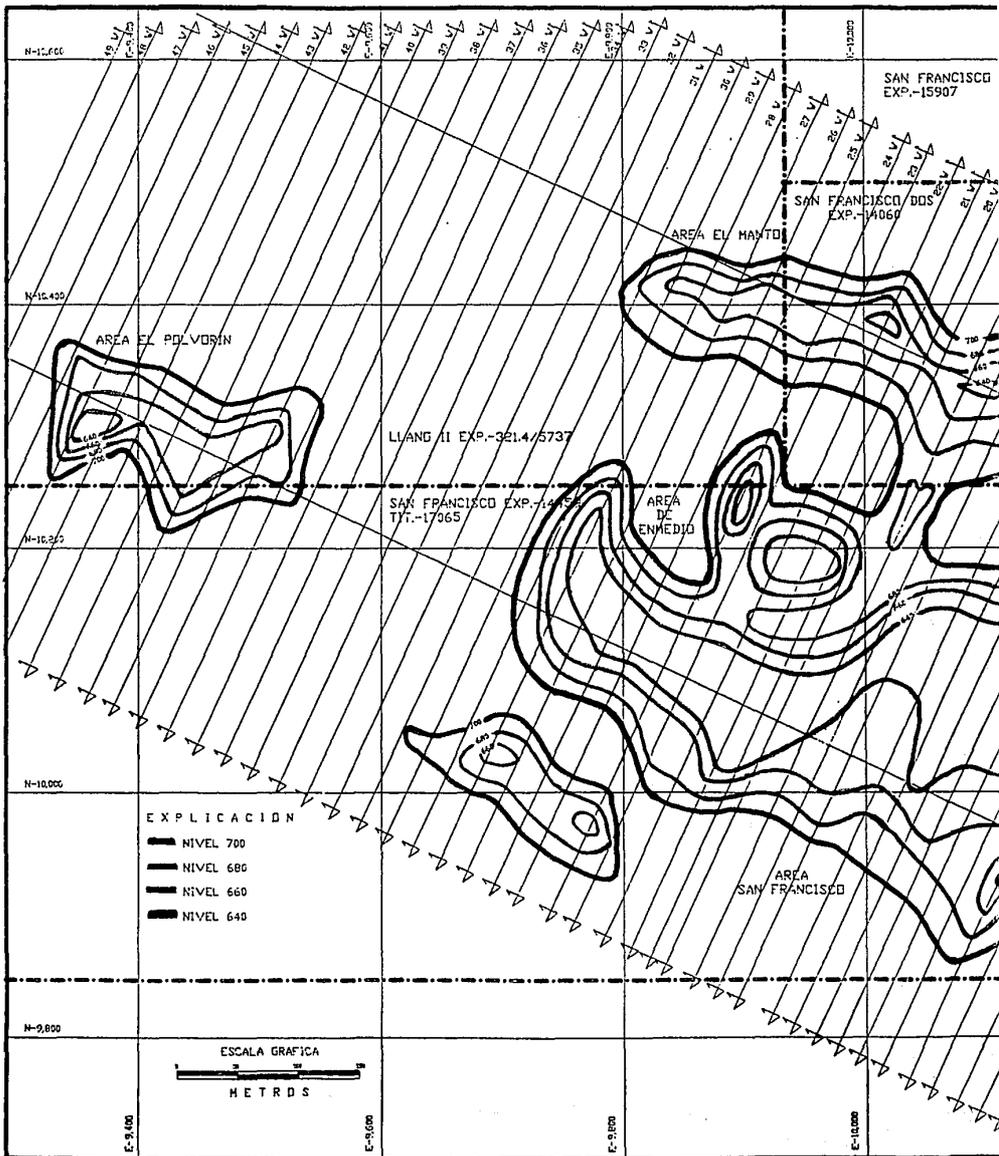
VI.3.- La opción 2 (figura No. 15 y 16; tablas No. 7 a 10) se realizó tratando de bajar la relación tepetate/mineral, así como aumentar la ley del mineral, tomando en consideración los siguientes cuerpos y secciones: San Francisco, de la sección 2W a la 16W; El Manto, de la

sección 17W a la 28W y el De Enmedio, de la sección 18W a la 24W; así mismo se establecieron las siguientes categorías de mineral: Minable, con ley arriba de 1.50 g/t de oro; Marginal Minable, con ley de 1.00 a 1.49 g/t de oro; Marginal Dump Leaching, con ley de 0.50 a 0.99 g/t de oro. Las dos últimas categorías situadas necesariamente arriba del mineral minable, así como que todos los valores (1%) arriba de 8 g/t, fueron sustituidos por ese valor.

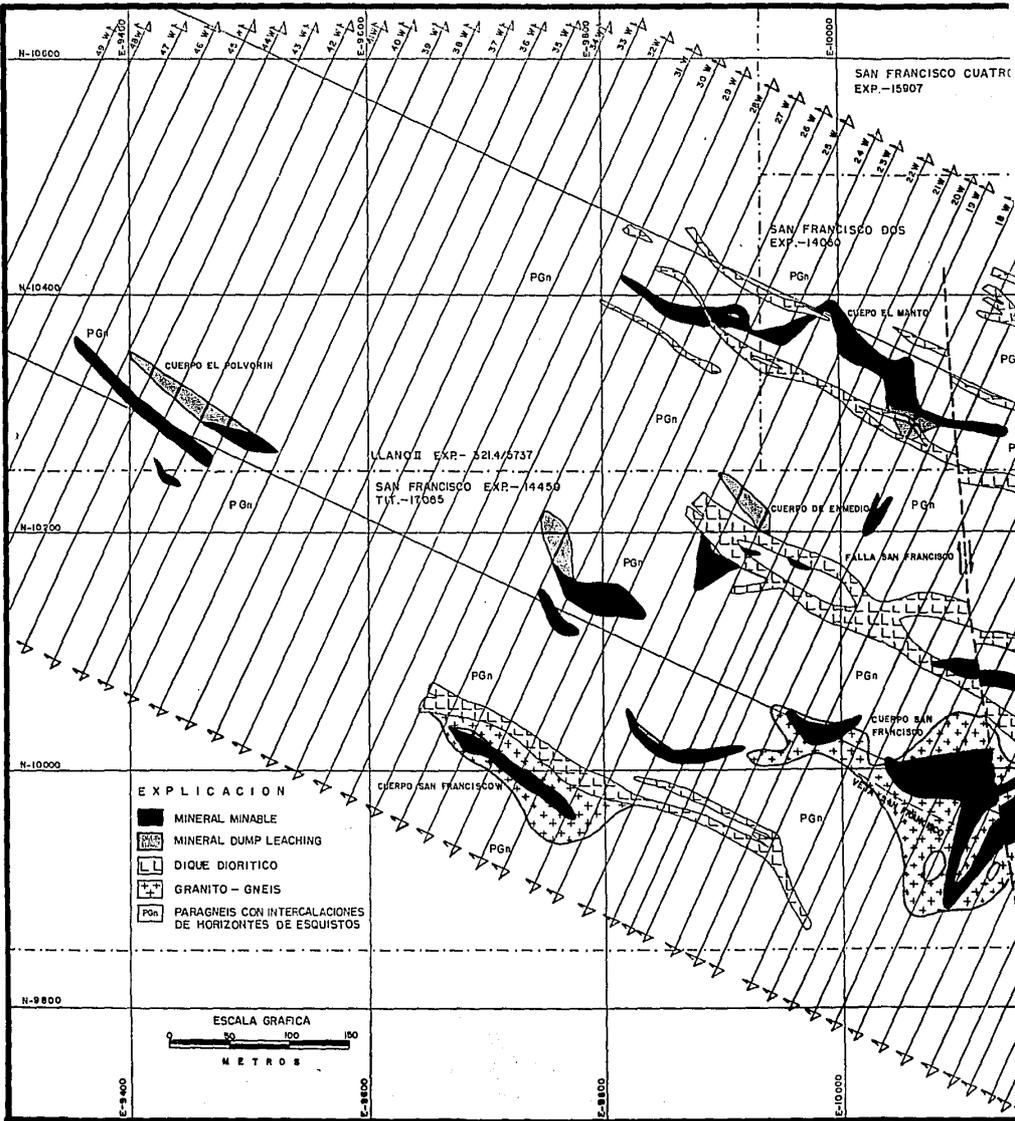
#### **VI.4.- Comentarios Sobre el Método de Explotación y Recuperación Metalúrgica.**

De acuerdo a las características del depósito (oro diseminado) y a su posición relativamente cercana de la superficie, a su morfología como manto inclinado, a la mineralización de oro (presente principalmente en la goethita según pirita), el tipo de minado que se espera desarrollar será por medio de tajo abierto, ya que los costos operativos por este método son relativamente bajos; de acuerdo a los parámetros económicos recientes, se considera que la opción 2 es la más indicada para la explotación a una profundidad de +/- 60 m de la superficie, ya que la relación tepetate/mineral es de 3.91:1.

La metalurgia a aplicarse de acuerdo a los resultados obtenidos en McClelland Laboratories Inc., según Macy (1990) e interpretados en el Centro de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico de Servicios Industriales Peñoles S.A. de C.V., en Monterrey N.L., del estudio de muestras del proyecto, el proceso más adecuado sería el de lixiviación en montones a un tamaño de quebrado óptimo de  $-3/8''$  y con un tiempo de duración de 30 días en las camas de riego por aspersión de cianuro, donde se obtendría una recuperación de oro del 77%.







SAN FRANCISCO CUATRO  
EXP.-15907

SAN FRANCISCO DOS  
EXP.-14066

CUERPO EL POLVORIN

LLANO II EXP-2214/5737

SAN FRANCISCO EXP-14450  
T.M.-17085

CUERPO DE ENMEDIO

FALLA SAN FRANCISCO

CUERPO SAN FRANCISCO

CUERPO SAN FRANCISCO W

EXPLICACION

-  MINERAL MINABLE
-  MINERAL DUMP LEACHING
-  DIQUE DIORITICO
-  GRANITO - GNEIS
-  PARAGNEIS CON INTERCALACIONES DE HORIZONTES DE ESQUISTOS

ESCALA GRAFICA



METROS



N-10600

SAN FRANCISCO QUATE  
EXP. 15887

SAN FRANCISCO BOS  
EXP. 14567

AREA EL MANTO

LLANO EXP. 3214/5737

SAN FRANCISCO EXP. 14434  
T.T. - 17055

AREA DE ENMEDIO

N-10000

EXPLICACION

-  NIVEL 700
-  NIVEL 680
-  NIVEL 660
-  NIVEL 640

N-9800

ESCALA GRAFICA



E-0103

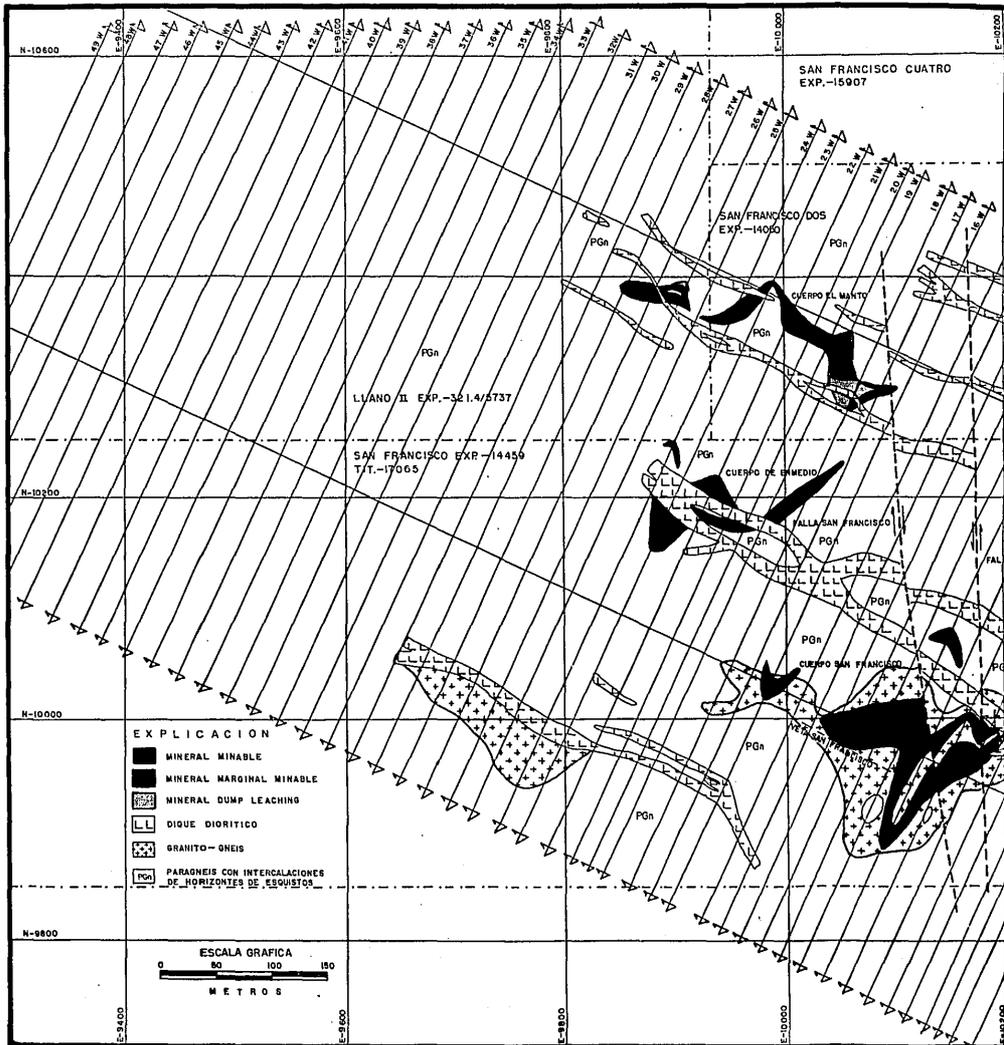
E-0022

E-0192

E-0191

AREA  
SAN FRANCISCO





**EXPLICACION**

- MINERAL MINABLE
- MINERAL MARGINAL MINABLE
- MINERAL DUMP LEACHING
- DIQUE DIORITICO
- GRANITO-GNEIS
- PARAGNEIS CON INTERCALACIONES DE HORIZONTES DE ESQUISITOS

ESCALA GRAFICA  
 0 50 100 150  
 METROS

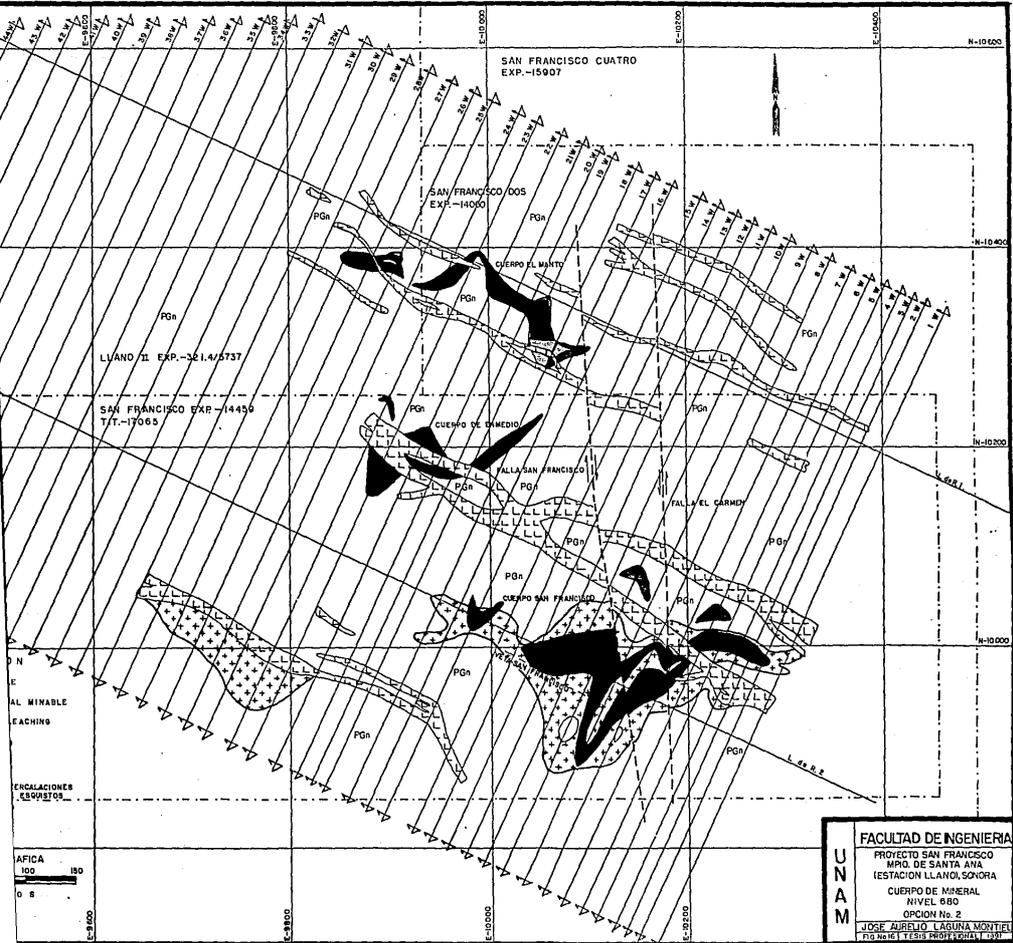


Tabla No.2.

RESERVAS GRAN TOTAL  
OPCION 1

CUERPO	MINERAL TON	LEY g/Ton	TEPETATE TON	RELACION Tep/Min
SAN FRANCISCO	2,569,940	1.67	13,893,290	5.40:1
EL MANTO	565,410	1.50	3,013,800	5.33:1
ENMEDIO	347,440	2.17	1,971,650	5.67:1
POLVORIN	390,640	1.24	3,320,750	8.50:1
	<b>3,873,430</b>	<b>1.67</b>	<b>22,199,490</b>	<b>5.73:1</b>

Tabla No.3.

RESERVAS CUERPO SAN FRANCISCO  
OPCION 1

SECCION No	MINERAL Ton	LEY g/Ton	TEPETATE Ton	RELACION Tep./Min.	MARGINAL Ton	LEY g/t
1W	6,780	1.25	54,000	7.96:1	3,390	0.58
2W	10,300	2.36	48,000	4.66:1	4,680	0.40
3W	23,210	1.82	62,100	2.67:1		
4W	21,320	1.95	239,550	11.23:1		
5W	39,510	2.23	112,800	2.85:1		
6W	57,820	2.33	171,300	2.96:1		
7W	93,230	2.00	240,640	2.58:1		
8W	128,990	2.13	191,900	1.48:1		
9W	197,350	1.76	347,150	1.75:1		
10W	336,800	1.80	1,165,700	3.46:1	13,080	0.55
12W	337,600	1.78	937,650	2.77:1		
14W	110,510	1.96	556,700	5.03:1	19,470	0.75
15W	54,230	1.89	589,900	10.87:1		
16W	240,150	1.52	1,096,800	4.56:1		
18W	58,240	1.44	734,000	12.60:1		
20W	51,900	1.33	186,550	3.59:1		
21W	110,000	1.63	1,132,100	10.29:1		
22W	26,070	1.30	750,500	28.78:1		
23W	184,280	1.19	1,647,000	8.93:1		
24W	65,380	1.69	325,000	4.97:1		
26W	198,990	1.38	1,234,700	6.20:1	37,120	0.40
27W	40,560	1.33	468,000	11.53:1	38,630	0.63
28W	134,160	1.52	1,502,200	11.19:1	106,730	0.54
30W	42,520	1.06	99,050	2.32:1		
	2,569,940	1.67	13,893,290	5.40:1	223,100	0.54

Tabla No.4.

## RESERVAS CUERPO EL MANTO

## OPCION 1

Sección No	Mineral Ton	Ley g/Ton	Tepetate Ton	Relación tep/min.	Marginal Ton	Ley g/Ton
15W	29,950	1.21	87,150	2.90:1		
17W	86,640	1.54	639,750	7.38:1		
18W	21,970	1.68	324,650	14.77:1	87,010	0.69
19W	52,390	1.52	99,250	1.89:1	20,960	0.58
20W	43,490	0.86	135,150	3.10:1		
22W	145,900	1.53	320,450	2.19:1		
23W	8,770	3.10	106,750	12.17:1		
24W	50,070	1.36	257,400	5.14:1	25,260	0.52
25W			231,250			
26W	29,530	2.07	210,000	7.11:1	11,550	0.63
27W	53,950	1.53	164,100	3.04:1		
28W	18,930	1.74	206,700	10.91:1	14,560	0.74
29W	9,840	1.31	160,200	16.28:1		
30W	13,980	1.26	71,000	5.07:1		
	565,410	1.50	3,013,800	5.33:1	159,340	0.65

Tabla No.5.

RESERVAS CUERPO DE ENMEDIO  
OPCION 1

SECCION No.	MINERAL Ton	LEY g/ton	TEPETATE Ton	RELACION Tep/Min	MARGINAL Ton	LEY g/ton
18W	25,680	1.78	156,800	6.10:1		
20W	42,640	2.01	520,200	12.19:1		
22W	160,590	2.00	520,250	3.23:1		
23W	95,210	2.75	122,950	1.29:1	24,960	0.70
24W	23,320	1.71	651,450	27.93:1	10,910	0.64
	347,440	2.17	1,971,650	5.67:1	35,870	0.681

Tabla No.6.

RESERVAS CUERPO EL POLVORIN  
OPCION 1

SECCION No.	MINERAL Ton	LEY g/Ton	TEPETATE Ton	RELACION Tep/Min	MARGINAL Ton	LEY g/Ton
39W	126,300	1.11	575,900	4.55:1		
41W	129,870	1.40	800,150	6.16:1	33,880	0.62
43W	38,630	0.78	516,750	13.37:1	42,200	0.51
45W	95,840	1.42	1,427,950	14.89:1		
	390,640	1.24	3,320,750	8.50:1	76,080	0.56

Tabla No.7.

RESERVAS GRAN TOTAL  
OPCION 2

CUERPO	MINERAL Ton	LEY g/Ton	TEPETATE Ton	RELACION Tep/Min
SAN FRANCISCO	1,271,540	2.08	4,370,020	3.43:1
EL MANTO	326,130	1.82	1,860,400	5.70:1
DE ENMEDIO	229,360	2.75	915,800	3.99:1
GRAN TOTAL	1,827,030	2.11	7,146,220	3.91:1

Tabla No.8.

RESERVAS CUERPO SAN FRANCISCO  
OPCION 2

SECCION No.	MINERAL Ton	LEY g/Ton	TEPETATE Ton	RELACION Tep/Min	MARGINAL MINABLE	LEY g/Ton	MARGINAL D.L	LEY g/Ton
2W	9,670	2.34	49,250	5.09:1				
3W	13,200	2.19	27,410	2.07:1				
4W	17,040	2.43	54,760	3.21:1				
5W	35,100	2.52	105,070	2.99:1				
6W	53,720	2.59	174,510	3.24:1				
7W	64,960	2.83	249,960	3.84:1			23,650	0.72
8W	123,210	2.49	211,480	1.71:1				
9W	196,050	2.08	313,700	1.60:1				
10W	203,020	2.16	483,120	2.37:1	46,120	1.17		
12W	296,290	2.06	1,091,190	3.68:1				
14W	84,630	1.90	525,920	6.21:1			14,240	0.75
15W	27,460	1.18	463,940	16.89:1				
16W	147,190	1.30	619,710	4.21:1				
-----								
-----								
1,271,540		2.08	4,370,020	3.43:1	46,120	1.17	37,890	0.73

Tabla No.9.

RESERVAS CUERPO EL MANTO  
OPCION 2

SECCION No.	MINERAL Ton	LEY g/Ton	TEPETATE Ton	RELACION Tep/Min	MARGINAL MINABLE	LEY g/Ton	MARGINAL D.L	LEY g/Ton
17W	15,930	3.54	338,980	21.27:1	46,410	1.01		
18W	8,420	2.50	256,460	30.45:1			86,580	0.69
19W	48,370	1.84	107,270	2.21:1			33,450	0.73
20W	42,650	0.86	130,570	3.06:1				
22W	91,490	1.76	203,320	2.22:1				
23W	7,310	3.10	162,340	22.20:1				
24W	23,400	2.36	157,950	6.75:1			24,380	0.52
25W			146,250					
26W	24,960	2.18	122,770	4.91:1			4,000	0.63
27W	50,380	1.53	138,780	2.72:1				
28W	13,220	1.74	95,710	7.23:1				
	326,130	1.82	1,860,400	5.70:1	46,410	1.01	148,470	0.66

Tabla No.10.

RESERVAS CUERPO DE ENMEDIO  
OPCION 2

SECCION	MINERAL Ton	LEY g/Ton	TEPETATE Ton	RELACION Tep/Min	MARGINAL MINABLE	LEY g/Ton
18W	25,580	1.78	155,380	6.07:1		
20W	17,060	1.32	177,530	6.88:1		
22W	98,120	2.57	259,920	3.01:1	40,440	0.95
23W	80,760	3.43	240,500	2.97:1	30,380	0.72
24W	7,840	4.30	106,470	13.58:1	10,760	0.64
	229,360	2.75	915,800	3.99:1	81,580	0.82

## VII.- Conclusiones y Recomendaciones

### a) Conclusiones:

- Las rocas metamórficas del proyecto San Francisco corresponden a la subfacies de metamorfismo de cuarzo-albita-epidota-biotita de la facies esquistos verdes, en un ambiente de epizona a meso-catazona.
- Las rocas más favorables para contener la mineralización son por orden de importancia: 1.- Granito-Gneis y 2.- Paragneises, sobre todo cuando es predominantemente cuarzo-feldespático.
- Los depósitos auríferos en el proyecto San Francisco están representados por a) cuerpos a manera de "mantos", constituidos por una red entrelazada de vetillas (stock-work) de cuarzo-turmalina en horizontes de granito-gneis y de paragneises, siguiendo la tendencia estructural de estas rocas y b) vetas de alto ángulo y bajo ángulo constituidas por cuarzo-turmalina.
- Los minerales principales de la mena son oro, pirita y goethita (antes pirita) en las vetas y vetillas de cuarzo-turmalina.
- La alteración filica representada por la asociación mineralógica de cuarzo-pirita-sericita es la que tiene la más estrecha relación con la mineralización de oro.
- Con base en las características de los depósitos se concluye que pueden ser clasificados como formados a temperaturas moderadas a altas en un ambiente posible de "zona de cizalla" (shear zone) (o con una estrecha relación).

- Por las relaciones de campo se concluye que la mineralización es post metamorfismo (Jm-t) y que es anterior al emplazamiento de los diques andesítico-dioríticos (T), por lo que podría corresponder al Cretácico.

**b).- Recomendaciones:**

- Dado lo costoso de las obras mineras subterráneas, así como su relativamente lento desarrollo y su relativamente poca utilidad para este tipo de depósitos, se recomienda no llevarlas a cabo en futuras exploraciones.

- Para este tipo de depósitos se recomienda la realización de levantamientos geológicos muy cuidadosos y su correspondiente programa de muestreo, antes de llevar a cabo cualquier programa de barrenación.

- Otras áreas con características que las hace atractivas para la exploración por oro (dentro de la región del proyecto) son por orden de importancia: a) La prolongación al NW de los cuerpos San Francisco y De Enmedio; b) El Area El Polvorín-Casa de piedra (que enmarca la posible prolongación de los cuerpos El Polvorín y El Manto; c) El área de la Anomalía Geoquímica 1B (contenedora de horizontes auríferos de gossan); y d) El área de la Mina la Mexicana.

BIBLIOGRAFIA

Changkuon, L., 1990, Genesis of Gold Mineralization: San Francisco Mine, Sonora, México. M.S. Thesis, New México Institute of Mining and Technology, Socorro, New México.

De la Fuente, M., et al, 1989, Estudio Geofísico con Polarización Inducida y Resistividad en el Proyecto San Francisco, Son., Geociencias Aplicadas, S.A.

Espinosa, V., 1989, Informe Final del Estudio Fotogeológico con Verificación de Campo del Proyecto San Francisco, Estación Llano, Son., Departamento de Investigaciones Geológicas, Compañía Fresnillo S.A. de C.V.

Espinosa, V., Horner, J., 1989, Geoquímica de Sedimentos de Arroyo Región Proyecto San Francisco, Estación Llano, Son. Informe Interno, Compañía Fresnillo S.A. de C.V.

González León, C., 1982, La Formación Antimonio (Triásico Superior-Jurásico Inferior) en la Sierra del Alamo, Estado de Sonora. Notas Geológicas, No. 1. AEGUS/SGM. pp. 11 y 12.

González León, C., 1982, La Formación Antimonio (Triásico Superior-Jurásico Inferior) en la Sierra del Alamo, Estado de Sonora. Notas Geológicas, No. 3. AEGUS/SGM. pp. 9-12.

Herrera, S., 1989, Geología de la Región de Estación Llano, Son. Reporte Preliminar, UNISON.

Köeppen, W., 1931, Climatología con un Estudio de los Climas de la Tierra. Versión Directa de Hendrichs P, P.R. Fondo de Cultura Económica.

Macy, F., 1990, Report on Heap-Leaching Cyanidation Testwork, San Francisco Projet, Mc Clelland Laboratories, Inc., Spark, Nevada.

Morales, M., 1984, Bosquejo Geológico del Cuadrangulo Estación Llano-Imuris, Boletín del Departamento de Geología, UNISON, Volumen 1, No. 1.

Morán, D. et al, 1984, Geología de la Región Noroeste de México. Geología de la República Mexicana, Capítulo 1. UNAM/INEGI. pp. 3-30.

Pérez, E., 1989, Descubrimiento de una Paragénesis de Au-Te en el Yacimiento de San Francisco, Son., Memorias Técnicas, XVIII Convención Nacional A.I.M.M.G.M. A.C. PP 63-79.

Querol, F., 1986, Estudio de Caracterización Mineralógica del Proyecto San Francisco, Estación Llano, Son., Departamento de Investigaciones Geológicas, Compañía Fresnillo S.A de C.V.

Querol, F., 1987, Informe del Reconocimiento Litogeoquímico del Proyecto San Francisco, Santa Ana, Son., Departamento de Investigaciones Geológicas, Compañía Fresnillo, S.A. de C.V.

Raíz, E., 1964, Landforms of México (Mapa) Cambridge, Mass. U.S.A.

Rangin, C., 1977, Tectónicas Sobrepuestas en Sonora Septentrional. Revista del Instituto de Geología. UNAM, V.1, No. 1, p.p. 44-47.

Rangin, C., 1978, Consideraciones Sobre la Evolución Geológica de la Parte Septentrional del Estado de Sonora. Libreto Guía del Primer Simposio Sobre la Geología y Potencial Minero del Estado de Sonora. Hermosillo, Sonora. Instituto de Geología, UNAM, pp. 35-56.

Salas, G.A., 1968, Areal Geology and Petrology of The Igneous Rocks, Santa Ana Quadrangle, Sonora, México, M.S. Thesis Oklahoma University.

Sáenz, L.F., 1989, Geoquímica de Turmalinas del Area de Estación Llano, Sonora, Consideraciones Genéticas, Tesis Profesional UACH.

Silberman, M., et al., 1987, Characteristics of Gold Deposits In Northern Sonora, México, U.S. Dept. Of The Interior U.S.G.S.

Trigos, G., 1988, Análisis Estructural San Francisco, Departamento de Investigaciones Geológicas, Compañía Fresnillo S.A. de C.V.

Vélez, S., 1987, Informe Petrográfico del Proyecto San Francisco Municipio de Santa Ana, Sonora, Departamento de Investigaciones Geológicas, Compañía Fresnillo S.A. de C.V.

White, S.H. And Baxter, J.L., 1987, Gold Mineralization In Shear Zones, Hermitage Holdings PTY LTD, Topic 1 To 7.