

553.28 (72)

Estadística de Minas
3302, 3303, 3304, 3305

EL PETROLEO MEXICANO

CONFERENCIA

correspondiente a la Escuela Nacional de Ingenieros,
de la serie de conferencias
de vulgarización organizada por la Universidad Nacional de México,
dada por el Ingeniero de Minas

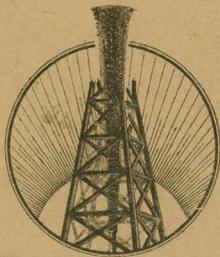
TEODORO FLORES

Profesor de dicha Escuela.

la noche

del 15 de noviembre

próximo pasado en el Anfiteatro de la Escuela N. Preparatoria.



BIBLIOTECA
DE LA
SOCIEDAD CIENTIFICA
"ANTONIO ALZATE"
MEXICO

Departamento de Talleres Gráficos de la Secretaría de Fomento.
México.—Primera de Filomeno Mata Núm. 8.—1917.

014

6014



BIBLIOTECA
RAFAEL GARCIA GRANADOS
INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES HISTORICAS

RAD-1014

THE
LIBRARY OF THE
MUSEUM OF
COMPARATIVE ZOOLOGY
AND ANATOMY
HARVARD UNIVERSITY
CAMBRIDGE, MASS.

EL PETROLEO MEXICANO

Conferencia correspondiente a la Escuela Nacional de Ingenieros, de la serie de conferencias de vulgarización organizada por la Universidad Nacional de México, dada por el Ingeniero de Minas Teodoro Flores, Profesor de dicha Escuela, la noche del 15 de noviembre próximo pasado, en el Anfiteatro de la Escuela Nacional Preparatoria.

Sr. Rector de la Universidad Nacional,
Señoras, Señores:

HACE apenas una década que México no figuraba, aún en el mundo como país productor de petróleo, permameciendo hasta entonces casi ignorada su enorme riqueza en este valioso combustible mineral, no obstante que desde años atrás eran ya conocidas en su suelo las manifestaciones superficiales de petróleo llamadas en el país "chapopoteras." Ha bastado, sin embargo, el transcurso de cinco años escasos de esa década para que México, casi de una manera repentina, haya pasado de los últimos lugares como país productor de petróleo a ocupar el tercer lugar, con tendencias en la actualidad a colocarse, por su potencialidad de producción, en el segundo lugar. Los Estados Unidos del Norte y Rusia son los únicos países que superan actualmente a México; el primero tuvo una producción, durante el año pasado, de 281.104,104 barriles (de 42 galones cada uno) y el segundo una de 68.548,062 barriles; pero hay que tener en cuenta que la industria petrolera en el país vecino data del año de 1860 y en Rusia de tres años después; en tanto que la industria petrolera mexicana es de ayer, pues sus campos, verdaderamente productores, datan de fines del año de 1910.

La producción de petróleo en México ascendió el año pasado, a cerca de 33.000,000 de barriles, habiendo superado en unos 12.000,000 a la producción del año de 1914. Durante los meses de mayo y junio del corriente año, sólo los yacimientos petrolíferos de la región Tampico-Tuxpan, produjeron 1.806,318 y 1.913,904 de barriles respectivamente, todos los cuales, con excepción de 70,262 barriles, fueron de petróleo crudo. Desde enero de 1917, "The Mexican Petroleum Company" deberá entregar mensualmente 10.000,000 de barriles de petróleo a una compañía de vapores, según un contrato hecho con ella, para la venta de esa cantidad.

En el siguiente cuadro (1) consta la producción detallada de México durante los años de 1904 a 1915, cuyo total suma ya la cifra de 123.064,229 barriles (2).

(1) Geological Survey of the U. S. of Am.—Cuadro formado por Miss A. D. Coons.

(2) Con estas cifras he formado la curva de la figura 1, la cual aunque no corresponde exactamente a la producción de México, pues las cifras citadas se refieren más bien que a la producción, a la exportación de petróleo, sí da idea del brusco y constante aumento de producción de petróleo en el país, sobre todo a partir del año de 1910.

HD9574
M62
F56

FH 64216
S. 1596431

Producción de petróleo crudo en México,
de 1904 a 1915

Año	Barriles de 42 galones
1904.....	220,653
1905.....	320,379
1906.....	1,097,264
1907.....	1,717,690
1908.....	3,481,610
1909.....	2,488,742
1910.....	3,332,807
1911.....	14,051,643
1912.....	16,558,215
1913.....	25,696,291
1914.....	21,188,427
1915.....	32,910,508
Total.....	123,064,229

por su parte, (2) últimamente, después de una visita y estudio detenido de las propiedades de la "Mexican Petroleum Co.," que abarcan una superficie de cerca de 250,000 hectáreas en los campos de Cerro Azul, Juan Casiano y Ebano, que sólo en estas propiedades hay una cantidad de petróleo, no extraído aún, que excede de cinco mil millones de barriles y cree que México tiene suficiente petróleo crudo (3) para producir un millón de barriles diarios durante un período de cuarenta años.

Los datos anteriores bastan para formarse una idea de la potencialidad de

CURVA DE PRODUCCION

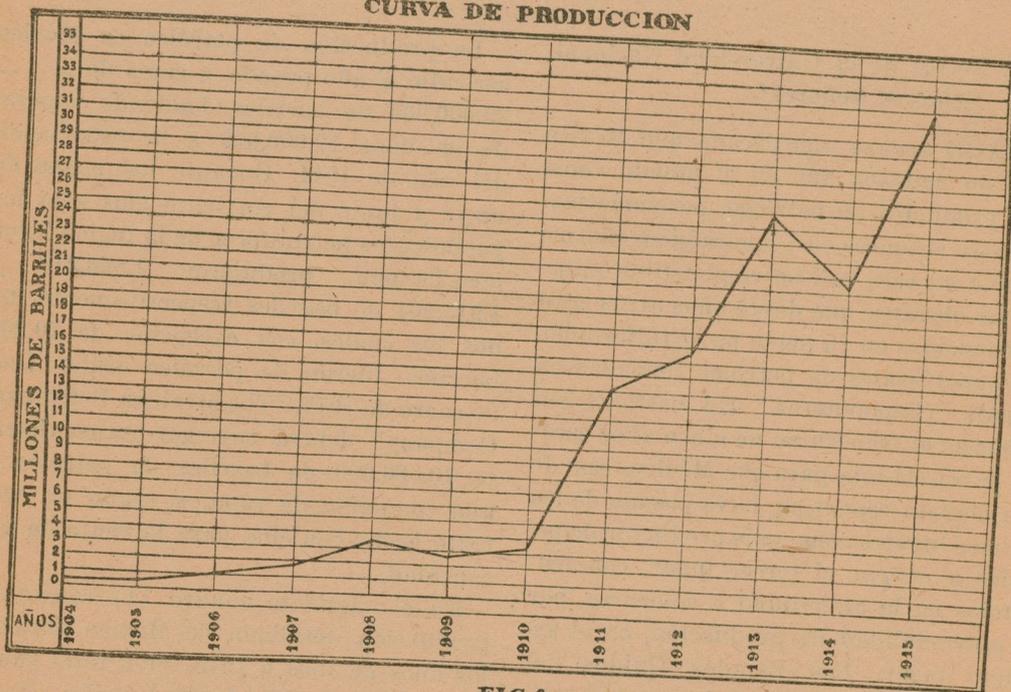


FIG. 1

El señor Director del Instituto Geológico, Ing. Ezequiel Ordóñez, autoridad en la materia, por cálculos personales (1) que considera muy conservadores, estima en *cien mil millones* de barriles las reservas de petróleo mexicano contenidas dentro de la mitad del área de Veracruz a Tamaulipas. I. C. White ha estimado,

México como país productor de petróleo y antes de ocuparme de sus yacimientos petrolíferos, creo conveniente exponer algunas ideas generales sobre el petróleo, su historia, teorías de formación y acumulación, etc., llamando especialmente

(1) Discurso pronunciado en la velada de la Secretaría de Fomento, en la Cámara de Diputados, el 4 de septiembre del corriente año.

(2) Third Report on the Properties of the "Mexican Petroleum Co." by I. C. White, State Geologist of West Virginia, March 1916.

(3) Boletín de la Unión Pan-Americana, julio de 1916, Washington. Pág. 128.

la atención en lo referente al petróleo mexicano.

Con los nombres de petróleo crudo (1), aceite mineral, aceite de carbón, nafta o betún, se conoce a un producto natural constituido por un líquido viscoso de color negro, verde obscuro o amarillento, de olor desagradable, de densidad generalmente menor que la del agua y algunas veces ligeramente superior, cuando se trata de aceites pesados. Este líquido, por exposición prolongada al aire y al sol, sufre una especie de resinificación (2) variando por esto su consistencia, desde un estado semifluido hasta el sólido y constituyendo entonces el asfalto, pisasfalto o maltha o como se le llama en México "chapopote."

El petróleo es uno de los productos naturales que ha sido conocido por la humanidad desde sus más remotos tiempos históricos. Herodoto, 450 años antes de Jesucristo, se refiere ya al uso del betún extraído del río Is, tributario del Eufrates, como mortero para la construcción de los muros de Babilonia. Diodoro, Curcio y otros autores hablan también de ese uso del betún, y Vitruvio dice que se empleaba mezclado con arcilla. En los escritos bíblicos se menciona aplicado para la fabricación de mortero en la construcción de la torre de Babel. La explotación de pozos de Kir-ab-ur-Susiana (Albania) la describe Herodoto así: "Cer-

ca de Ardericca existe un pozo que produce tres sustancias diferentes: sal, asfalto y aceite, las cuales se extraen por medio de un bambilete que en lugar de balde tiene una media bota de vino, la que sumergen y sacan en seguida, volteando su contenido a un recipiente y después de éste a otro, en el cual la sal y el asfalto se vuelven casi inmediatamente sólidos y entonces separan el aceite que los persas llaman *rhadinance* y que es negro y de fuerte olor." También describe la explotación de betún en la isla Zante, una de las islas Jónicas. Estrabon y Vitruvio se refieren a la explotación de extensos depósitos de asfalto, los cuales actualmente aun no están agotados de las cercanías de Selenitza, en Albania. Dioscórido describe un pisasfalto obtenido de Apollonia cerca de Epidamnos, en Albania y el mismo Estrabon, Plinio y otros autores citan el "aceite siciliano" de Agrigentum, usado para alumbrar. Plutarco, en su "Vida de Alejandro" describe cómo en el distrito de Ecbatana, Alejandro fué particularmente sorprendido por un golfo de fuego que continuamente manaba, como si provinieran de una fuente inextinguible; también le sorprendió una avenida de nafta que corrió con tal abundancia que formó un lago y más adelante dice: "la nafta en algunas propiedades se parece al betún, pero es mucho más inflamable; antes de que la alcance el fuego se enciende por una flama situada a alguna distancia e inflama al aire de alrededor. Los bárbaros para mostrar al rey la fuerza y sutileza de la nafta, regaron gotas de ella en la calle hasta su alojamiento y desde un extremo de la línea aplicaron una antorcha (pues era de noche) a las primeras gotas, comunicándose luego a las demás y bien pronto la calle se iluminó instantáneamente." Menciona también el descubrimiento de petróleo en los bancos de Oxus, por un ayudante de Alejandro. El betún o asfalto del Mar Muerto, llamado en la antigüedad *Lacus Asphaltites*, fué explotado

(1) El término "petróleo," en su significación más amplia, se aplica actualmente a todos los hidrocarburos naturales, sean gaseosos, líquidos o sólidos. De los dos nombres generales usados, petróleo y betún es, según Reedwood, más antiguo el de betún que petróleo, pues este último término no se encuentra en el latín clásico y parece que el nombre petróleo data solamente de la edad media. Nafta es de origen persa y viene de *nafata* (exudar).

(2) Esta resinificación es debida a la evaporación de la *petrolena*, elemento volátil que contienen todos los petróleos, y que es el disolvente natural de la *asfaltena*. La petrolena fué descubierta y llamada así por Boussignault (al analizar un petróleo de Pechelbronn, Bajo-Rhin, Francia) quien escribe la fórmula de este elemento así: $C_{10}H_{16}$.

por los habitantes de sus cercanías y vendido a los egipcios, que lo usaban para embalsamar a sus muertos. En la historia antigua de China y el Japón se menciona con frecuencia al petróleo y gas natural que empleaban sus habitantes, varios siglos antes de la era cristiana, para alumbrado (1).

Los aborígenes de Norte América conocieron muchas localidades petrolíferas de las cuales la fuente de petróleo de Séneca, Indiana, localizada cerca del lugar llamado Cuba, en el Estado de Nueva York, fué una de las más célebres y el aceite recogido en ella se utilizaba en usos medicinales.

Los antiguos mexicanos conocieron seguramente al petróleo bajo la forma de asfalto, puesto que lo designaron con el nombre de "chapopote," palabra que según el Diccionario de Aztequismos de D. Cecilio A. Robelo, se deriva de "tzauctli" engrudo, pegamento, y "popochtli" perfume, es decir, perfume-pegamento y dice que los indios lo empleaban como incienso para perfumar los templos y que lo usaban también como pegamento, aprovechando las dos propiedades que dieron el nombre a dicha substancia que se recogía entonces en la laguna de Tamiahua, en Tehuantepec, Tlaxiaco, Guerrero y otros lugares de los Estados de Veracruz y Oaxaca y señala como usos principales del chapopote: para extraer el gas de alumbrado, para formar diversos barnices, algunos lacres negros, argamasas o especies de estucos, en substitución de los enlozados y enladrillados, para fabricación de teas o hachones en lugar de brea, para cubrir las maderas, así como la parte baja de las paredes y preservarlas del agua, de los insectos y del salitre. El P. Sahagún, hablando de lo que vendían en el *tianguis* de México, dice: "El *chapupu-*

tli es un betún que sale de la mar, y es como pez de Castilla que fácilmente se deshace, y el mar lo echa de sí como las hondas, y estos ciertos y señalados días, conforme al creciente de la luna; viene ancha y gorda a manera de manta, y ándala a coger a la orilla los que moran junto al mar. Este chapuputli es oloroso y cuando se echa en el fuego, su olor se derrama lejos." Ximenez dice: "..... vendenlo a bilísimo precio, porque es mucha la abundancia en que se halla en la costa de la Nueva España...." Por otra parte, la tradición entre los indios de la costa de Tamaulipas y Veracruz, relata que por los siglos VII y VIII fué poblada una cuenca conocida entonces con el nombre de Choloa, en la que los primeros pobladores totonacas descubrieron filtraciones de petróleo en un lugar llamado "cogas," palabra cuya significación es en su idioma, *cera o aceite negro* y que más tarde, por corrupción, se transformó en Cubas, lugar inmediato al campo petrolero de Furbero, en Papantla, Veracruz.

Ya he dicho que la industria petrolera mexicana data de reciente fecha; en efecto, el campo más antiguo, Furbero, empezó a producir muy pequeña cantidad el año de 1898; los campos del Istmo en 1900 y otros campos petroleros datan solamente de fines de 1901. En el campo de El Ebano en el cerro de La Pez, brotó en 1902, el primer pozo con producción industrial de 1,500 barriles diarios y duró produciendo esta misma cantidad, durante un tiempo de cerca (2) de setenta meses.

Las regiones petroleras más conocidas hasta hoy en México, son las de Tampico-Tuxpan, Istmo de Tehuantepec y Tabasco-Chiapas; pero hay manifestaciones de petróleo en otras partes de la República, como puede verse en la Carta de la República (Lámina I). Actualmente comien-

(1) A treatise on Petroleum by Sir Boverton Redwood, London 1913. Historical account of the Petroleum Industry, pág. 2.

(2) "A short note on the oils fields of Mexico" by E. Ordóñez. M. S. A.

za a explorarse la Baja California (1) cuyas formaciones terciarias y cretácicas en la costa occidental del Distrito Norte, son la continuación de las de la Alta California, en cuya porción meridional abunda el petróleo; hay manifestaciones también en los Estados de Jalisco (Laguna de Chapala), Oaxaca, (Tlaxiaco, Silacayoapan, Puerto Angel), Puebla, Hidalgo, Durango, Sonora, Chihuahua, (2) Coahuila y aun en la Villa de Guadalupe, en el Distrito Federal, se ha extraído petróleo en pequeñísimas cantidades y son muy numerosas, como ya he dicho, las localidades del país en que se ha encontrado superficialmente chapopote.

El petróleo crudo mexicano es un líquido viscoso, de color negro casi siempre, algunas veces pardo o verde oscuro, cuya densidad varía de 0.783 a 1.012. Sir Boverton Redwood, que examinó una muestra de nuestro petróleo más común lo describe así: "es un líquido viscoso a la temperatura ordinaria, en el cual se observa la fluorescencia común del petróleo por luz reflejada, de color pardo castaño cuando se ve por luz transmitida; prácticamente sin olor cuando está frío, pero de olor ligeramente balsámico cuando se

calienta." Puede decirse de una manera general, que en las zonas petroleras del Golfo, los petróleos procedentes de los campos del Norte son más densos que los de los campos del Sur. Así, los petróleos de la región Tampico-Tuxpan son más pesados que los de las regiones de Tehuantepec y Chiapas-Tabasco, que son más ligeros y cuya densidad es de 15° a 29° Baumé (0.964 a 0.882). Ralph Arnold divide a los de la región primeramente citada, en dos clases: los extraídos en el Valle de Río Pánuco, que tienen una densidad de 26° a 14° Baumé (0.896 a 0.972) y los aceites más ligeros de Juan Casiano, Potrero del Llano, Furbero y otros lugares con densidades de 19° a 26° Baumé (0.940 a 0.900) y cita un petróleo de excelente calidad, últimamente descubierto, al Sur de Valles, en San Luis Potosí, el cual tiene una densidad de 49° Baumé (0.783). Las determinaciones de densidades, hechas en el Instituto Geológico Nacional, por el señor H. Larios, para algunos tipos de petróleos mexicanos procedentes de los Estados de Veracruz, San Luis Potosí y Oaxaca, han dado las cifras siguientes:

Cerro Azul	Tuxpan.....	Veracruz.....	densidad a 15° C.....	0.987
Potrero del Llano (Pozo 4).....	"	"	" " " "	0.934
Cerro Viejo.....	"	"	" " " "	0.978
Furbero	Papantla	"	" " " "	0.983
Cubas	"	"	" " " "	0.983
Ebano, (Pozo 17).....	S. L. Potosí	" " " "	0.996
Jaltipan, (Pozo 2).....	Tehuantepec	Oaxaca	" " " "	0.983
San Cristóbal.....	"	"	" " " "	0.966
Minatitlán.....	"	"	" " " "	0.965
Mina Vieja	"	"	" " " "	0.950

(1) El descubrimiento de petróleo, en cantidad industrial, en la Baja California, sería de suma importancia para la Península, pues el petróleo suministraría un combustible barato, que falta en ella y que impide el progreso y desarrollo de varias industrias.

(2) Sobre el descubrimiento de petróleo en Chihuahua, véase la nota publicada en "Engineering and Mining Journal," del 31 de octubre de 1908, número 15, en la que se habla de tres pozos, uno de

ellos de 3,285 pies de profundidad, abiertos en terrenos cercanos a la última estación del Ferrocarril de Kansas City, México y Oriente. El petróleo extraído dió según la citada nota: nafta y aceites ligeros..... 14.38%, kerosena ligera 31.05%, kerosena pesada..... 22.06%, aceites lubricantes 20% y parafina 10%. En cuanto a Sonora el mismo periódico (nº 10, de 9 de marzo de 1912) cita petróleo encontrado al NE. del Estado, en una localidad cercana al paraje llamado El Plomo, cuya situación no precisa.

Las densidades anteriores son a 15° C. y fueron determinadas por el método del frasco (pycnómetro), que es el método que da resultados más precisos; pero se aprecia también, sobre todo en los campos petroleros, en grados del aereómetro Baumé, por la facilidad del uso de este aparato en el campo y esta manera de apreciar la densidad se ha generalizado tanto, que se han tabulado ya las equivalencias entre grados del aereómetro Baumé, tomadas a 15°, y los pesos específicos del petróleo crudo, tomados a esa misma temperatura.

La determinación de la densidad de un petróleo crudo es de gran importancia industrial, por el lado económico que este dato tiene: en efecto, siendo el petróleo crudo, como veremos más adelante, una mezcla de hidrocarburos líquidos de diferentes densidades cada uno, y conteniendo esta mezcla líquida, disueltos en su seno, diversos gases que constituyen una fuerza latente que obliga al petróleo a viajar o sea a *emigrar* de una formación a otra, atravesando rocas de diferentes naturaleza geológica y de distintas propiedades físicas (porosidad, permeabilidad, etc.); se afecta, durante este viaje, el peso específico del petróleo porque la mezcla experimenta una especie de filtración capilar, o destilación fraccionada natural, que separa a cada uno de los hidrocarburos de distintas densidades que la forman, dando petróleos de diferente calidad y por consiguiente de diferente aplicación, es decir, de distinto valor industrial. La emigración del petróleo no es debida solamente a la tensión de los gases disueltos en su seno; sino que más frecuentemente es causada por presión hidrostática o por presión dinámica de las rocas sobre el receptáculo petrolífero, originada por el diastrofismo terrestre.

El petróleo crudo, químicamente considerado, no es una especie química definida; sino que es una mezcla de va-

rios compuestos químicos, entre los cuales dominan, por su cantidad, los hidrocarburos líquidos de las series cíclica y acíclica y algunos otros hidrocarburos derivados; pero contiene también hidrocarburos gaseosos y gases tales como nitrógeno, oxígeno, hidrógeno sulfurado, anhídrido carbónico y además compuestos sulfurados en cantidad variable; el petróleo mexicano contiene de 3% a 5% de azufre. Estos hidrocarburos que, como hemos dicho ya, son de pesos específicos diferentes, se pueden separar entre sí por destilación fraccionada, esto es, sometiéndolos a la acción del calor cuya temperatura se eleva gradualmente (de 20° a 150°, de 150° a 200°, de 200° a 250° y por fin hasta 300°, a la cual la mezcla abandona todos sus productos volátiles y deja residuos sólidos solamente) o pueden separarse también los compuestos de esta mezcla por filtración capilar, utilizando substancias porosas (tizar, arcillas, etc.), o finamente divididas. Cuando se emplea el calor para la destilación del petróleo crudo, se obtienen gran número de hidrocarburos líquidos, algunos de los cuales no existen en él, sino que se forman por descomposición parcial del petróleo crudo durante la destilación (destilación destructora o desintegrante) dependiendo, por lo tanto, de las condiciones en que se haga esta destilación, la cantidad y la calidad de los productos de la destilación y no solamente de la clase de petróleo crudo, del cual pueden obtenerse diferentes productos de destilación y de distinta cantidad y calidad, según el procedimiento de destilación empleado. Los petróleos crudos de localidades diferentes o de la misma localidad, pero de pozos distintos y a veces del mismo pozo, pero de diferentes profundidades, no tienen las mismas propiedades, sino que éstas varían con el peso específico de los petróleos crudos, el cual, repito, se altera durante la emigración del petróleo, y por todo esto se comprende la importancia

industrial del dato: densidad o peso específico de un petróleo crudo.

Los petróleos crudos mexicanos contienen proporciones pequeñas de productos ligeros (gasolina, benzina, aceites de alumbrado) y cantidades considerables de aceites pesados lubricantes, gran cantidad de asfalto y relativamente poca cantidad de parafina; bajo este punto de vista los petróleos mexicanos se asemejan mucho a los petróleos de California y difieren de los petróleos americanos del Este de los Estados Unidos (con excepción de los del Sur de Louisiana y Texas) que son ricos, por lo general, en gasolina, aceites finos de alumbrado y parafina; así, por ejemplo, algunos petróleos de Kansas han sido usados sin preparación previa, como aceites iluminantes y otros de West Virginia, pueden usarse también sin precisa necesidad de someterlos a una destilación o refinación, como aceite lubricante. Los análisis químicos de petróleos mexicanos han revelado, para los petróleos procedentes de El Ebano y Pánuco, siempre asfalto dominante con ninguna o poca parafina; en los de San Pedro, Huasteca Potosina, Tecuanapa y cercanías de Tuxpan la proporción de parafina es mayor; los petróleos de la región Tabasco-Chiapas contienen mayor proporción de aceites iluminantes, según los últimos reconocimientos, y nada puede decirse aún acerca de los de la Baja California, por no haber todavía datos suficientemente exactos.

Además de la densidad, deben tomarse en cuenta otras propiedades del petróleo que son también importantes, tales como sus puntos de inflamabilidad, ignición, viscosidad, coeficiente de dilatación, poder calorífico, poder lubricante, etcétera, de las cuales definiré algunas. Por punto de inflamabilidad se entiende la temperatura más baja a la cual se produce, cuando se calienta gradualmente un petróleo crudo, vapor suficiente de petróleo para que éste se inflame momen-

táneamente, al contacto de una chispa o flama; el punto de inflamabilidad depende de la presión del vapor de petróleo y del tanto por ciento de vapor de petróleo necesario para producir una mezcla explosiva con el aire; se comprende por esto, que el punto de inflamabilidad será más bajo si el vapor de petróleo se acumula en una vasija cerrada que si se escapa de un vaso abierto; a esto obedece los términos usados en la determinación del punto de inflamabilidad que se dice: *prueba en vaso abierto o prueba en vaso cerrado*, y para obtener resultados comparables se necesita referirlos a la misma presión; el punto de ignición se determina siempre en prueba en vaso abierto y corresponde al momento en que el petróleo no se inflama solamente, sino que sigue ardiendo indefinidamente. Viscosidad es la propiedad en virtud de la cual los líquidos presentan resistencia al movimiento relativo de sus partes y al cambio de forma. C. Maxwell la define así: es la fuerza necesaria para mover una capa de un líquido de una superficie igual a la unidad, a otra capa de igual superficie, situada a la unidad de distancia. La viscosidad puede referirse al agua o a un aceite o petróleo crudo tipo, o calcularse en unidades gravitacionales o en medidas absolutas c. g. s.; generalmente se determina apreciando el tiempo en segundos que requiere un volumen determinado de petróleo crudo para escurrir a una temperatura conocida por un orificio o tubo de sección constante. Esta determinación, se hace en aparatos llamados viscómetros o viscosímetros e ixómetros; entre los cuales citaré a los de Redwood, Saybolt, Engler-Kunkler, Ostwald, ixómetro de Barbey; el de uso más general en los Estados Unidos del Norte, es el aparato primeramente citado, que consiste en un recipiente cilíndrico de volumen y forma conocida, rodeado de una camisa de agua que puede mantenerse a la temperatura deseada; en el fondo de este cilindro hay un pe-

queño orificio circular, por el cual escurre el petróleo. Algunas determinaciones hechas en el Instituto Geológico Nacio-

nal, para puntos de inflamabilidad y viscosidad de algunos petróleos mexicanos, han dado los siguientes resultados:

PUNTO DE INFLAMABILIDAD (APARATO ABEL, TIPO ALEMAN)

Petróleo de San Cristóbal, Tehuantepec.....	26.° C. a 588mm de presión
„ Compañía de “El Aguila”.....	36.7 „ a 760 „ „
„ Hda. Victoria, Jiménez, Coah.....	31.5 „ a 590 „ „

VISCOSIDAD REFERIDA AL AGUA (IXOMETRO DE BARBEY)

Petróleo del	Temperatura en grados C.	Viscosidad	172 veces superior a la del agua
pozo n° 4 de Potrero del Llano.	27.°	172	„ „ „ „ „
	35.°5	118	„ „ „ „ „
	49.°	62	„ „ „ „ „
	59.°8	42.5	„ „ „ „ „
Petróleo de la Compañía El Aguila	79.°7	26.7	„ „ „ „ „
	91.°8	18.8	„ „ „ „ „
	25.°	1411	„ „ „ „ „
	70.°	88	„ „ „ „ „
	100.°	37	„ „ „ „ „

Las determinaciones del punto de inflamabilidad y de la viscosidad (1) son de útil aplicación: la primera, para evitar las explosiones e incendios en los diversos usos industriales del petróleo y la segunda como un dato indispensable en el cálculo del transporte del petróleo crudo, a través de los oleoductos.

Me ocuparé ahora de la formación del petróleo y de su modo de acumulación en el subsuelo. Mucho se ha escrito sobre el origen del petróleo y no sería este el momento de discutir las diversas teorías que sobre él han dado eminentes geólogos y distinguidos químicos; voy sólo a exponer brevemente las principales y de preferencia aquella que explique mejor el origen del petróleo mexicano. Las mencionadas teorías pueden dividirse en tres

clases: teorías orgánicas, teorías anorgánicas y teorías orgánico-anorgánicas; las primeras atribuyen la formación del petróleo a la acción del calor y la presión sobre acumulación de restos orgánicos, bien animales o bien vegetales; las segundas suponen la intervención exclusiva de sustancias minerales en la formación del petróleo y las últimas combinan las ideas de las dos teorías anteriores, suponiendo que gases originados en masas ígneas de origen profundo, se ponen al atravesar los poros, grietas, etc. de las rocas, en contacto con materia orgánica y producen hidrocarburos.

La teoría animal o sea la de Engler-Höfer, es la que cuenta actualmente con más partidarios, sobre todo entre los geólogos, y es la más aplicable al petróleo mexicano; esta teoría explica la formación del petróleo por la descomposición de los cuerpos de animales marinos tales como peces, moluscos, etc., en cuya descomposición juega un papel importante la fermentación provocada por las bacterias. Engler llegó a producir, en efecto, un petróleo artificial muy semejante al petróleo natural por la destilación del aceite de pescado, y una de las bases orgánicas de la serie pyridina de los petróleos de California, se ha llegado a tener por la destilación seca y destruc-

(1) Para valor del coeficiente de viscosidad absoluto del petróleo mexicano, se han obtenido como resultados relativos a algunas muestras de petróleo común, a 10° C. de temperatura, $\eta = 18.43$; pero esta cifra debe tomarse como provisional, mientras se experimenta con muestras convenientemente recogidas de los pozos en diferentes campos petroleros. Para comparación doy aquí los siguientes valores de los coeficientes de viscosidad absolutos de otras sustancias, en unidades c.g.s., y a 25° de temperatura:

Eter.....	0.0023
Agua.....	0.0089
Alcohol.....	0.011
Glicerina.....	7.796

tora de la carne y tejidos de los cadáveres. Por otra parte, algunas bahías y costas, actualmente, están literalmente llenas de organismos marinos; en ellas abunda la vida marina, y es indudable que este hecho tuvo lugar en épocas geológicas pasadas, especialmente en nuestras costas del Golfo de México, que por las condiciones de su fondo, temperatura y carácter somero de sus aguas, etc., deben haber estado en esas épocas, en condiciones muy favorables para el desarrollo abundante de animales marinos, los cuales una vez muertos y enterrados en los sedimentos lodosos del fondo, han suministrado suficiente material para la formación del petróleo. El señor Ingeniero J. D. Villarello, refiriéndose al origen del petróleo del Golfo (1) dice lo siguiente: "El conjunto de observaciones geológicas hechas en las regiones petrolíferas descritas antes, se concilia, con la teoría animal del petróleo; y por lo tanto, puede decirse con fundamento que: el petróleo de la costa del Golfo de México parece ser un producto de la descomposición de la materia animal proporcionada por una fauna marina, que se extinguió paulatinamente al variar el nivel del mar en esa región."

Las teorías de origen vegetal pueden clasificarse como sigue: teoría de las algas, teoría de las plantas terrestres, teoría de las diatomeas y teoría del carbón; la de las algas invoca la enorme existencia de sargazo en las aguas del Océano Pacífico, algas que pudieron haberse formado en el pasado, como ahora, y suministrar material más que suficiente para producir grandes cantidades de petróleo, si se le destilara de una manera conveniente; supone que en el pasado hubo considerables cantidades de estas algas que fueron sepultadas después en los sedimentos marinos, cubiertas más tar-

de por otros sedimentos y posteriormente, por destilación natural, pudieron originar petróleo; la teoría de las plantas terrestres alega la presencia de grandes cantidades de plantas en los pantanos, lagos, etc., las cuales podrían haber sufrido las mismas vicisitudes que los organismos vegetales marinos que acabo de citar; la de las diatomeas, tiene partidarios, sobre todo entre los geólogos californianos, y se apoya en el estudio microscópico de estas plantas, que abundan en muchas partes de los mares y océanos y en la presencia de innumerables restos de estos pequeños organismos en las pizarras arcillosas carbonosas de California, y por último, la teoría del carbón descansa en el hecho de que carbones bituminosos o ligníticos producen petróleo cuando se destilan en el laboratorio y se deduce que resultados semejantes se han obtenido en la naturaleza por destilación de grandes depósitos de carbón en condiciones convenientes de calor y temperatura; la presencia de mantos de carbón en muchos campos petroleros da cierta verosimilitud a esta teoría.

Sea que se admita la teoría animal o la vegetal, lo esencial es notar las condiciones que deben ser llenadas en el depósito de la materia orgánica, para que se pueda formar petróleo; estas condiciones son, en resumen, cuatro: 1.^a Que la materia orgánica se deposite en las arenas, arcillas o lodos del fondo de las costas, bahías, lagos, pantanos, etcétera, 2.^a Que otros sedimentos cubran después a estos depósitos formando capas de cierto espesor, 3.^a Que la materia orgánica se conserve así fuera de la destrucción por oxidación y fermentación rápidas (si hay agua y sal disuelta, la solución de sal obrará como una salmuera para la conservación) y 4.^a Que la presión de las capas que posteriormente se depositen desarrolle suficiente calor para que se efectúe una especie de destilación natural de la materia orgánica, bajo la acción de la presión y del calor (calor

(1) Algunas regiones petrolíferas de México, por J. D. Villarello, Bol. 26 del Instituto Geológico de México, pág. 84.

debido a esta presión, a masas ígneas, etcétera).

Diré algunas palabras sobre las teorías anorgánicas que suponen, como ya he dicho, un origen exclusivamente mineral para el petróleo, éstas son: la teoría de los carburos, que se funda en el hecho bien conocido de que la acción del agua sobre los carburos metálicos, produce hidrocarburos; por ejemplo: el carburo de calcio da acetileno; el carburo de manganeso da metana e hidrógeno; el carburo de aluminio, metana; el carburo de lantano y torio, una mezcla de acetileno, metana e hidrógeno. Mendeléeff, fundador de las teorías minerales, sugiere que el petróleo ha podido formarse por la acción del agua sobre el carburo de fierro, contenido en la baryesfera. Sabatier y Senderens obtuvieron en 1902 una mezcla de hidrocarburos líquidos semejantes a los del petróleo de Pennsylvania, por la acción del níquel sobre una mezcla de hidrógeno y acetileno (1). La asociación del azufre, del yeso y la caliza con el petróleo, ha dado origen a otra teoría mineral para la formación del petróleo, que se explicaría suponiendo que el yeso en presencia de una materia orgánica en descomposición, que produzca anhídrido carbónico, se reduce por la acción de este ácido, dando carbonato de calcio, azufre libre y carburo de hidrógeno. Por último mencionaré, entre estas teorías, a la teoría volcánica que se funda en el hecho de que algunos volcanes desprenden ciertas cantidades de hidrocarburos, gases que se suponen podrían sufrir una condensación antes de alcanzar la superficie terrestre, poniéndose en contacto con formaciones frías y originar entonces petróleo, teoría que no es imposible; pero que no se concilia, la mayoría de las veces, con las observaciones del geólogo en el campo.

Un problema enteramente diferente al

del origen del petróleo, pero de gran importancia económica, es el relativo a su modo de acumulación, para cuya resolución interviene directamente la geología aplicada y reclama el conocimiento geológico preciso de una región.

Para resolver este problema debe tenerse presente: que los depósitos comercialmente explotables de petróleo se presentan en terrenos sedimentarios plegados, en los cuales existe siempre una roca permeable (ya sea por porosidad propia o por la presencia en ella de cavidades, grietas, fracturas, fallas, etc.), que sirve de receptáculo petrolífero; este receptáculo debe encontrarse cubierto por capas impermeables, encontrándose si hay agua en él, ocupando esta agua siempre la parte más baja. Los pliegues son de diversas formas y se clasifican en geología en monoclinales, anticlinales, synclinales, domas, complexos, en abanico, etcétera, y dan lugar a tipos diversos de yacimientos petrolíferos. Así por ejemplo, la figura 1 (Lámina II) es un pliegue anticlinal o convexo; la figura 2 un pliegue synclinal o cóncavo; la figura 3 un pliegue monoclinal y la figura 4 muestra la combinación de estas dos clases; la figura 5 muestra esta misma combinación, pero con curvatura tan poco exagerada que da lugar a un tipo especial de estructura llamado "en terraza;" la figura 6 es un pliegue complejo; la figura 7 un pliegue anticlinal asimétrico y la figura 8 un pliegue monoclinal, que puede ser parte del ala de un gran pliegue anticlinal. En la figura 1 se ve la distribución sucesiva de los hidrocarburos gaseosos, del petróleo y del agua; los gases ocupan la parte alta del anticlinal, el petróleo la parte media y el agua la parte más baja. Además, en todas esas figuras están localizados pozos que son productivos o improductivos, según el caso, pues cortan o no a horizontes petrolíferos; en la figura 7 por ejemplo, vemos la conveniencia de localizar pozos en el flanco poco inclinado de un anticlinal, pues los

(1) The Chemistry of Petroleum and its substitutes by C. K. Tinkler-New York, 1915, pág. 73.

pozos 2, 3 y 4 serían productivos, en tanto que el número 1 no, a pesar de su gran profundidad; la figura 8 muestra la influencia del relieve topográfico sobre la elección del sitio para localizar un pozo; los números 1 y 4 alcanzan pronto al horizonte petrolífero, en tanto que los 3 y 5 resultarían más profundos y por consiguiente más costosos; en la figura 1 los pozos 3 y 4 alcanzarían agua, el 2 petróleo y el 1 gas y petróleo. La localización de pozos en busca de petróleo es un problema relativamente sencillo, cuando se conoce bien la estructura geológica de una región; pero se convierte en un problema muy difícil cuando esta estructura no es aparente, como pasa en algunos lugares en nuestras regiones petroleras; por consiguiente, el estudio geológico detenido de una región debe preceder a la localización de los pozos y voy a exponer algunas generalidades sobre la situación y geología de algunas de nuestras regiones petroleras más importantes.

La región Tampico-Tuxpan (Lámina III), se encuentra situada en la planicie costera del Golfo de México; es la región mejor conocida y más extensa, pudiendo considerarla comprendida entre los ríos Soto la Marina y Tecolutla, con una superficie de cerca de 52,000 kilómetros cuadrados, en territorio de los Estados de Tamaulipas, Veracruz, San Luis Potosí, Puebla e Hidalgo; esta región es comercialmente tributaria de los puertos de Tampico, Tuxpan y Veracruz y se encuentran en ella cerca de 15 campos petroleros. Las regiones del Istmo de Tehuantepec y Chiapas-Tabasco ocupan los valles de los grandes ríos (Coatzacoalcos, Grijalva, etc.) de los Estados de Veracruz, Tabasco y Chiapas, y comprende actualmente unos cinco campos petroleros, diseminados en una superficie de cerca de 65 kilómetros cuadrados, aunque la extensión explorada es mucho mayor.

La geología de estas regiones es muy interesante y no obstante que se han hecho ya estudios detallados, éstos son

muy locales y no está todavía suficientemente conocida. Se encuentran en ellas rocas sedimentarias de edad cretácica y terciaria, atravesadas por intrusiones de rocas ígneas, intrusiones que en algunos casos han desempeñado un papel importante, como veremos más adelante, en la acumulación del petróleo. Las rocas sedimentarias son calizas, pizarras arcillosas y margas, en las regiones de Tampico, Tuxpan y Tehuantepec y areniscas calcáreas, pizarras arcillosas, margas y conglomerados en la región Tabasco-Chiapas; las rocas ígneas son basaltos, gabbros y doleritas en las dos regiones primeramente citadas y dioritas y andesitas en la última mencionada. De estos sedimentos, los más antiguos son las calizas llamadas de Tamasopo, porque afloran en la Sierra Madre Oriental, en el cañón de Tamasopo, Estado de San Luis Potosí. Esta formación está constituida por calizas duras, grises, más bien silíceas que dolomíticas, algunas veces porosas y con grandes cavernas de disolución, sobre todo en sus miembros más altos, en los cuales se encuentran a veces nódulos de pedernal; económicamente esta formación es de gran importancia por sus horizontes petrolíferos, los cuales se consideran contenidos en los citados espacios cavernosos y que son probablemente los que alimentan a los grandes pozos brotantes o "gushers," de que me ocuparé después; la potencia de esas capas se ha estimado entre 2,000 y 2,700 metros y su edad ha sido referida por Böse (1) al Turoniano y Cenomaniano. Sobre las calizas de Tamasopo, descansan en estratificación ligeramente discordante, una serie de capas formadas por pizarras arcillosas, grises, rojas y verdes, que alternan con calizas impuras y con margas, capas que se conocen con el nombre de capas de San Felipe. La forma-

(1) Véase "Guide des Excursions du Xe. Congrès Géologique International, México." Excursion du Nord XXX-pág. 10.

ción es un tanto arenosa y su espesor máximo se ha estimado en 200 metros, siendo desconocida su edad precisa, que es aparentemente terciaria y que se ha referido al eoceno; no se puede precisar todavía la importancia económica de esta formación, pero en los campos petroleros del valle de Pánuco, se han podido observar horizontes productores de petróleo contenidos en ella. De las capas de San Felipe se pasa por gradaciones, a veces muy difíciles de apreciar, a una serie de pizarras arcillosas, grises o verdes, que contienen rara vez areniscas de estructura apizarrada fina, calizas y pizarras rojas; esta formación es la llamada pizarras de Méndez por aflorar cerca de la Estación de Méndez, al Oeste de Tampico; no se puede precisar su potencia, y en cuanto a su edad, Dall las ha referido al eoceno inferior. Por último, sobre las pizarras de Méndez se encuentra una serie de calizas, pizarras arcillosas impuras fosilíferas, algunas veces con conglomerados, que se han referido al oligoceno; tanto de esta formación como de las pizarras de Méndez, no se sabe que tengan hasta ahora importancia económica.

Las calizas de Tamasopo se encuentran bastante plegadas, en tanto que las formaciones que sobre ella descansan, se encuentran mucho menos plegadas, formando pliegues monoclinales, anticlinales y synclinales, por lo general no muy acentuados; es importante señalar, en estas regiones, la existencia de las condiciones esenciales para la acumulación del petróleo que he mencionado antes, pues la caliza porosa y cavernosa de Tamasopo, sirve de receptáculo petrolífero, el cual se encuentra cubierto por capas impermeables de arcilla, margas y pizarras arcillosas, de las series San Felipe y Méndez.

En el siguiente corte entre Micos y Taninul (Lámina IV) se pueden apreciar la estratigrafía y tectónica (según Cummins) de las capas sedimentarias

antes citadas y es interesante hacer notar en él, el levantamiento de las calizas de Tamasopo, en la Sierra del Abra, donde afloran de nuevo con estructura monoclinial y la presencia de dos importantes fallas F y F'.

Las intrusiones ígneas que atraviesan a las capas sedimentarias referidas, imprimen un carácter especial a ciertos tipos de yacimientos mexicanos de petróleo, dando lugar en sus aureolas de metamorfismo a zonas porosas que impregnadas después de petróleo han servido de receptáculos petrolíferos, como pasa en Furbero (1) (Lámina V, fig. 6) o bien estas intrusiones ígneas han obrado como diques, impidiendo el paso del petróleo de uno a otro lado de las rocas cortadas y obligándolo a seguir un camino ascendente por las zonas de contacto entre las rocas ígneas y sedimentarias al tener lugar la emigración del petróleo de que ya he hablado. Esta teoría para la acumulación del petróleo, concebida por el señor Ingeniero J. D. Villarello, ha sido designada por él, con el nombre de "teoría de las barreras subterráneas impermeables."

Los siguientes son tipos interesantes de yacimientos petrolíferos mexicanos. El representado en la figura 1 (Lámina V) es el de un cono basáltico, según Clapp, que atraviesa a las calizas de Tamasopo y a las capas que sobre ella descansan; las chapopoterías se encuentran precisamente en el contacto del cono con las rocas sedimentarias, y el petróleo se encuentra alojado en las capas alrededor del cono; la figura 2 representa un segundo modo de acumulación, según D. Hager, que se presenta con frecuencia en yacimientos mexicanos importantes de petróleo; este corte representa una falla, es decir, una fractura según el plano de la cual ha resbalado el block A, hacia abajo del B (falla normal), provocando

(1) The Furbero Oil Field, Mexico by E. Degolyer, Trans. of the Am. Inst. of Mining, Vol. LII, 1916, pág. 268.

una concentración de petróleo en el primer block, como si se tratara de un synclinal, y en el segundo como si fuera un anticlinal. Las figuras 3, 4 y 5 representan, de una manera esquemática, cuellos volcánicos que han atravesado las capas sedimentarias en casos distintos: en la figura 3 la intrusión volcánica no llegó a la superficie formando, por esto, una lacolita y en el de las figuras 4 y 5 la intrusión llegó a la superficie, dando origen a un cono volcánico, tal como el que se ve en la figura 1 (Lámina VI), que representa un cono volcánico de esta naturaleza en el campo de Tres Hermanos. El petróleo se ha acumulado en cada caso alrededor de dichos cuellos, pero de maneras diferentes, de tal suerte, que en el caso de la figura 3, un pozo profundo A, encuentra solamente huellas de petróleo, y en los dos de menos profundidad B C, se ha obtenido gran producción. En el segundo caso (Lámina V, figura 4) tiene lugar precisamente lo contrario; el pozo A poco profundo, se abandonó después de atravesar el basalto del cuello volcánico, y los B y C alcanzaron el horizonte petrolífero en excelentes condiciones, ya sea que el petróleo provenga de capas porosas impregnadas (Lámina V, fig. 4) de petróleo o de calizas cavernosas (Lámina V, fig. 5). Los tipos de criaderos mexicanos presentan aún mayor variedad, pero no me detendré más en ellos, por no alargar demasiado esta conferencia; solamente haré notar que en las zonas petroleras del Golfo se presentan con frecuencia los pozos productores localizados cerca de estos cuellos volcánicos o en ciertas gibosidades de las pizarras arcillosas, algunas de las cuales provienen de la presencia de lacolitas, como la que acabo de señalar. La primera explicación, relativa a este modo de acumulación, fué dada por el señor Ordóñez, quien dice lo siguiente (1):

(1) Véase: "Sobre algunos ejemplos probables de tubos de erupción," Mem. Soc. Alzate, tomo 22, 1905 y también: "A short note on the oil fields of Mexico." 1916.

"Supongo que durante la formación de los tubos y la venida de las masas de materia ígnea intrusiva, hubo cierta absorción de los materiales sedimentarios por la materia ígnea en fusión de las profundidades; también hubo la ruptura de las rocas sedimentarias cerca de la intrusión y finalmente se formó una aureola angosta alrededor del tapón, de material triturado o conglomerado producido por fricción, cuya zona sirve en muchos casos para la elevación del petróleo a la superficie, dando lugar a la formación de filtraciones de acumulación muy lenta, llamadas "chapopoteras." Buen número de "chapopoteras," cerca de las cuales se han hecho importantes descubrimientos, se encuentran al pie de los cuellos, entre las margas y la roca basáltica; otras exudaciones quedan en los flancos de los domos. En no pocos casos se han encontrado tortas de chapopote secas y duras con aceite viscoso en el centro, suave, como recientemente emanado, en el fondo de pequeños anfiteatros o espacios cercados en forma de herradura, o en general, en las cavidades formadas por líneas curvas de colinas volcánicas o de pequeñas sierras. Estos diferentes casos de localización de chapopoteras son muy favorables para la localización de los pozos cerca de ellas, como se ha comprobado por la experiencia (Cerro de la Pez, Chijol, Juan Casiano, Cerro Azul, etc.). Un número de pequeñas filtraciones se encuentran en medio de la llanura costera lejos de cualquier accidente topográfico saliente. Se observa frecuentemente entonces que el petróleo que exuda no viene directamente de debajo del lugar, como se ve desde la superficie, sino que ha corrido, algunas veces por una distancia considerable, sobre las margas entre éstas y el material arcilloso grueso que cubre aquella roca."

Me ocuparé ahora de los grandes pozos brotantes o "gushers" mexicanos y de los accidentes que han tenido lugar durante su aparición. Los grandes "gush-

ers" son: Cerro Azul número 4, Potrero del Llano número 4, Juan Casiano número 7 y Dos Bocas; mencionaré también, aunque son de menor importancia, a los pozos: de La Corona, Los Naranjos número 1, Alazán, Alamo y Tierra Amarilla.

El gran "gusher" de Cerro Azul (Lámina VI, fig. 2) declarado actualmente el más grande del mundo, brotó el 10 de febrero del presente año, en terrenos de la propiedad de la "Mexican Petroleum Company." Circunstancias singulares se presentaron al brotar este pozo: cuando se alcanzó la cubierta de rocas impermeables y fué perforada, el petróleo brotó con tal fuerza, que arrojó fuera la mayor parte de la tubería y herramienta, destruyendo la torre (Lámina VII, figuras 1 y 2) aumentando gradualmente la altura y potencia del chorro (Lámina VIII, fig. 1) hasta alcanzar, veinticuatro horas después, 600 pies de altura, según medidas precisas hechas por el Ingeniero Mr. Kunkel, de la Compañía. Fueron necesarios siete días para poder poner bajo control a este pozo y durante este lapso de tiempo, arrojó más de un millón de barriles de petróleo, marcando, una vez controlado, los aparatos registradores de la presión en la válvula, una presión de 1,050 libras por pulgada cuadrada. La figura 2, Lámina VIII, representa el pozo un momento antes de cerrar la esclusa de la boca; la figura 1, Lámina IX, la colocación de la válvula; la figura 2, Lámina IX, la válvula a medio cerrar provocando la esclusa una desviación del chorro de petróleo hacia la izquierda; la figura 1, Lámina X, representa la válvula enteramente abierta; la figura 2, Lámina X, el pozo ya bajo absoluto control. Según testigos presenciales el ruido de la salida del chorro de este pozo era ensordecedor, no se podía oír hablando a gritos y era maravilloso el espectáculo que presentaba en las noches de luna o a los rayos del sol durante el día. La producción de este pozo es actual-

mente de más de 260,000 barriles diarios (1); y las medidas hechas por Mr. Kunkel para su producción, durante cinco días, después de controlado, dieron los resultados siguientes:

Febrero 15.....	152,000	barriles	diarios.
,, 16.....	190,209	,,	,,
,, 17.....	211,008	,,	,,
,, 18.....	221,186	,,	,,
,, 19.....	260,858	,,	,,

El pozo número 4 de Potrero del Llano, se empezó a perforar el 9 de junio de 1910, brotando el 27 de diciembre del mismo año. A las dos de la mañana, cuando se había alcanzado una profundidad de 587 metros, el chorro alcanzó la altura de 50 metros con gran cantidad de gases, que le dieron la forma que se ve en la vista (2) de una V abierta (Lámina XI, figura 1). Se calcula que se perdieron cerca de dos millones de barriles desde que brotó el pozo hasta el 31 de marzo de 1911, fecha en que se logró controlar; el petróleo que brotó pasó al Arroyo de Buenavista, en donde fué quemado por la Compañía en gran parte; pero sin embargo, el petróleo escurrió hasta el río de Tuxpan, pasando a la laguna de Tampamachoto y al mar con gran perjuicio de la agricultura, la ganadería y la pesca (3) de esa región. Durante tres meses estuvo saliendo el petróleo hasta que al fin se logró captar. En enero de 1914 se registró en este pozo un nuevo accidente, por la ruptura del block de concreto con que se había cerrado su boca, ruptura que fué ocasionada por los gases que estaban ejerciendo una presión de 600 libras por pulgada cuadrada, comenzando otra vez a escaparse el petróleo a razón de 5,000 barriles diariamente, hasta agosto en que una descarga eléctrica provocó un incendio que revistió grandes pro-

(1) I. C. White, loc. cit.

(2) Fotografía tomada por el Sr. Ing. J. D. Villarejo el 10 de febrero de 1911.

(3) Boletín del Petróleo núm. 2, vol. I, Accidentes en los grandes pozos de petróleo, por el Ing. Julio Baz, pág. 135.

porciones y la fusión de los empaques de la tubería y válvulas, originando grandes escapes de petróleo y con ellos aumentando aún más las proporciones del incendio. Este incendio se trató de dominar empleando diversos procedimientos sin lograrlo, hasta que al fin se consiguió aislarlo, rodeándolo por bordos de tierra, logrando su completa extinción tras dura y penosa labor, por medio de láminas, piedras y rieles, que separaban el petróleo de los gases, y por medio de bombas centrífugas de tierra y vapor. Actualmente produce este pozo 110,000 barriles diarios, sin mostrar apariencia de decaimiento.

El 8 de septiembre de 1910, brotó el pozo número 7 de Juan Casiano, (Lámina XI, fig. 2), alcanzando el chorro de petróleo tres veces la altura de la torre (1); después de cerrar la válvula pasó algún tiempo sin accidente alguno, pero después se empezaron a abrir grietas en la tierra por las que empezaron a salir grandes cantidades de petróleo y gases, que obligaron a abrir la válvula en toda su capacidad, cesando desde ese momento de salir el petróleo por las grietas. Este pozo ha producido 44.000,000 de barriles y con la válvula enteramente abierta se han medido 60,000 barriles al día; actualmente la válvula no está completamente abierta y por esto su producción es solamente de 30,000 barriles.

En la Hacienda de San Diego del Mar, entre los esteros de Carbajal y Dos Bocas, brotó el gusher de este nombre el día 4 de julio de 1908, a la profundidad de 550 metros; al brotar el petróleo arrojó la mayor parte de la tubería del mismo pozo y los gases combustibles, que en enorme cantidad acompañaron la emisión del petróleo, gases que se pusieron en contacto con los fuegos de la caldera que servía para mover la maquinaria de la perforación, ocasionando el incendio más grande que ha tenido lugar en la región

y el cual duró 58 días, perdiéndose durante él, una enorme cantidad de petróleo que se ha estimado en 3.000,000 de barriles. Este incendio se extinguió por sí mismo al brotar gran cantidad de agua salada del citado pozo, en el cual se ha formado actualmente un hundido de cerca de 300 metros de radio, el cual aparece como una laguna de agua salada caliente, que brota aún acompañada de poco petróleo y gran cantidad de gas.

Diré ahora algunas palabras sobre los sistemas de perforación usados en México, y las profundidades máximas que se han alcanzado. Actualmente hay dos sistemas universalmente aceptados, para la perforación de pozos: uno es el llamado de *percusión* y el otro es el *rotatorio hidráulico*. En el primero la perforación se hace por medio de herramientas suspendidas a un cable, que por su caída libre y alternativa trituran las rocas, bastando el peso de ellas y el del cable para ejecutar esta operación; en el rotatorio hidráulico la perforación se hace por una varilla o un tubo rotatorio, que va de la boca del pozo a su fondo, en donde se aplica la herramienta que gira en la extremidad del tubo y que desgasta las formaciones atravesándolas como una broca; la roca molida forma lodo que se extrae al exterior, introduciendo agua a presión, que circula en el interior del tubo, de dentro para afuera. El sistema de percusión comprende los tipos conocidos con los nombres de Standard, Canadense, Californiano, Imperial, Krupp, etcétera, que aplican todos el mismo principio, y el rotatorio los tipos de Davis-Calyx, Diamante, etc. En México se emplean los dos sistemas; el rotatorio da muy buenos resultados para perforar rápidamente las pizarras arcillosas, en tanto que el de percusión, es muy eficaz para perforar las capas alternadas de calizas y pizarras arcillosas de la serie San Felipe, así como las calizas duras de Tamasopo, aun cuando es muy frecuente que se combinen estos dos sistemas du-

(1) Boletín del Petróleo núm. 2, vol. I. loc. cit.

rante la perforación de un pozo. Se han experimentado también los sistemas Fauck y Canadense, los cuales parece que no han presentado decididas ventajas, y sí inconvenientes por la reparación de esta maquinaria, y dificultad de conseguir piezas de refacción, por lo que se han tenido que abandonar.

La profundidad máxima que se ha alcanzado en los pozos de exploración ha sido 4,640 pies en el campo de Furbero, estando comprendida la profundidad de los pozos en la región Tampico-Tuxpan, entre 2,500 pies y 4,000 (pozo número 1 de San Pedro), pudiendo estimarse las profundidades más comunes entre 2,200 a 2,600. Los pozos de las regiones Tehuantepec y Tabasco-Chiapas son relativamente poco profundos. A propósito, y como nota interesante, diré que el pozo más profundo del mundo es el de Czuchow, en Silesia, llevado hasta una profundidad de 7,349 pies, habiendo comenzado su entubación con un diámetro de 17 pulgadas en la boca y habiendo terminado en su fondo, con dos pulgadas, siendo la temperatura registrada allí, de 83° C. El pozo más profundo de los Estados Unidos, está cerca de West Elizabeth, en Pennsylvania, y tiene 5,575 pies con un diámetro en su superficie de 10 pulgadas y en su fondo de 6", habiendo costado 40,000 dólares.

A tales profundidades se comprende lo laborioso que es entubar la perforación, lo que se hace necesario para impedir, cuando se atraviesan formaciones blandas, el derrumbe de sus paredes. Los tubos que se emplean son de fierro o acero y los diámetros varían entre 20", 17", 10", 8½", 6½", 4½" y 2"; en Bakou, en Rusia, se han llegado a usar, excepcionalmente, tubos de 36". El objeto principal del perforista es conservar la entubación del diámetro mayor hasta la mayor profundidad posible. La entubación es una de las operaciones más costosas en la perforación de un pozo, tropezándose a veces, durante su ejecución,

con grandes dificultades, cuando se atraviesan capas de agua, arenas sueltas, grandes cavidades naturales, etc., en cuyos casos se tiene que emplear tubos especialmente contruídos, para vencer las dificultades. Además de desempeñar la entubación el papel de ademe, impidiendo el derrumbe de las paredes de la perforación, sirve para que el petróleo ascienda a la superficie por ella, constituyendo entonces un conducto impermeable, el cual, cerrado en su parte superior, por medio de una válvula, permita gobernar la salida del petróleo como se quiera.

Para hacer aún más impermeable este conducto, es necesario efectuar la operación llamada cementación. En efecto, esta operación es indispensable para asegurar el perfecto control del pozo, pues las grandes presiones a las que se encuentra confinado el petróleo en sus yacimientos, hacen que por falta de unión absoluta entre el revestimiento metálico y la roca del fondo del pozo, el petróleo salga, no sólo por el interior de la entubación, sino también entre ésta y las paredes de la perforación, y si en estas condiciones se cierra la válvula, la cantidad de petróleo que sale entre éste y la roca, aumenta considerablemente y pone en peligro al pozo por derrumbe. En los campos mexicanos, se han dado varios casos como lo hemos visto ya, en que por imprevisión empiecen a brotar alrededor de la boca del pozo, gases y petróleo en gran cantidad, originando desperdicios y los incendios a que me he referido. Otras veces el petróleo al circular entre la entubación y la roca ha deslavado ésta, aumentando considerablemente el diámetro de la perforación y creando dificultades muy serias para el control del pozo. Para la cementación se puede emplear un cemento cualquiera de buena calidad y el procedimiento que da mejores resultados es el de emplear dos tapones de cementar y verter o bombear la mezcla del cemento, dentro del revestimiento forzán-

dola después a penetrar de abajo hacia arriba, por fuera del revestimiento, bajo la presión de una bomba poderosa.

Toda la entubación se encuentra además, en la superficie, asegurada en los grandes pozos por un anclaje especial que se construye en la boca del pozo y que tiene la forma de una ancla invertida con una cruz que se fija en el block de concreto, que por lo común es necesario construir en la boca de los grandes pozos.

Las torres que se usan para el sostenimiento, durante la perforación, de las poleas por las cuales pasa el cable, pueden ser de madera o metal; las metálicas son ventajosas porque son muy ligeras y duraderas y se prestan más a su transporte por mar, desarmadas; en Australia se emplean únicamente las de acero a causa de que una especie de hormigas blancas se comen todos los artículos de madera; en Chile y el Perú se usan también metálicas a causa de la excesiva sequedad atmosférica. En México se emplean hasta hoy, solamente las de madera por la abundancia de maderas de excelente calidad en los campos petroleros y porque no existen en ellos los inconvenientes señalados.

Para conducir el petróleo se hace uso de los oleoductos, que son tuberías que lo conducen desde el pozo hasta los lugares de distribución: embarque, refiné-rias, tanques, etc., siendo éste el medio más económico de transporte para el caso del petróleo, el cual es necesario inyectar en ellos con bombas poderosas, como la que representa la siguiente vista (Lámina XII,) que es la estación de bombas de "Horconcitos." La capacidad de un oleoducto debe ser igual a la producción media del campo cuyo petróleo va a conducir y para el cálculo de esta capacidad se emplean diversas fórmulas, fundadas en las leyes que rige el escurrimiento del petróleo en las tuberías de fierro, para la aplicación de cuyas fórmulas es necesario conocer los datos de

viscosidad absoluta del petróleo y además, el perfil de fuerza para el oleoducto, es decir, el perfil que representa la carga estática, perfil que está en relación, como es natural, con el perfil del terreno. Con estos datos se puede calcular la potencia de las bombas, cuyas estaciones deben distribuirse a lo largo de un oleoducto; para la localización hay que hacer un trazo igual al de una vía de ferrocarril. Bowie (1); que se ha ocupado especialmente de esta cuestión, recuerda el proverbio de que "ninguna cadena es más fuerte que el más débil de sus eslabones," y lo aplica diciendo que si en nueve estaciones de bombas tiene una capacidad de 30,000 barriles diarios y en la décima únicamente de 25,000 barriles, todo el oleoducto no tendrá más que una capacidad de 25,000 barriles, cualquiera que sea el tiempo y el dinero gastados, mientras no se haya reforzado la décima estación. En México los oleoductos establecidos suman ya más de 630 kilómetros, algunos de los cuales alcanzan ya longitudes muy considerables, tales como el de la "Huasteca Petroleum Co.," de Juan Casiano a Tampico, de 8" de diámetro y 106 kilómetros de desarrollo; el de Furbero a la Barra de Tuxpan, de la "Oil Field of México" de 6" y de 90 kilómetros; el de San Diego a Chijol, de la Compañía Mexicana de "El Aguila," de 8" también y de 83.7 kilómetros de longitud; hay, además, varios con desarrollo de 52, 37, 33, 19, 15 y 11 kilómetros y son numerosos los ramales de 8 a 2 kilómetros de longitud y con diámetro de 8" a 6".

Para almacenar el petróleo se usan tanques que pueden ser de acero, madera o concreto y presas de tierra. Los tanques que hay actualmente en nuestros campos petroleros son 373, en su mayoría de acero, y hay 62 presas de tierra con capacidad total para almacenar más de 3,500,000 metros cúbicos de petróleo.

(1) "Engineering News" núm. 23.—Dic. 1915.

En Tankville (Lámina XIII, fig. 1) al Sur de Tampico, la "Huasteca Petroleum Co.," tiene 61 tanques de una capacidad de 55,000 barriles cada uno; en Terminal (Lámina XIII, fig. 2) 38 de la misma capacidad y en San Jerónimo 12, también de 55,000 barriles cada uno. Las presas de tierra llegan a ser de capacidades muy considerables y citaré entre ellas a la que la "Freeport and Mexican Fuel Oil Corporation" tiene en Zurita de 57,240 metros cúbicos de capacidad.

De los tanques o directamente de los oleoductos toman el petróleo que se exporta, los barcos-tanques de las diferentes compañías, los cuales forman ya una flotilla de cerca de 250 toneladas de capacidad. El barco-tanque es el vehículo construido *ad hoc* para el transporte por mar del petróleo y en la construcción de sus cisternas se toman precauciones para impedir que los gases que se desprenden del petróleo puedan ponerse en contacto con el fuego de la caldera y además se tiene en cuenta para los receptáculos que contienen el petróleo, la expansión y contracción de éste y los movimientos del petróleo dentro de ellas, durante la navegación, de tal manera que automáticamente se conserven siempre bien. La figura 1, Lámina XIV, es una fotografía del "Russian Prince" en La Terminal cargando petróleo, operación en la que se emplearon 5 horas y media para 35,000 barriles y la figura 2, Lámina XIV, se ve la Estación de "Llenaderos" con los carros-tanques de nuestros ferrocarriles.

Para obtener los diferentes subproductos que se emplean en la industria, derivados del petróleo, hay necesidad de refinar el petróleo crudo en plantas especiales de reducción o refinación. Los procedimientos de refinación comprenden operaciones de decantación, filtración y destilación fraccionada, según la naturaleza del petróleo por tratar y productos que de él se pretendan extraer, consti-

tuyendo los de destilación la refinación propiamente dicha. Hay además, el procedimiento conocido con el nombre de *destilación destructora o desintegrante*, que consiste en destilar los petróleos crudos a una temperatura más elevada que la temperatura normal de ebullición de los constituyentes que se desean descomponer, siendo el resultado de esta destilación, que los aceites pesados sufran una destrucción molecular; esta destrucción se efectúa en los destilados que se forman al comenzar la operación y que caen de nuevo, después de condensados, al contenido del alambique, formando al descomponerse, nuevos compuestos; este procedimiento hace tiempo que se aplica al petróleo crudo, porque con su empleo se puede obtener mayor proporción de aceites iluminantes y de aceites que tienen un punto de ebullición más bajo que los obtenidos por destilación simple, puesto que en esta última un gran por ciento de petróleo puede quedar bajo la forma de aceites pesados o de parafina.

México cuenta con refinerías en Minatitlán, en Tampico, en El Ebano y en Veracruz. La más importante es la de Minatitlán, que pertenece a la Compañía de Petróleo "El Aguila;" las de Tampico y Ebano a la Huasteca Petroleum Co. y Mexican Petroleum Co. y la de Veracruz, que es de corta capacidad, a la Water Pierce Company. En la refinería de Minatitlán se refina casi exclusivamente el petróleo crudo del pozo del Potrero del Llano, aunque se tratan algunas cortas cantidades de petróleo de Furbero y Tecuanapa. El petróleo se destila, después de pasar por una serie de precalentadores (1) en un sistema de alambiques continuos marca Nobel Hermanos de Bakou, obteniendo como residuo alquitrán y como destilados nafta cruda, kerosena cruda, gas-oil y aceites parafino-

(1) Véase la descripción de esta Refinería hecha por el Ing. Germán García Lozano, en el Boletín del Petróleo, vol. I, núm. III.

Los destilados se tratan después en agitadores y de nuevo en alambiques para obtener kerosena refinada y gasolina; el alquitrán se trata en una planta especial de asfalto para obtener petróleo combustible, lubricantes, parafina elaborada y asfalto. La capacidad de esta refinería es de 13,000 barriles diarios y se obtiene en ella varias clases de gasolina, parafina, gas-oil, petróleo combustible y más de 25 clases de aceites lubricantes. Las refinerías con que cuenta México, actualmente no son suficientes para elaborar las grandes cantidades de petróleo que produce y por esta circunstancia se exporta mucho de su petróleo crudo, para su refinación en el extranjero.

En los primeros tiempos la humanidad utilizó, aunque de una manera primitiva, las propiedades iluminantes y caloríficas del petróleo, así como algunas de sus cualidades medicinales. Hoy se han multiplicado sus usos a tal grado que sería tarea larga enumerarlos siquiera; citaré únicamente los principales. El uso más importante y general del petróleo es, en la actualidad, su empleo como combustible en lugar del carbón, en las calderas de las locomotoras, de las máquinas de la marina y en otras muchas especies de máquinas y en estos momentos, especialmente en la marina de guerra; el asfalto y los residuos del petróleo refinado, se emplean en pavimentos y para mejorar los caminos carreteros emparejándolos y haciéndolos poco polvosos. En México se empleó con éxito el petróleo crudo para extinguir la plaga de mosquitos que invadió a esta capital a mediados del año de 1901, poniendo petróleo en el agua de los canales, zanjas, charcos, etc., y es curioso hacer notar que las larvas del mosco mueren por asfixia, pues la capa de petróleo que sobrenada en el agua constituye una capa aisladora de la atmósfera, que impide la fijación de la larva en la superficie del agua y su respiración.

Los subproductos ligeros obtenidos por

la destilación del petróleo crudo, se emplean como aceites iluminantes (kerosena, gas-oil, gasolina, etc.); los menos ligeros para aceites lubricantes (aceite negro, aceite dorado, diamante, blanco, lana, etc.); y de los productos pesados se obtiene la parafina y el asfalto. Otros productos del petróleo constituyen una fuente de fuerza, empleadas en motores especiales: motores de gas, de gasolina, etcétera, para mover malacates en las minas, automóviles, molinos, motores de fábricas, etc. El petróleo quemado en estufas a propósito, sirve para usos domésticos, (para cocinar, calefacción, etc.). La medicina emplea como un vehículo para la aplicación externa de los agentes curativos, sobre todo, cuando se trata de obtener una acción local, más que la absorción, a la vaselina, grasa extraída del petróleo de superioridad indiscutible a otras grasas de origen animal, usadas con tal objeto; la metalurgia emplea también la vaselina para proteger de la oxidación a los metales. El producto volátil obtenido del petróleo llamado *rhigolina* (1) se emplea en medicina como anestésico por el frío que produce; y por último, la farmacia utiliza el ictyol (ictyo-sulfonato de amonio) obtenido por la acción del ácido sulfúrico sobre el aceite mineral, aplicándose este medicamento para los casos crónicos de eczema, soriasis y otras enfermedades cutáneas.

Las ventajas que presenta el petróleo empleado como combustible, sobre el carbón, son numerosas, pues es de un poder calorífico superior y por consiguiente más eficaz; ocupa poco espacio y es poco pesado, es mucho más limpio en su manejo, no produce hollín y casi ningún humo, presentando por último, grandes facilidades en su transporte, almacena-

(1) La rhigolina es la fracción líquida más volátil que se obtiene al refinar un petróleo crudo; consiste en gran parte de pentana $C_5 H_{12}$; su punto de ebullición es de $18^\circ C.$ y su peso específico es de 0.620 y es extremadamente volátil, propiedad que permite usarla como anestésico.

miento y aprovisionamiento en alta mar; todas estas ventajas hacen que se prefiera hoy al petróleo como combustible sobre todo como ya se ha dicho, en la marina de guerra.

La circunstancia de poderse emplear el petróleo mexicano tal como sale del pozo, unida a las ventajas que acabo de señalar, generales al petróleo y además su bajo precio relativo en el mercado mundial, hacen del petróleo mexicano un combustible que no es exagerado calificar de ideal. Esto hace que un 60% del petróleo mexicano sea exportado a los Estados Unidos del Norte, donde se emplea principalmente como combustible, que gran parte del resto se exporte a las Américas Central y del Sur y a Europa, con el mismo objeto, y que una corta cantidad se quede en México para usos locales o para su refinación. Las determinaciones hechas en el Instituto Geológico por medio de la bomba calorimétrica de Mahler, para el poder calorífico de algunos petróleos de las regiones Tampico-Tuxpan y Tehuantepec, han dado cifras comprendidas entre 10,100 y 10,465 calorías, cifras muy superiores a las que corresponden a los poderes caloríficos de nuestros mejores carbones de Coahuila, que están comprendidos entre 6,100 y 6,350 calorías, lo que da una superioridad próximamente de un 40% al petróleo crudo sobre el carbón, empleado como combustible.

La breve exposición que acabo de hacer sobre las condiciones en que se encuentra el petróleo en México, deja la impresión aun en el ánimo menos optimista, de la asombrosa posibilidad de producción de nuestro país y puede asegurarse, que el petróleo mexicano está llamado a predominar en el mercado mundial o cuando menos en el de América, por un largo período de tiempo, puesto que ya son muy numerosas las localidades donde se ha comprobado la existen-

cia de yacimientos de petróleo y que algunos de éstos se han revelado enormes, en cuanto a su capacidad. Pero debemos pensar en que, por grande que sea esta capacidad, los criaderos de petróleo son agotables en un período de tiempo relativamente corto, que su vida, geológicamente hablando, se califica de efímera y por último que nueve décimas partes de nuestra producción de petróleo se exporta, dejando al país un beneficio mínimo. Tócale, pues, al Gobierno actual, preocuparse por la mejor utilización de esta riqueza nacional, dictando leyes sabias y justas que protejan el completo desarrollo de la industria petrolera y procurando el mayor consumo del petróleo en el país, facilitando para esto su transporte por medio de oleoductos de uso público y la multiplicación de refinerías que elaboren los productos derivados del petróleo crudo. Ya la Secretaría de Fomento, por medio de su Departamento de Minas y Petróleo, se ocupa de la reglamentación de este importante ramo de la industria nacional y proyecta la perforación de pozos, para proveer del precioso combustible a nuestros ferrocarriles nacionales; y el Instituto Geológico por su parte, estará muy pronto en aptitud de emprender exploraciones sistemadas en diversas regiones del país, en busca de nuevos yacimientos y el desarrollo, por consiguiente, de nuevas campos petroleros y de estudiar la física y la química de los petróleos mexicanos, en su nuevo departamento, creado exclusivamente para este objeto.

Nosotros, como mexicanos, debemos contribuir a esta difícil pero fructuosa tarea del Gobierno, con nuestra labor personal, para realizar así armónicamente una suprema aspiración nacional: la independencia económica de México y con ella el engrandecimiento de la Patria.

México, noviembre 15 de 1916.



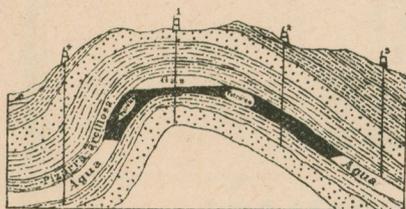


Fig. 1

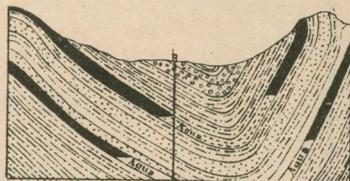


Fig. 2

PLIEGUES MOSTRANDO
DIVERSAS MANERAS
DE
ACUMULACION DEL PETROLEO
(SEGUN D. HAGER)

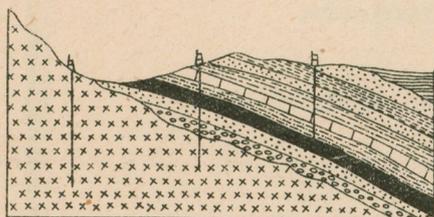


Fig. 3

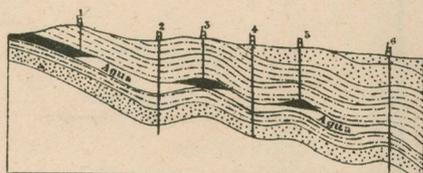


Fig. 4

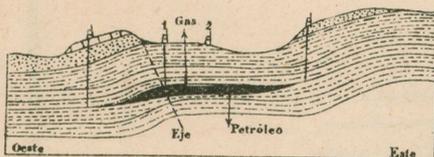


Fig. 5

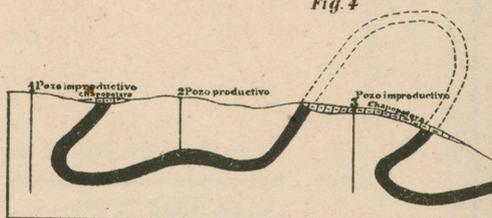


Fig. 6

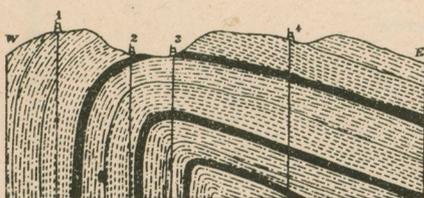


Fig. 7

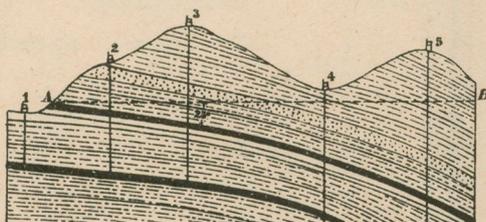
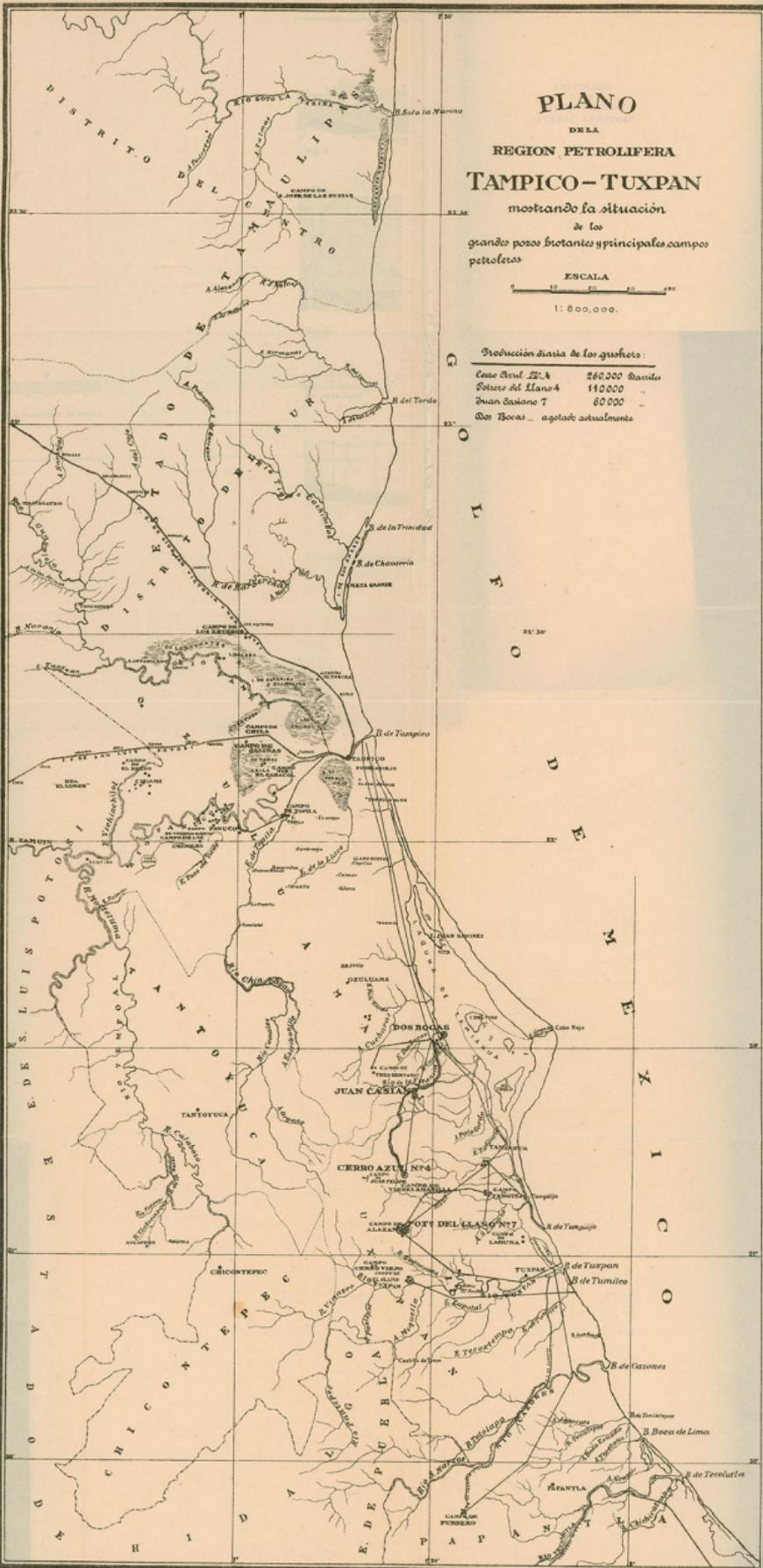


Fig. 8.

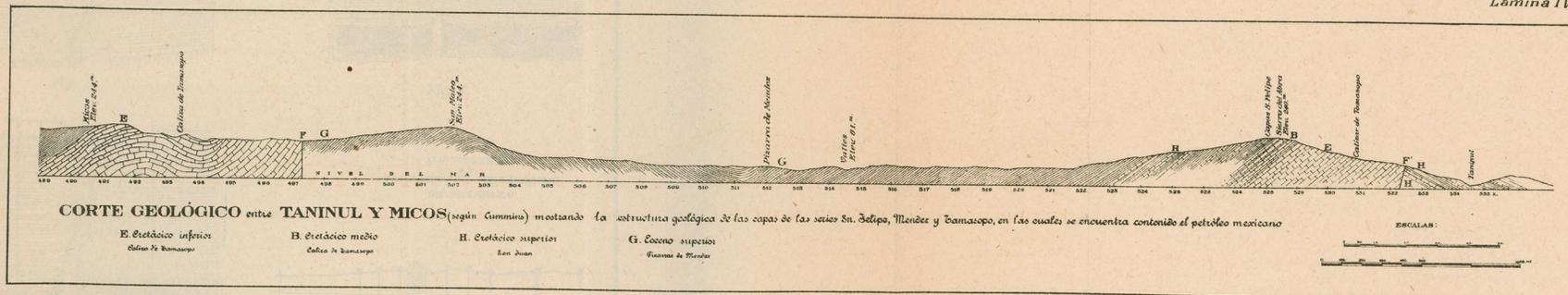


PLANO
DE LA
REGION PETROLIFERA
TAMPICO-TUXPAN
mostrando la situación
de los
grandes pozos biotantes y principales campos
petroliferos

ESCALA
1: 800,000.

Producción diaria de los yacimientos:

Caso Civil 24	250,000 barriles
Soteros del Llano 4	110,000
Juan Casiano 7	60,000
Dos Bocas	agotado actualmente



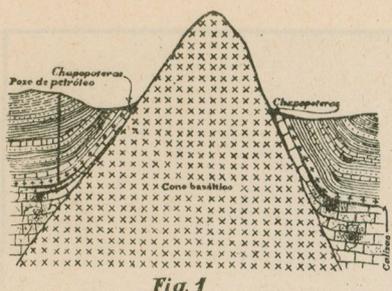


Fig. 1

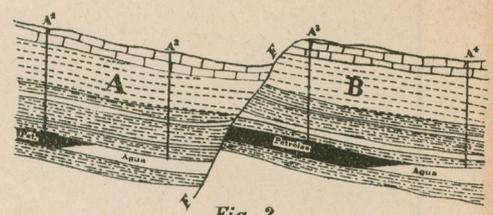


Fig. 2

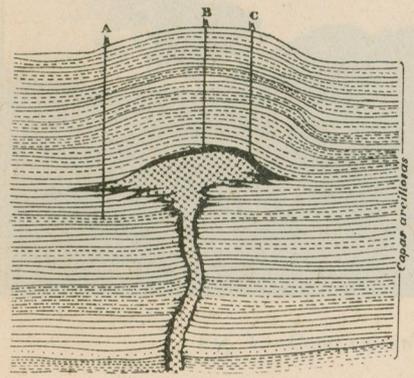


Fig. 3.

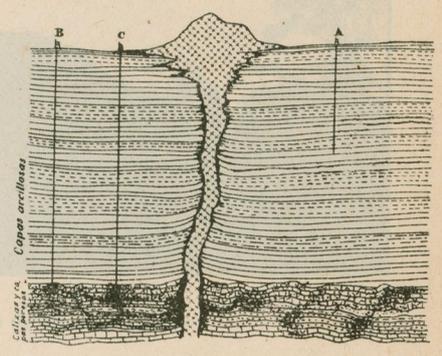


Fig. 4

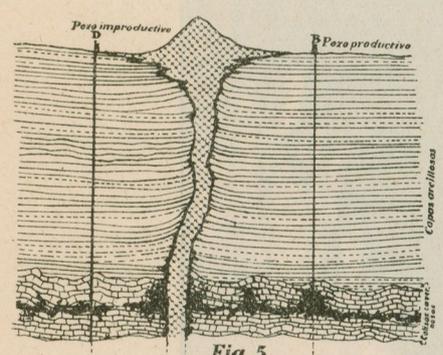


Fig. 5.



Fig. 5

(Proyección horizontal)

ALGUNOS TIPOS
DE
YACIMIENTOS MEXICANOS
DE PETROLEO

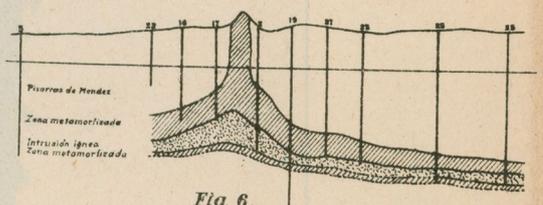
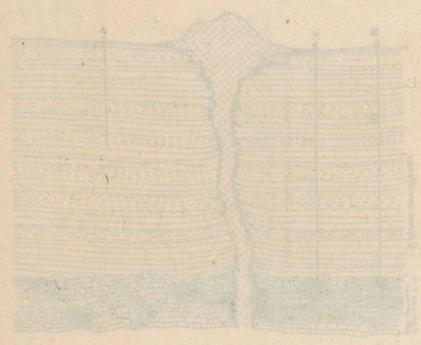
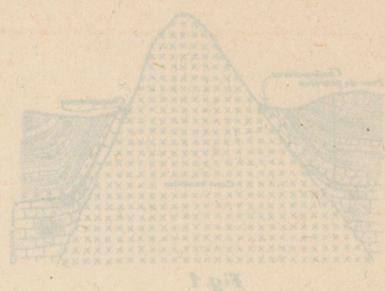
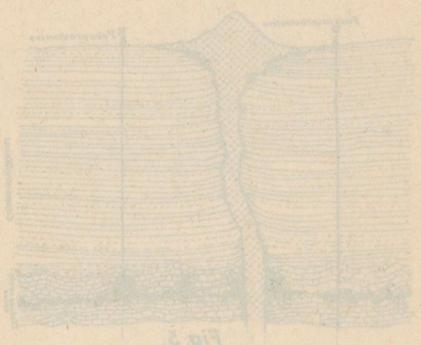
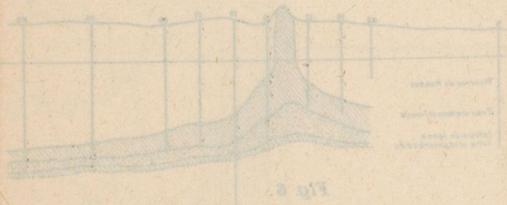


Fig. 6.



ALGUNOS TIPOS
DE YACIMIENTOS
MEXICANOS



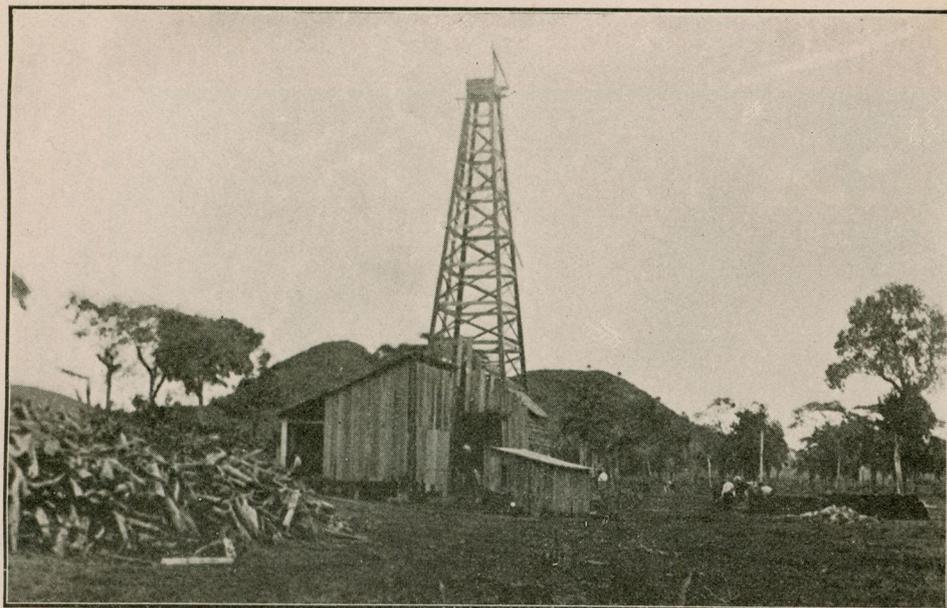


Fig. 1.—Cono volcánico en el Campo de Tres Hermanos.

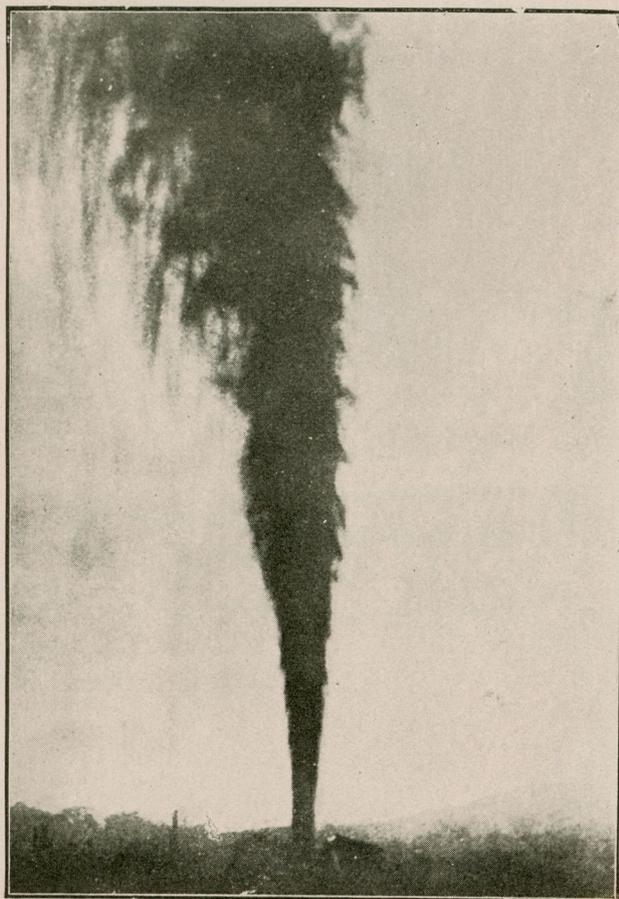
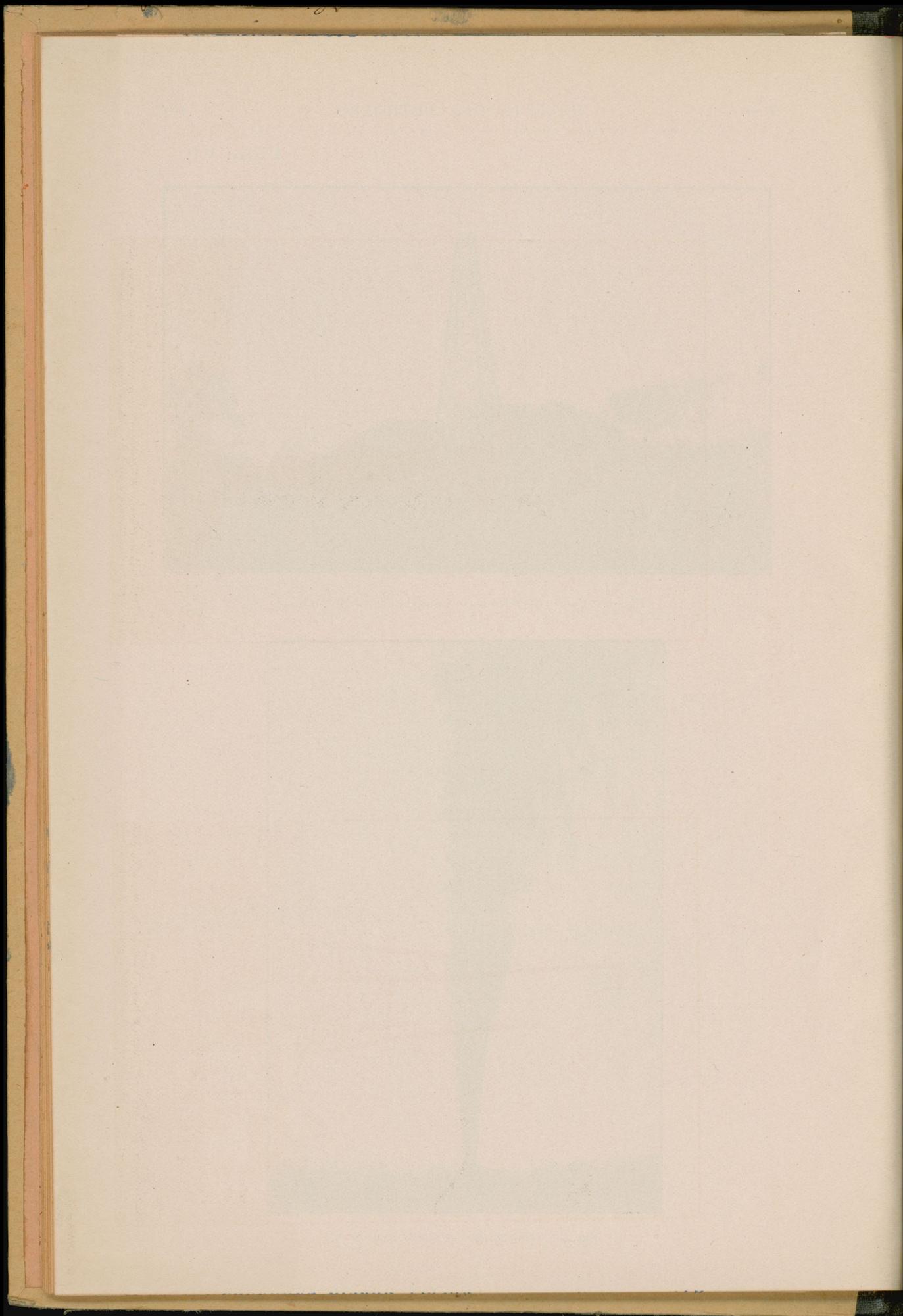


Fig. 2.—Gran gusher de Cerro Azul N° 4.



Lám. VII.

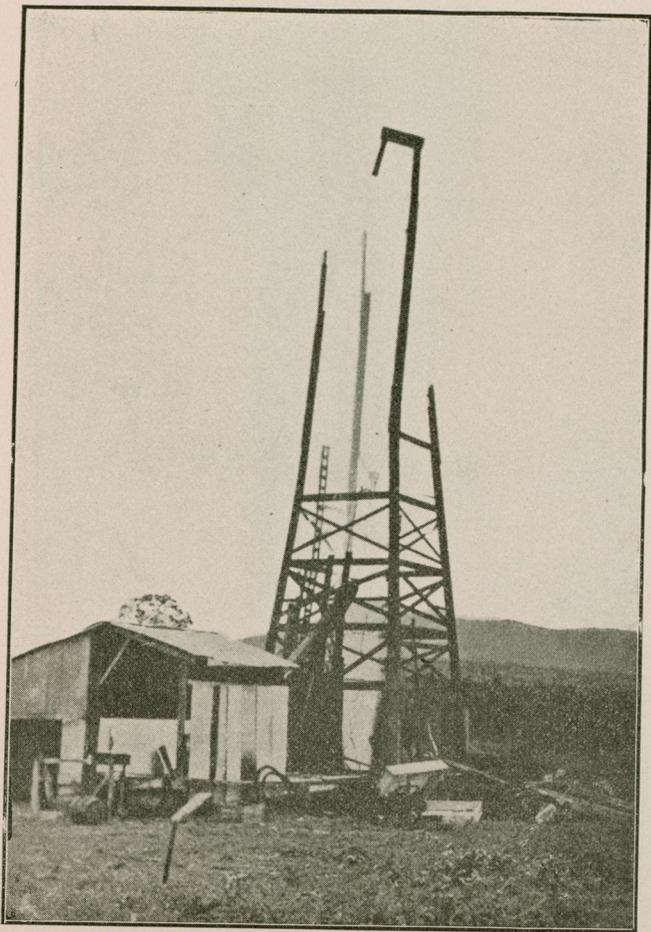


Fig. 1.

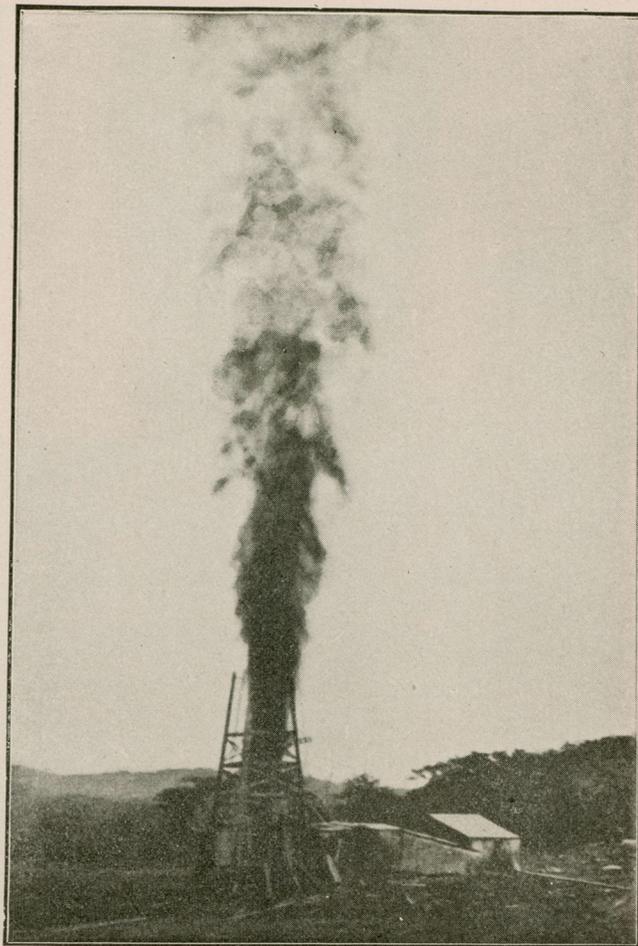
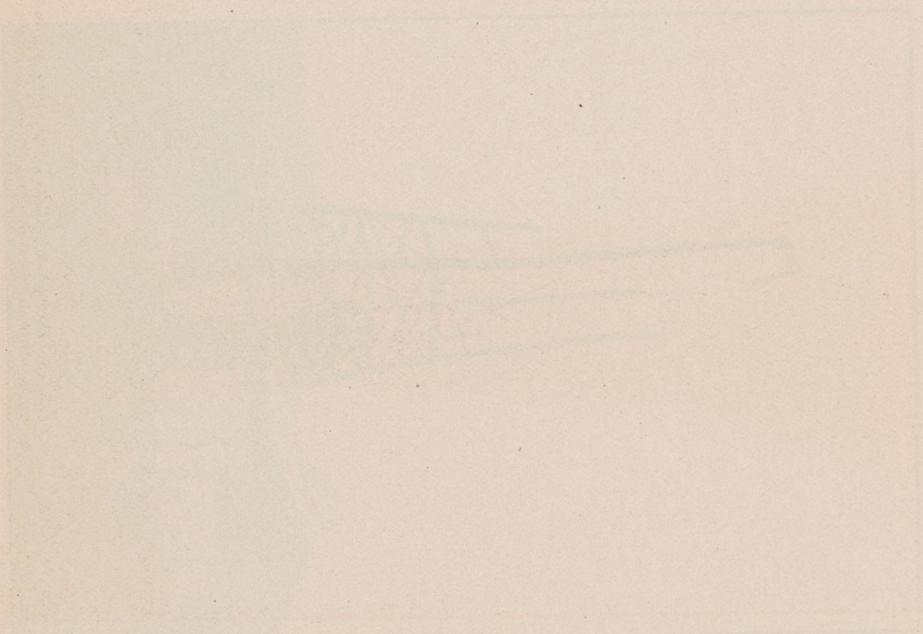


Fig. 2.

Torre del Pozo de Cerro Azul N° 4, destruída por la fuerza del chorro de este gusher.



Lám. VIII.

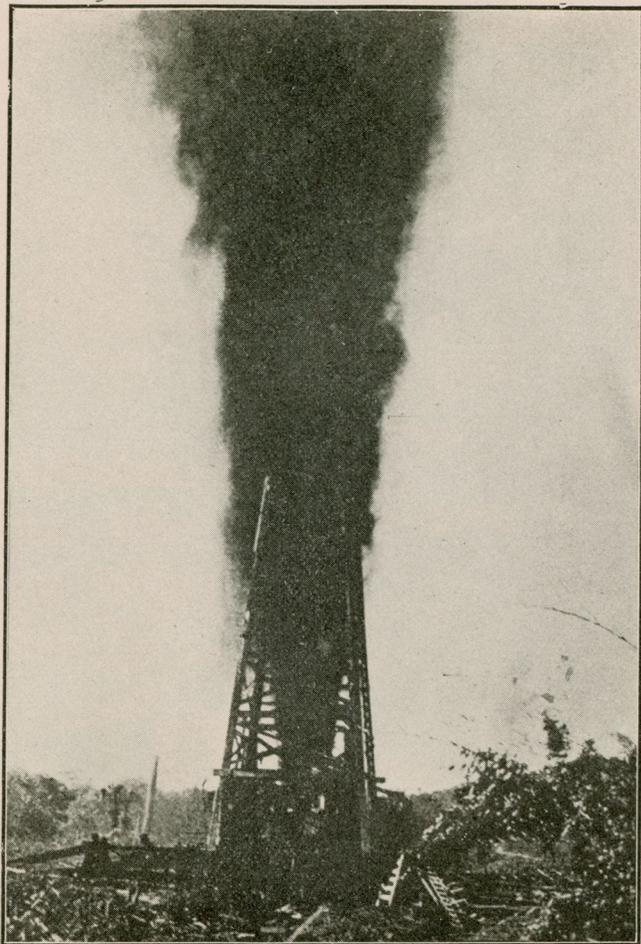


Fig. 1.—Aumento del chorro de petróleo en el gran gusher de Cerro Azul N° 4.

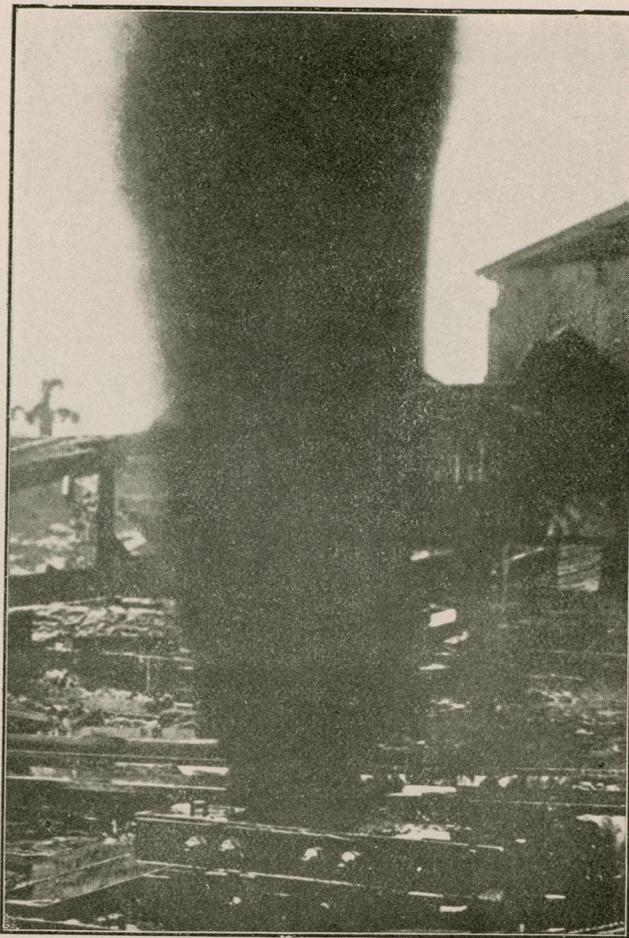
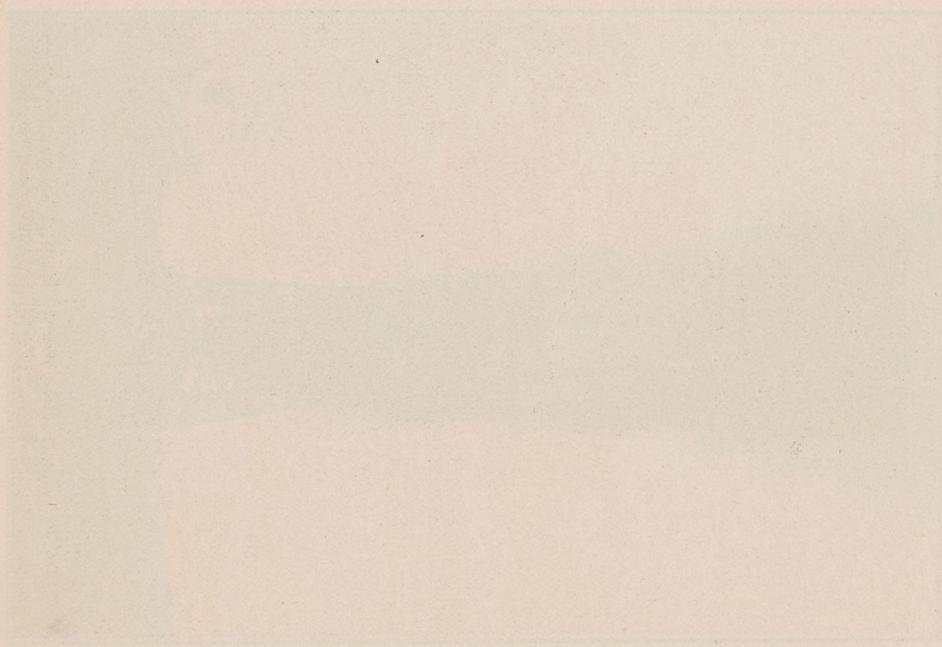
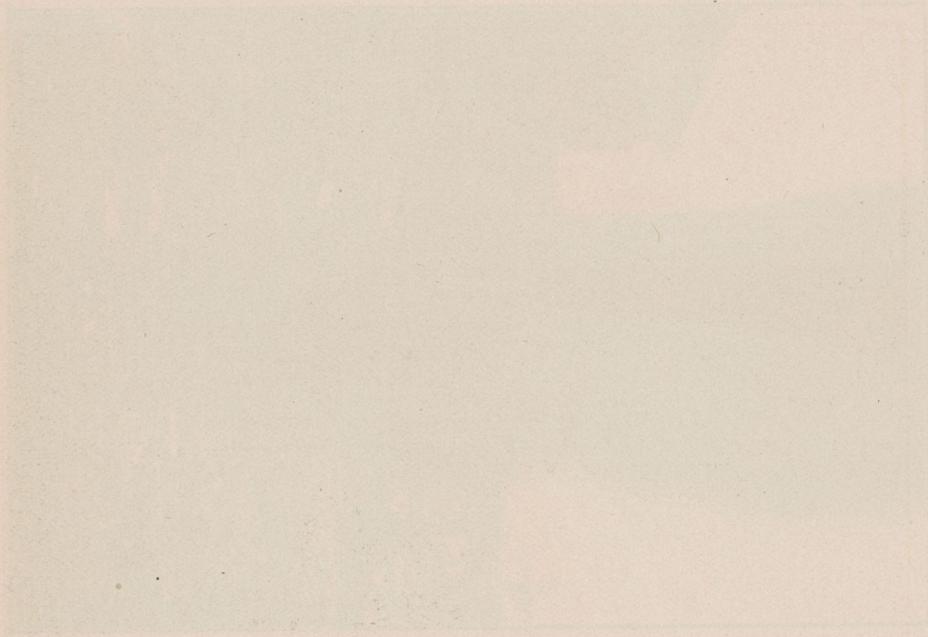


Fig. 2.—Chorro del gusher de Cerro Azul, un momento antes de cerrar la válvula.



THE UNIVERSITY OF CHICAGO
LIBRARY



Fig. 1.—Colocación de la válvula en la boca del Pozo Cerro Azul N° 4.

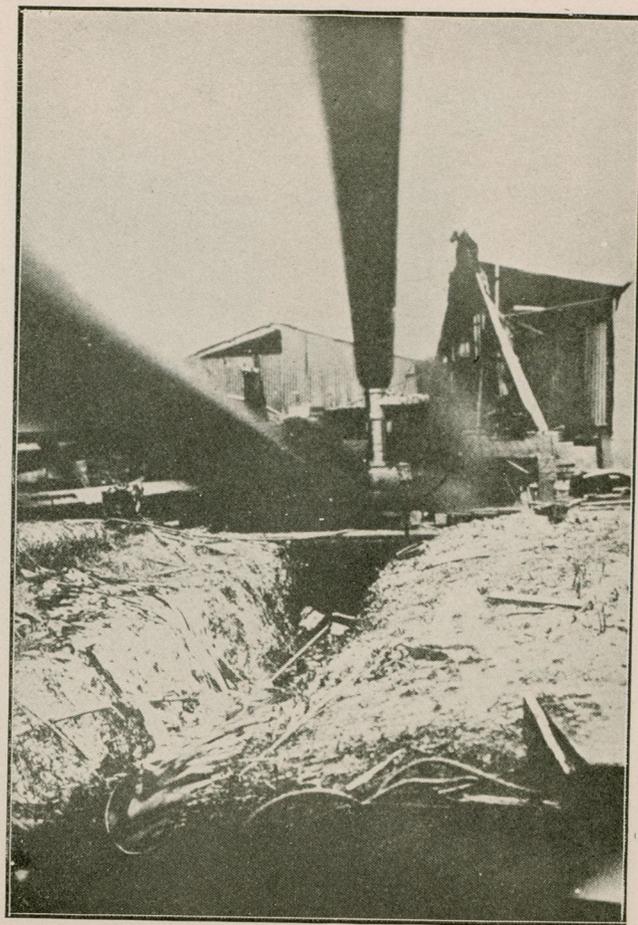
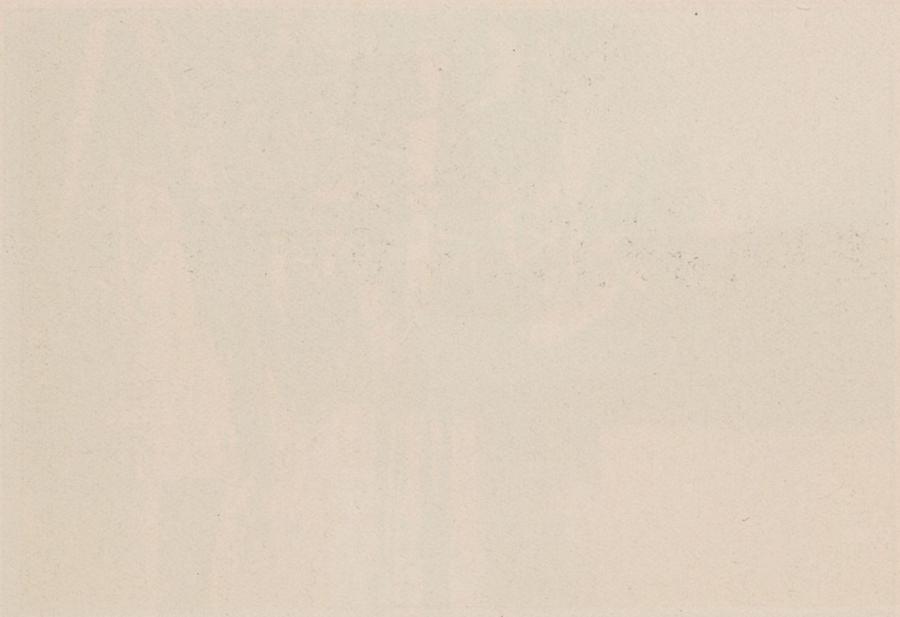
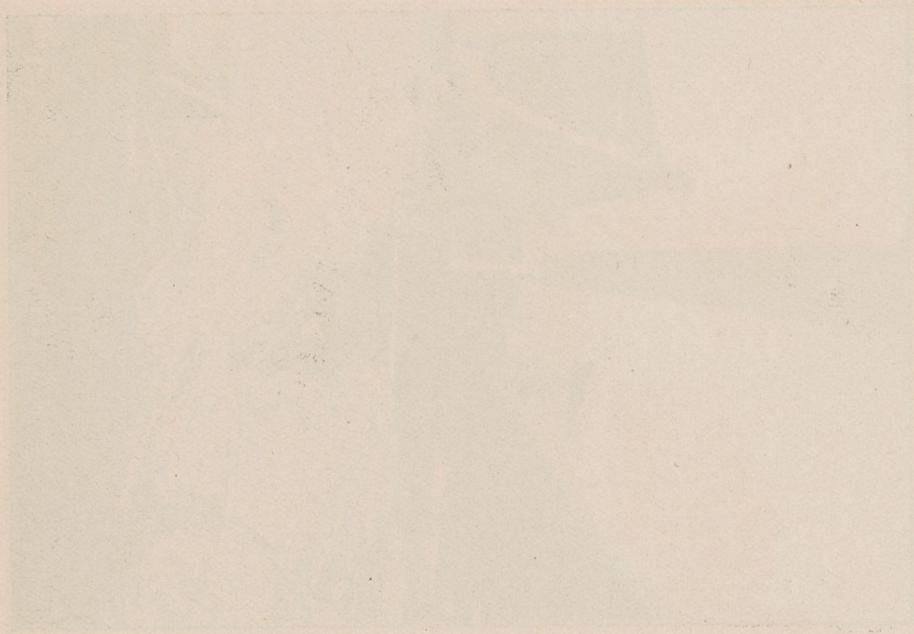


Fig. 2.—Válvula a medio cerrar en la boca del Pozo Cerro Azul N° 4.



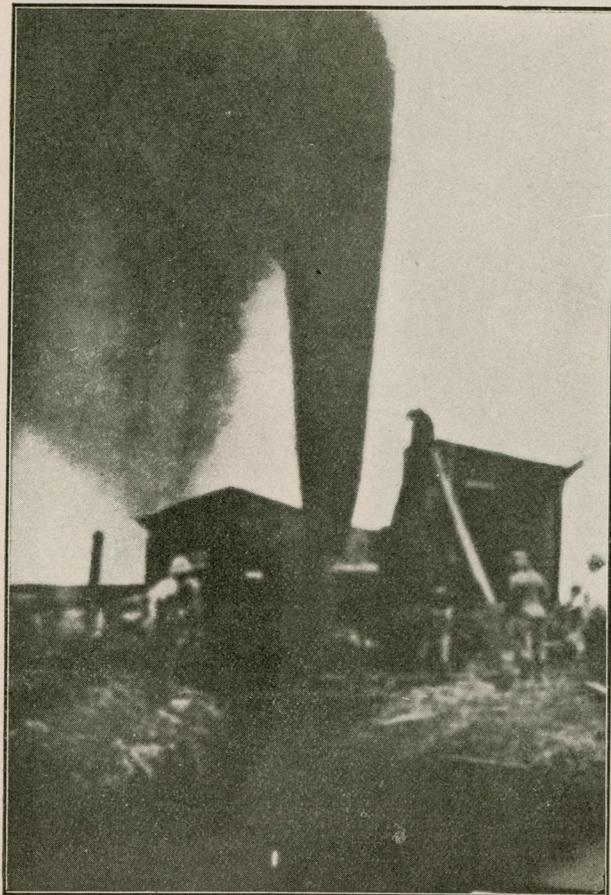


Fig. 1.—Válvula en la boca del Pozo de Cerro Azul N° 4, enteramente abierta.

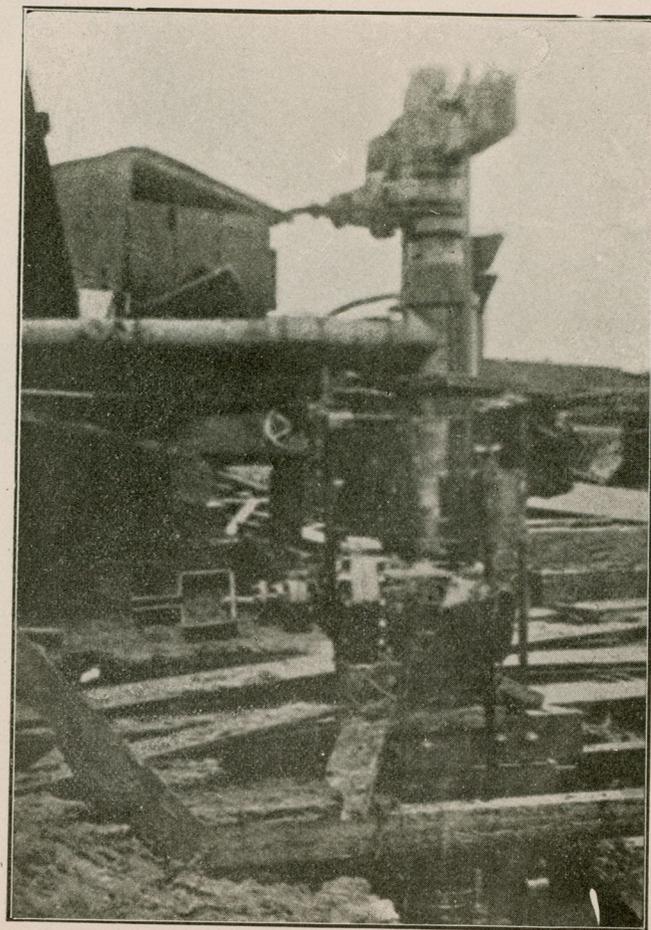
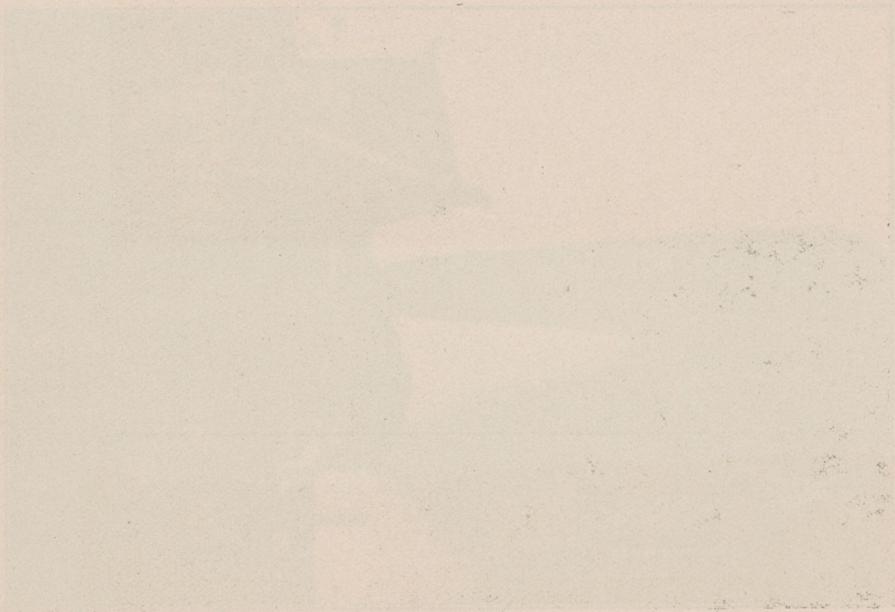
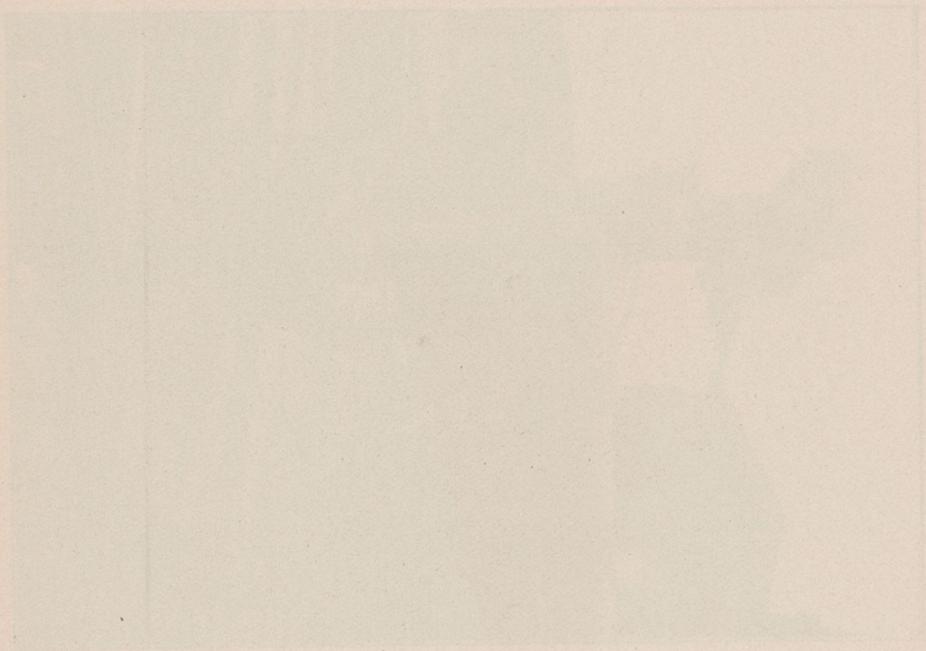


Fig. 2.—Pozo de Cerro Azul N° 4 bajo absoluto control.



UNIVERSITY OF TORONTO

Lám. XI

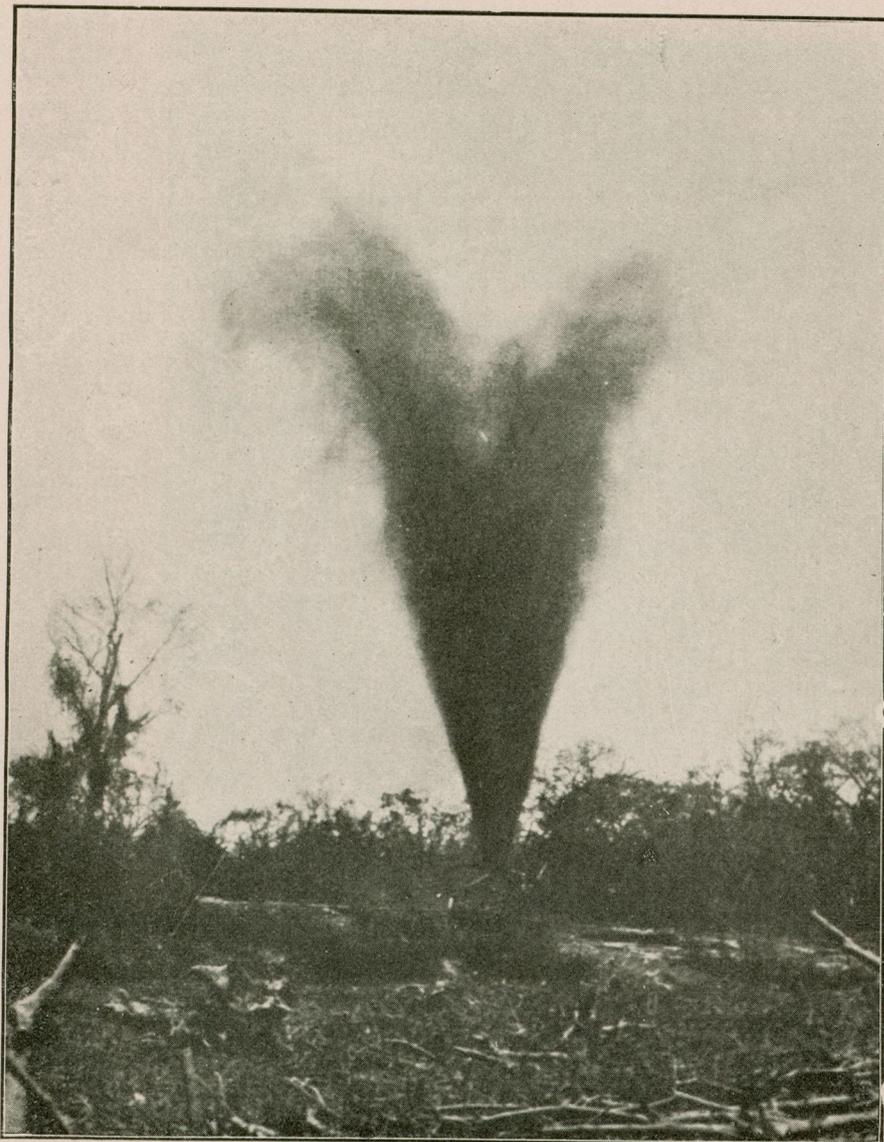


Fig. 1.—Gusher Potrero del Llano N° 4.

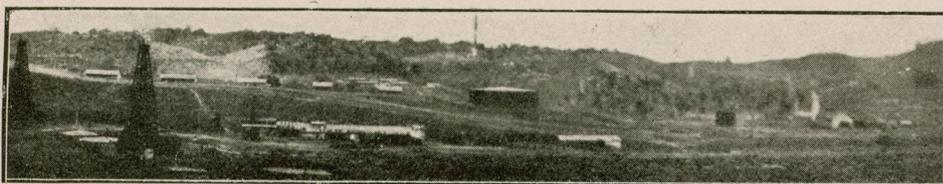
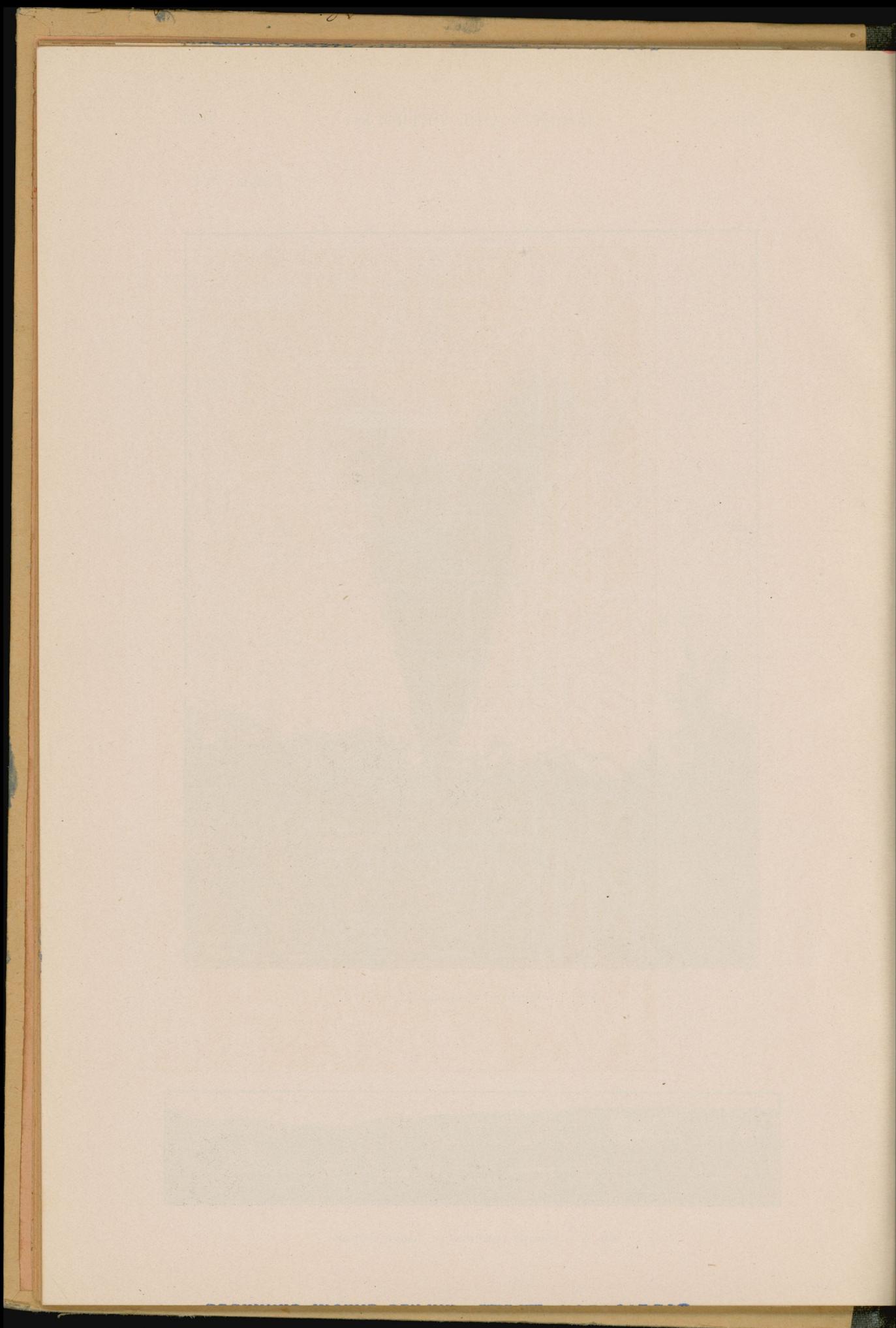
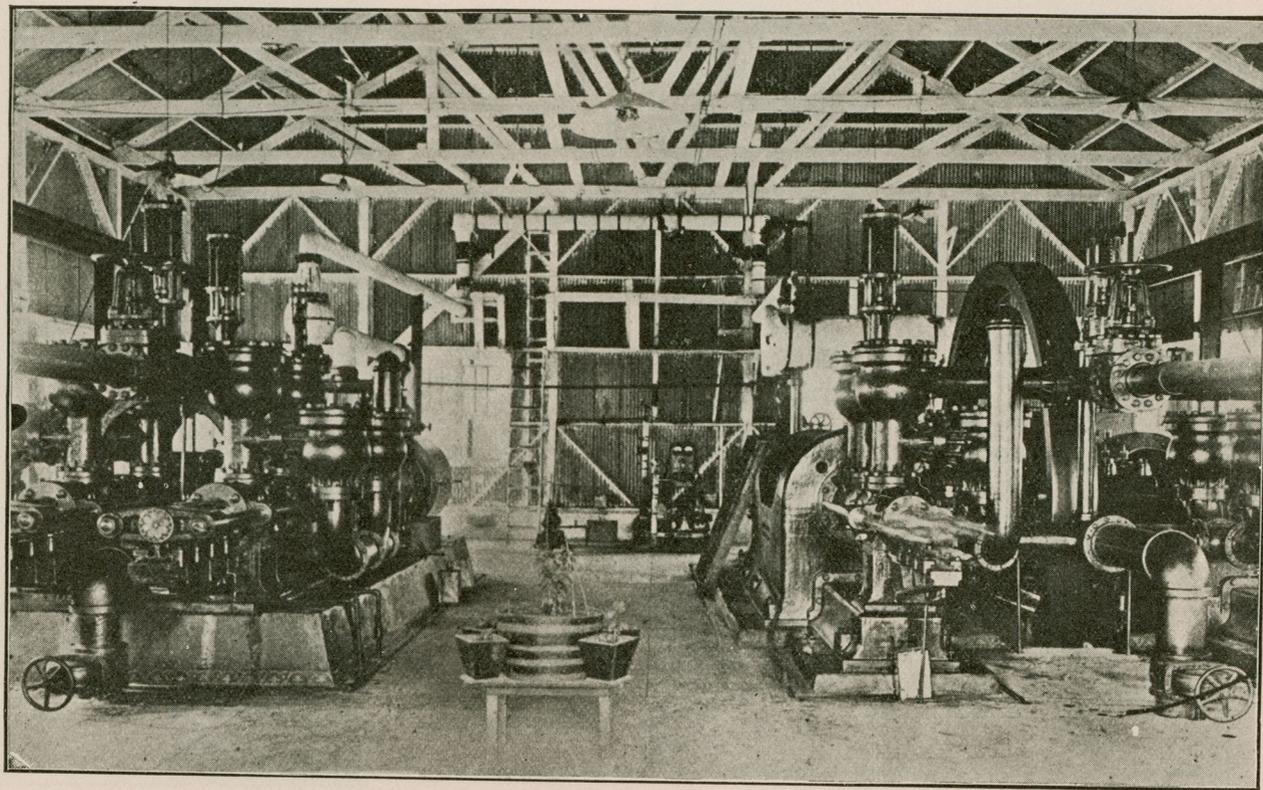


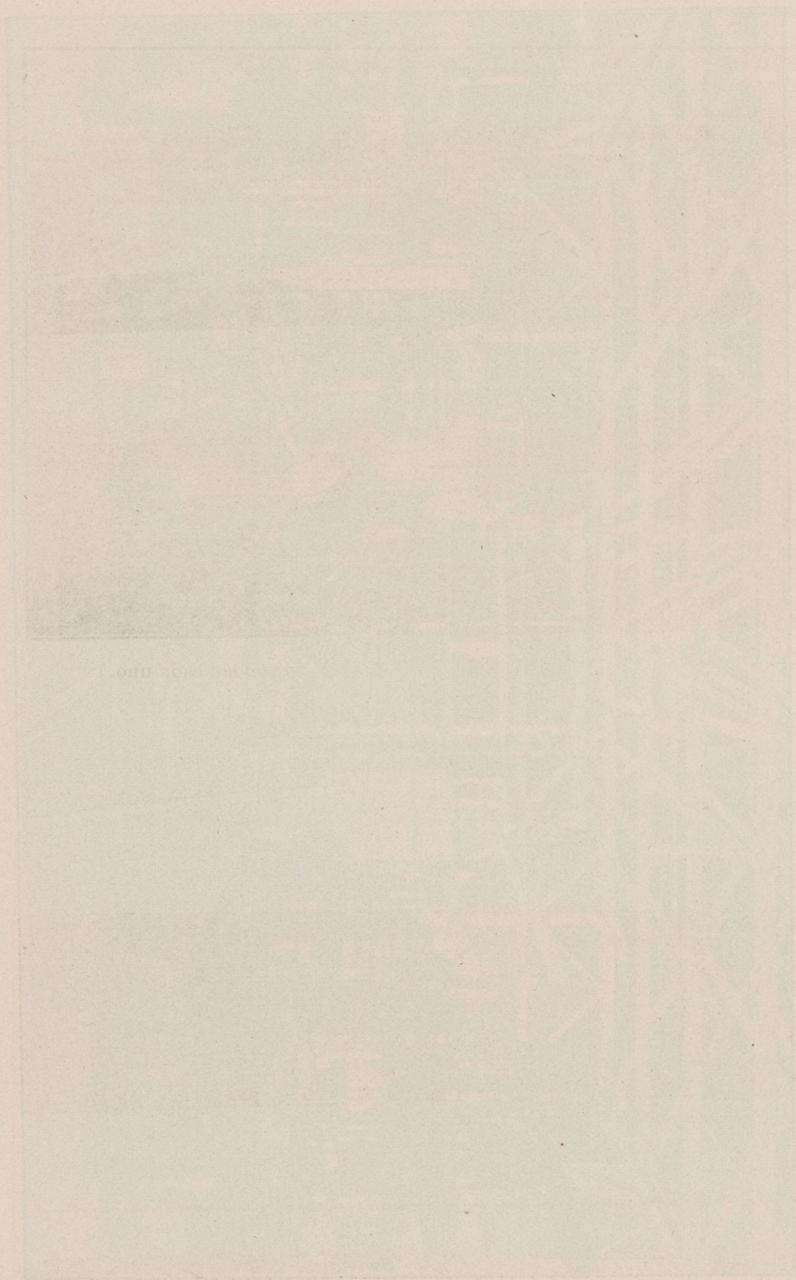
Fig. 2.— Campo petrolero de "Juan Casiano."



Lám. XII.



Estación de bombas de "Horconcitos."



Lám. XIII.

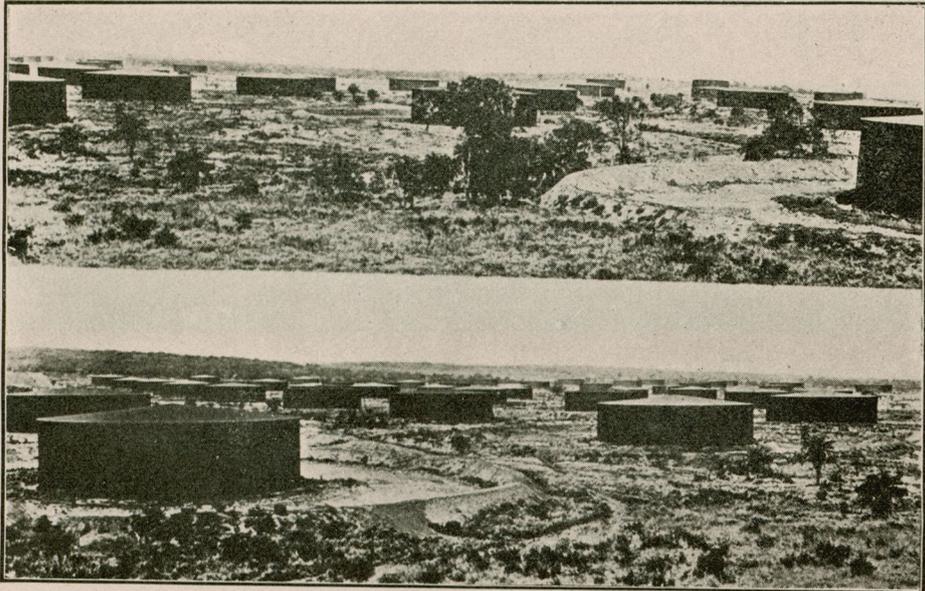


Fig. 1.—“Tankville.”—(61 tanques de 55,000 barriles de capacidad cada uno.)

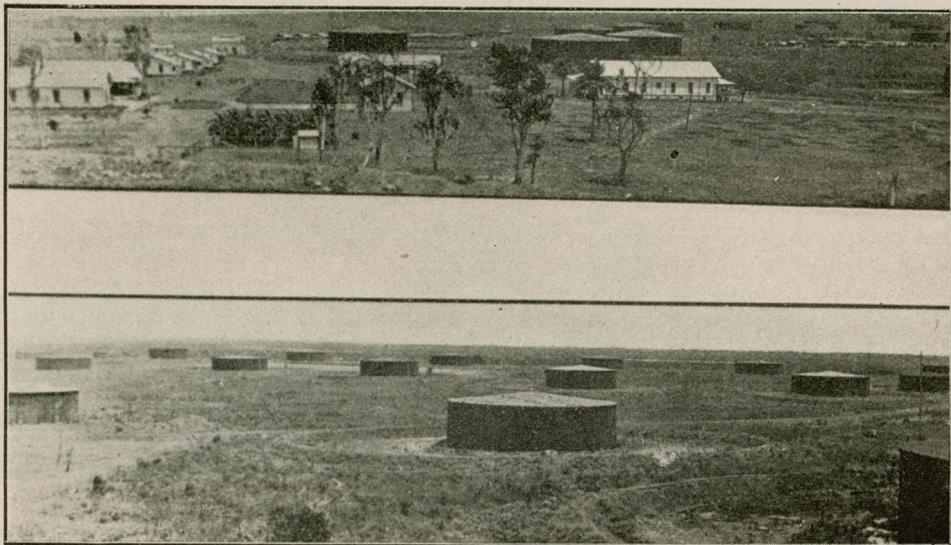
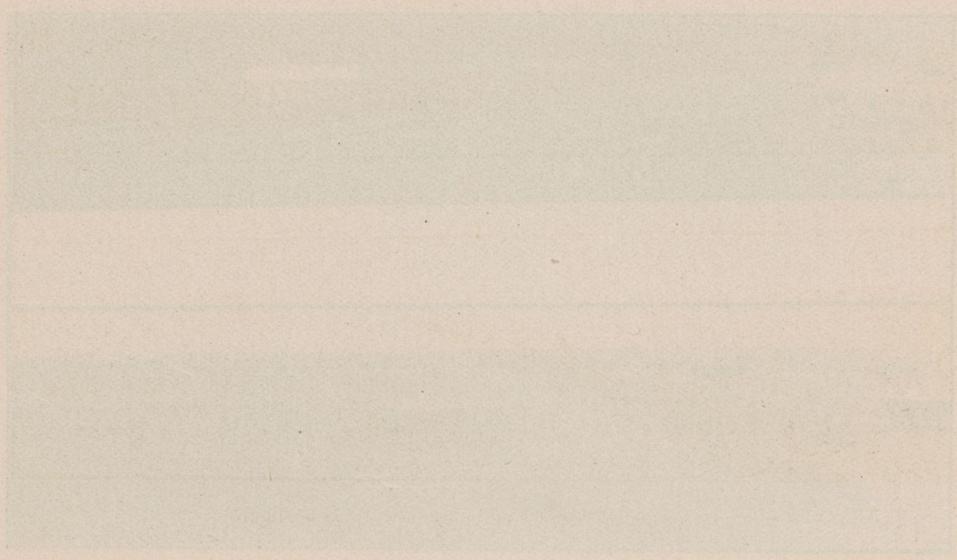
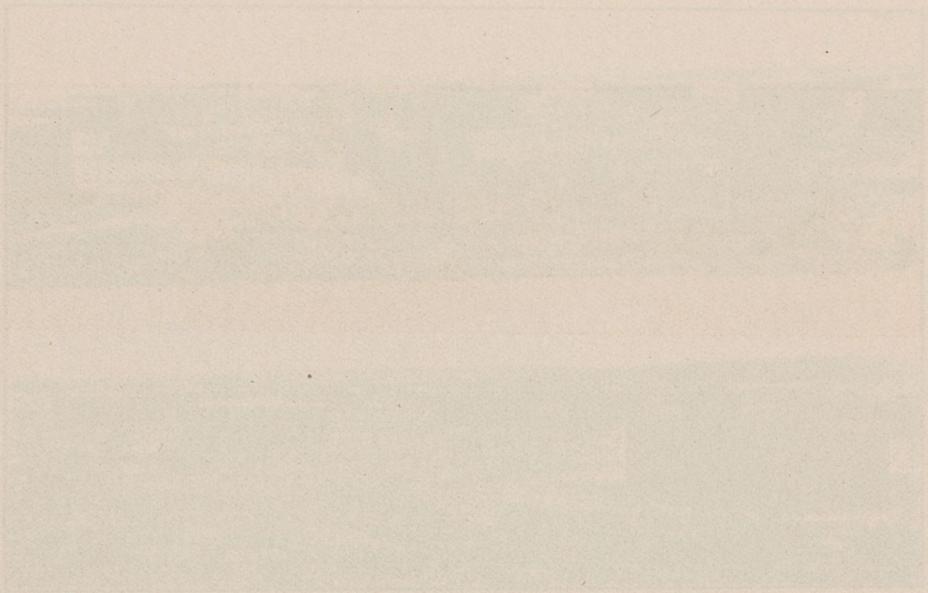


Fig. 2.—“Terminal.”—(38 tanques de 55,000 barriles de capacidad cada uno.)



Lám. XIV.

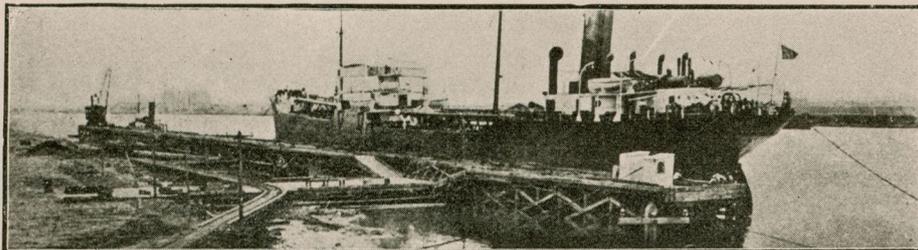


Fig. 1.—Barco-tanque "Russian Prince," cargando petróleo en La Terminal.

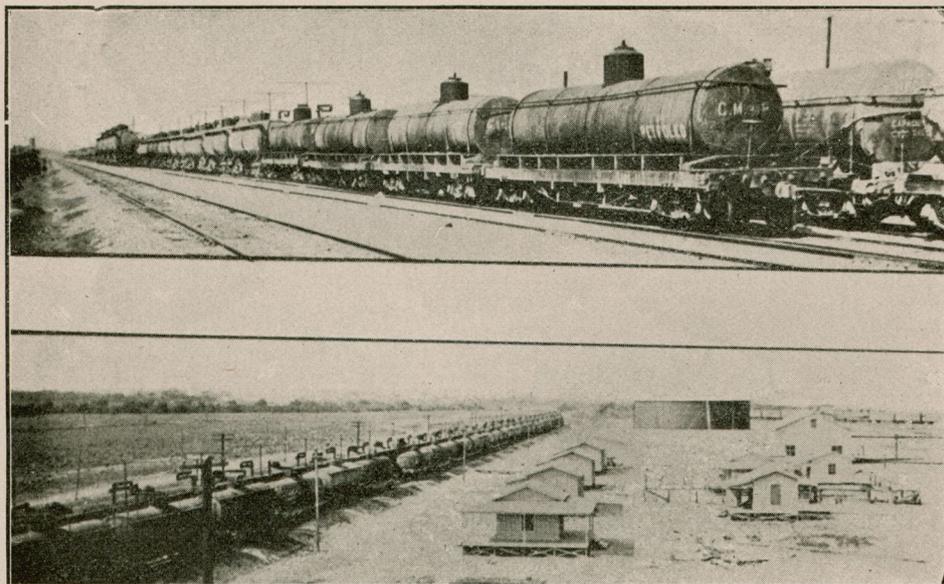
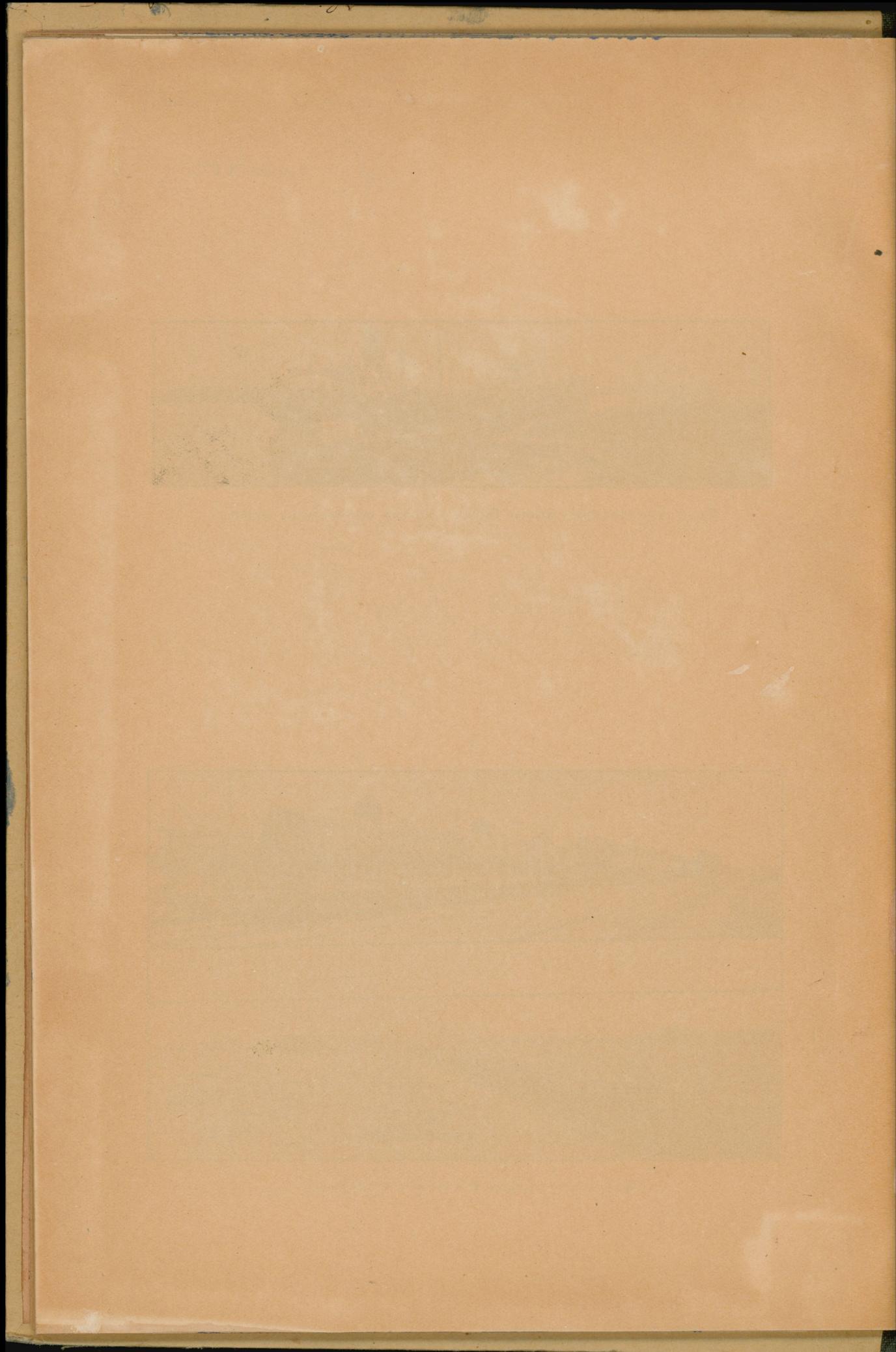
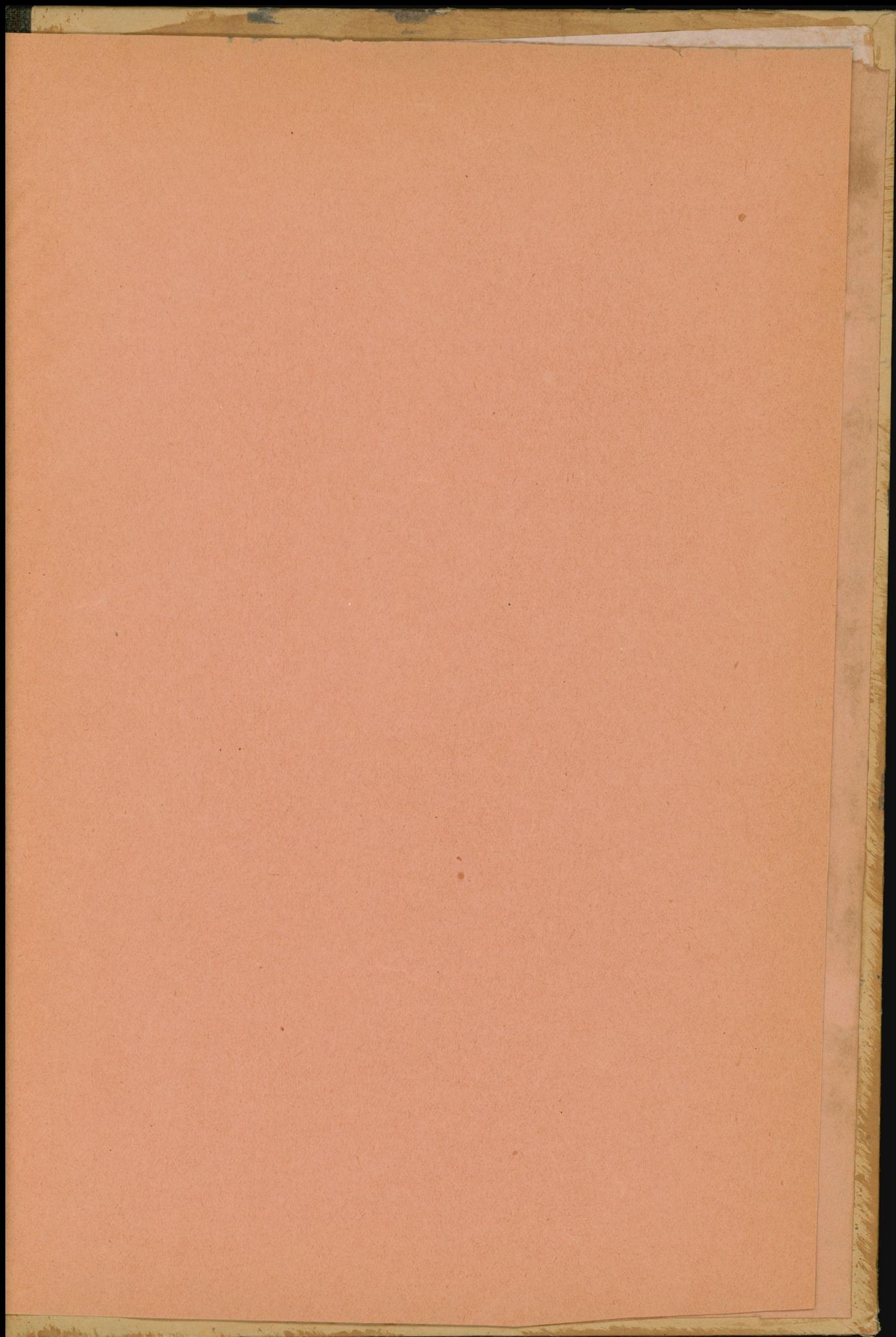
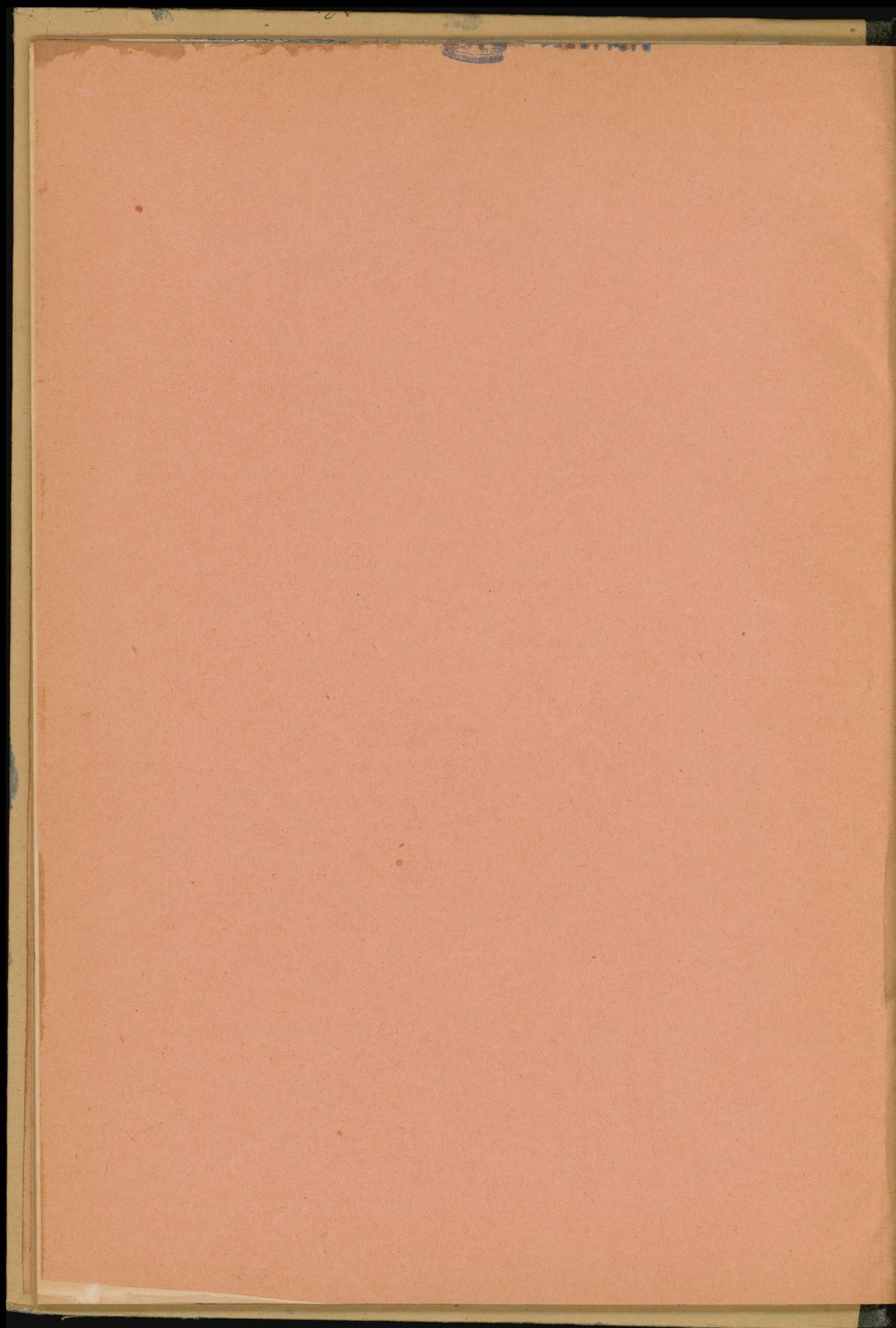
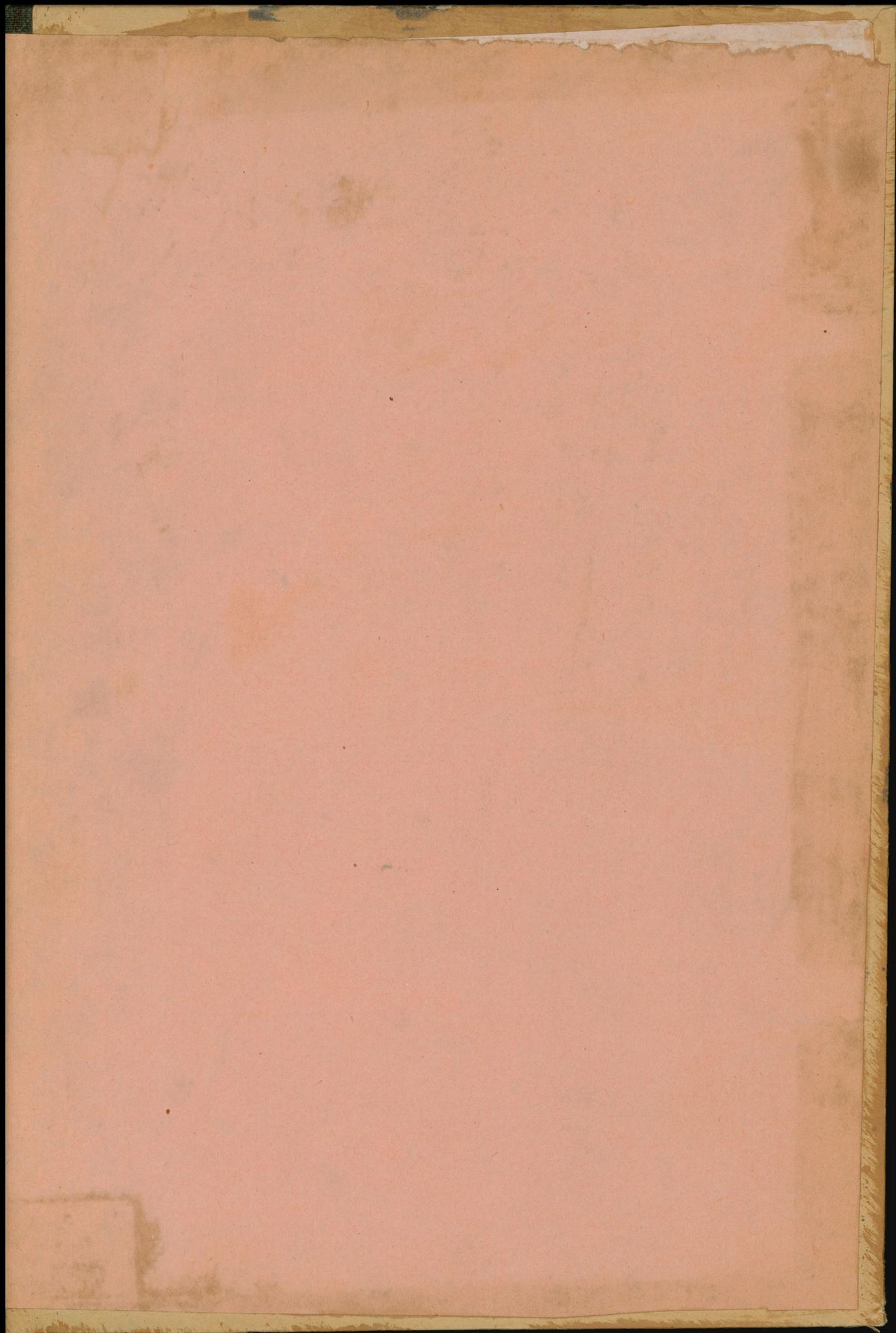


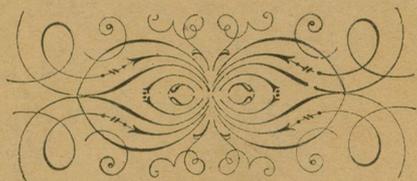
Fig. 2.—Carros-tanques en la estación de "Llenaderos."











10