FUENTES Y EFECTOS DEL CAMBIO TECNOLOGICO EN LA INDUSTRIA SIDERURGICA COLOMBIANA

Tesis de Grado

Magde Gaviria Bolaños

Ana Maria Lopez Dorado

Carlos Alberto López Dorado

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE ECONOMIA

Pasto, 1982

T
672
G283
Ej. 1

FUENTES Y EFECTOS DEL CAMBIO TECNOLOGICO EN LA INDUSTRIA SIDERURGICA COLOMBIANA

Presidente de Tesis:

ECO. Jorge Eduardo Ortiz Msc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

FACULTAD DE ECONOMIA

Pasto, 1982

Dedicamos este trabajo a quienes investigan la realidad social y política de nuestros pueblos para iluminar los áridos campos de la técnica. A ellos no los envidiamos porque, si eso era - lo que inicialmente pretendimos estudiar y que por concepcio - nes opuestas a las nuestras no lo pudimos realizar, seguramente no faltará ni tiempo, ni energías para hacerlo y demostrarles a nuestros contradictores su equivocación.

Agradecemos a todas las personas y entidades que nos prestaron su colaboración para realizar esta tesis. En especial a Jorge Eduardo Ortiz por la dirección del presente trabajo; a los profesores del Departamento de Matemáticas y de la Facultad de Economía por sus innumerables y pacientes observaciones; a Manuel Velásquez por su permanente y valiosa colaboración; a los directivos y técnicos de Acerías Paz del Río, Sidemuña, Sidelpa y al Instituto Nacional del Acero por el acceso a la información que poseen y en particular a Francisco Triana y Carlos Calderón Vicepresidente Técnico de Paz del Río y Director de Sidelpa respectivamente.

CONTENIDO

CONTENIDO, i

CUADROS, iii

GRAFICOS, iv

0 INTRODUCCION; 1

.1 OBJETIVOS, 6

.2 ESTABEECIMINETO DE HIPOTESIS, 7

.3 METODOLOGIA, 8

.3.1 Recopilación de información, 8

.3.1.1 Fuentes utilizadas, 9

.3.1.2 Utilización de la información, 9

.3.1.3 Instrumentos de análisis

1 EL SECTOR SIDERURGICO, 11

.1 RESEÑA HISTORICA, 12

.1.1 Pacho, 12

.1.2 Samacá, 14

.1.3 La Pradera, 15

.1.4 Amagá, 15

.1.5 Simesa, 16

.1.6 Acerías Paz del Río, 17

.1.7 Siderúrgica del Pacífico, S.A., 24

.1.8 Metalúrgica Boyacá, 26

.1.9 Siderúrgica del Muña, 26

.2 DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION DE LA SIDERURGIA, 28

.2.1 Descripción del proceso de producción en la planta integrada de Paz del Río, 28

.2.2 Descripción del proceso de producción de las plantas semi-integradas, 34

.2.2.1 Descripción del proceso de producción en SIMESA, 38

.2.2.2 Descripción del proceso de producción en SIDELPA, 38

.2.2.3 Descripción del proceso de producción en METALBOYACA, 42

.2.2.4 Descripción del proceso de producción en SIDEMUÑA, 43

.3 2EVOLUCION DELLA PRODUCCION Y LA DEMANDA DE ACERO, 43

2 EFICIENCIA TECNICA DEL SECTOR SIDERURGICO, 59

3 VARIABLES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA TECNICA, 76

4 DEMANDA DE FACTORES, 97

CONCLUSIONES

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA, 119

APENDICE I, 124

APENDICE II

APENDICE III

ANEXOS

CUADROS

1. Composición porcentual del capital de la empresa "Acerías Paz del Río, S.A." (1955-61) , 23
2. Empresas siderúrgicas instaladas en el país, 27
3. Acerías Paz del Río - Producción de acero, 35
4. Plantas semi-integradas - Producción de acero terminado, 39
5. Producción total de acero en lingote, 52
6. Composición de la producción de acero terminado, 53
7. Composición de las importaciones de acero, 55
8. Consumo aparente de acero terminado, 56
9. Capacidad instalada de la industria siderúrgica, 58
10. Acerías Paz del Río: Valores de eficiencia técnica relativa, 70
11. Sidelpa: Valores de eficiencia técnica relativa, 72
12. Sidemuña: Valores de eficiencia técnica relativa, 74
13. Porcentaje de variación en la capacidad instalada, 77
14. Acerías Paz del Río: valores de las variables independientes, 79
15. Sidelpa: valores de las variables independientes, 81
16. Sidemuña: Valores de las variables independientes, 82
17. Acerías Paz del Río. Elasticidades de la variable dependiente con respecto a las variables independientes, 94
18. Siderúrgica del Muña, elasticidades de la variable dependiente -

con respecto a la variable independiente, 94

18. Siderúrgica del Muña. Elasticidades de la variable dependiente con respecto a las variables independientes, 95

19. Siderúrgica del Pacífico, Elasticidades de la variable dependiente - con respecto a las variables independientes, 96

20. Acerías Paz del Río:valores de las variables dependientes, 100

21. Sidemuña: valores de las variables dependientes, 101

22. Sidelpa: valores de las variables dependientes, 102

23. Acerías Paz del Río. Elasticidades de la variable dependiente con - respecto a las variables independientes, 111

24. Siderúrgica del Muña. (Idem), 112

25. Siderúrgica del Pacífico . (Idem), 112

GRAFICOS

1. Acerías Paz del Río. Producción de Acero, 36

2. Plantas semi-integradas. Producción de Acero terminado, 40

3. Producción Sidelpa, 44

4. Plantas semi-integradas. Producción de Acero terminado Metalboyacá, 45

5. Plantas semi-integradas. Producción de Acero terminado. Sidemuña, 46

6. Composición total de acero terminado, 54

7. Consumo aparente de acero terminado, 57

8. Cantidades de insumo requeridas por unidad de producto, 63

9 Paz del Río: Producción actual y óptima, 67

10. Sidemuña: Producción actual y óptima, 68

11. Sidelpa: Producción actual y óptima, 69

12. Paz del Río: Eficiencia técnica relativa, 71

13. Sidelpa: Eficiencia técnica relativa, 73

14. Sidemuña: Eficiencia técnica relativa, 75

0. INTRODUCCION

Ha sido abundante el número de trabajos con diferentes enfoques económicos, políticos, jurídicos, etc., acerca de los problemas estructurales que padecen las economías latinoamericanas, caracterizadas como en proceso de desarrollo.

Dentro de ellos tiene primordial importancia el atraso tecnológico respecto a la frontera mundial, el cual genera dependencias con respecto a los países del centro. Una de las expresiones de esta dependencia es la necesidad de estar importando la mayor parte de bienes de capital de países como Estados Unidos, Alemania, Francia, Inglaterra, etc., puesto que la industria nacional los requiere para su desarrollo. Y efectivamente, la presencia de este equipo genera cambios en la estructura productiva, pues incorporado a él hay un cambio tecnológico que produce a su vez cambio en la demanda de los diferentes factores productivos: mano de obra, insumos intermedios, etc.

Sin embargo, en el proceso productivo hay otras fuentes de cambio tecnológico que generan modificaciones en la estructura productiva: el aprendizaje interno de los trabajadores, la presencia cada vez mayor del personal técnico y profesional en la producción y, por supuesto, la escala de planta, los niveles de utilización de la capacidad, etc.

El propósito de este estudio es investigar sobre las fuentes y efectos del Cambio Tecnológico en la Industria Siderúrgica Colombiana.

La Siderurgia se constituye en uno de los principales sectores de la economía colombiana al ser abastecedor de gran cantidad de insumos intermedios para otros sectores productivos como el metalmecánico, el de la construcción, etc. Se puede decir, entonces, que es la base de la producción de múltiples artículos metálicos, que van desde las herramientas manuales, cuchillería, fundición y caldería, hasta la producción de complicada maquinaria industrial.

La industria siderúrgica proporciona a los diferentes sectores: barras, varillas, perfiles, rieles, productos laminados tales como planchas, láminas y hojalatas, alambre, alambrón, acero plano, aceros especiales, etc.

Por otra parte, se trata de un sector claramente oligopólico, ya que existe más de un vendedor en el mercado, pero su número es reducido, a tal punto que las decisiones tomadas por uno de ellos afecta, indudablemente, a las demás empresas. Por tratarse de un sector oligopólico, la recolección de información se facilita.

Aunque la tecnología de la siderurgia no es simple, se puede clasificar al sector en dos grandes grupos: el Integrado, conformado por Paz del Río, y el Semi-integrado, conformado por SIMESA, SIDELPA, SIDEMUÑA y METALBOYACA; siendo la principal diferencia, que el primero parte de la extracción de minerales pasando por la etapa de obtención de arrabio (primer producto intermedio). El segundo, inicia el proceso a partir de la chatarra y la palanquilla.

Hubo dificultad en obtener una buena información histórica de todas las siderúrgicas, por dos motivos: o no existe, o si existe había mucho recelo por parte de los empresarios en dejarla conocer por temor al espionaje industrial. Por ello, el trabajo empírico se centró sobre Paz - del Río (Sector Integrado) y SIDEMUÑA y SIDELPA (Sector Semi-integrado). A pesar de ésto, las conclusiones que se saquen serán válidas para todo el sector, ya que las empresas estudiadas elaboran más del 85% del acero terminado en el país.

Al igual que todos los sectores industriales de una economía, tanto las condiciones externas como las internas del sector industrial están - en contínuo cambio. Las externas pueden ser consideradas como las producidas por las decisiones del Estado y que afectan a la industria en aspectos tales como importaciones, exportaciones, impuestos, etc. Por otro lado, existen las condiciones internas que corresponden más a un estudio microeconómico de la industria.

De las primeras, hay múltiples estudios de carácter económico-político que las explican.

El presente trabajo se centra en un estudio microeconómico, para - descubrir las consecuencias que trae el contínuo cambio producido por - las variables tecnológicas, como la capacidad instalada, capacidad utilizada, la innovación de maquinaria y el aprendizaje interno de los trabajadores.

Se intentó complementar el estudio incluyendo otras variables como "reparaciones", o sea, épocas en que no se trabaja por daños en los equipos, y el "control de calidad".

Del primero fue imposible conseguir estadísticas completas, razón - por la que no se la incluyó. La segunda, es una variable de difícil cuantificación. Existen diferentes técnicas y métodos con las que se logran efectos a través del control, pero su acción se traduce en la elevación de la calidad y no necesariamente de la cantidad. Este trabajo intenta definir las variables que afectan la eficiencia, es decir las variables que inciden en la cantidad. Por lo anterior, no se incluye ésta variable, como tampoco ha sido incluida en ningún otro trabajo de este tipo.

Las políticas trazadas al interior de las empresas, es decir, las - microdecisiones, tienen como objeto lograr la optimización de la producción a mínimos costos. Esto no se logra, sino mediante el conocimiento de las diferentes proporciones en que cada una de las variables tecnológicas afectan las eficiencias técnicas de las empresas.

Por ejemplo, una empresa trabaja con un buen nivel en la utilización de su capacidad, tiene buena capacidad instalada y una maquinaria lo suficientemente moderna; pero si el nivel técnico de sus operarios es bajo, la eficiencia técnica también lo será. Lo mismo sucedería si la utilización de la capacidad fuera baja.

Se construyó una relación matemática que expresa, en forma simple e ideal, las características básicas de la tecnología que contínuamente se incorpora a la actividad productiva. Al ser un estudio de carácter microeconómico, no tiene en cuenta las características de tipo institucional y legal vigente, como tampoco el comportamiento real de los sujetos de la actividad económica.

Para realizar lo anterior fue necesario encontrar una función de producción óptima como representación de la tecnología, lo que significa - descubrir cuáles son los procesos más eficientes. Dentro de éstos, pueden existir procesos básicos y no básicos; conocer los primeros es equivalente a conocer la función de producción, puesto que cualquier proceso no básico puede expresarse como combinación convexa-lineal de los procesos básicos; para esto es necesario recurrir a la programación lineal.

En base a todo lo anterior se formula un modelo uniecuacional que - explica la relación entre la eficiencia y las variables tecnológicas. - Luego, obteniendo las elasticidades se podrá definir cuál de las variables es más importante en el comportamiento de las eficiencias, para cada una de las empresas siderúrgicas.

Una de las metas importantes de los empresarios es el logro de una óptima combinación de los recursos que intervienen en la producción, bien sea con el objeto de aumentarla o bien para mantenerla constante disminuyendo los costos en que la empresa incurre al hacer uso de los factores productivos.

Pero no solamente aparece necesaria la optimización de esa combinación de factores, sino que también resulta importante la observación de cuáles son los efectos producidos en cada uno de éllos, como consecuencia de los cambios tecnológicos. Es decir, al presentarse cambios en las variables tecnológicas se generan cambios tecnológicos: la empresa ha innovado la maquinaria, o ha aumentado su capacidad instalada o su capacidad utilizada, etc.; ante cambios semejantes, la demanda de los factores que requiere cada empresa, también cambiará. La proporción en que cambia no

siempre es la misma. Es decir, la modificación que sufre cada factor dependerá de cuál sea la causa que produce el cambio tecnológico. Por ejemplo, se sabe que la innovación de maquinaria, al mismo tiempo que eleva la eficiencia técnica, también desplaza mano de obra. Se espera pues, que la importación de maquinaria tenga un efecto ahorrador de mano de obra, efecto éste que sólo acontece al modificar la variable innovación tecnológica y que es diferente para cada empresa y para cada sector de la economía.

El efecto causado en la demanda de los factores es único para cada variable tecnológica que actúa. Es necesario también, descubrir un modelo que explique satisfactoriamente la relación existente entre las variables y el uso de los factores, al igual que para la relación entre las eficiencias y las variables. En este caso, se trata de un modelo uniecuacional, pero con diferentes variables.

Tanto en éste, como en la relación del modelo econométrico de las eficiencias, se hace imprescindible la ayuda de un programa de computador que permita la solución de los modelos planteados.

0.1. OBJETIVOS

Los siguientes son los objetivos que se pretenden cumplir con el desarrollo de la tesis.

a) Con este estudio se trata de avanzar en el conocimiento de cuáles

son las transformaciones económicas que se presentan en nuestro país debido a cambios tecnológicos. Existen ya otros estudios del mismo tipo - que analizan al sector manufacturero y el de energía eléctrica, sectores que son de gran importancia. Estos, junto con el presente trabajo, sirven para clarificar dichos problemas.

b) Se pretende observar cuáles son las eficiencias a través del - tiempo para cada siderúrgica y descubrir la influencia que tienen las variables tecnológicas sobre aquéllas, con el objeto de que otros estudios o empresarios de las industrias estudiadas tengan una base para formular nuevos criterios que optimicen la productividad y la producción mediante una mejor combinación de las variables.

c) Cuantificar los efectos producidos en cada uno de los factores - productivos que requieren las empresas, originados en los cambios tecnológicos. Cuantificación que se hará en base a la relación existente entre dichos factores y las variables tecnológicas.

0.2. ESTABLECIMIENTO DE HIPOTESIS

a) En el sector que se estudia son de gran trascendencia las importaciones de bienes de capital, por tratarse de un sector que requiere - continuas innovaciones técnicas. Estas importaciones producen cambios - tecnológicos importantes al interior del sector en estudio. En la industria siderúrgica, el factor principal para explicar la eficiencia técnica es la innovación tecnológica.

b) La escala de planta y la capacidad utilizada son las variables - tecnológicas que tienen efectos notables sobre la eficiencia productiva del sector. En especial la capacidad utilizada, por haberse encontrado en los estudios realizados para otros sectores una baja utilización de la capacidad instalada, lo que implica una disminución en la eficiencia.

c) La calificación de la mano de obra y el aprendizaje continuo de los obreros repercute positivamente en la eficiencia.

d) La siderurgia, por constituir una producción ubicada en un sector altamente concentrado, servirá para verificar la hipótesis de que el cambio tecnológico incorporado en el equipo importado es más ahorrador de - mano de obra que de otros factores. Y además, que los aumentos en la capacidad utilizada producen ahorros principalmente de capital, los aumentos en la escala de planta y el aprendizaje interno son ahorradores de - insumos intermedios y de mano de obra, respectivamente, más que de cualquier otro factor.

0.3. METODOLOGIA

0.3.1. Recopilación de información

El estudio requiere básicamente de dos tipos de información: la primera, relacionada con la historia y los procesos de producción, se la obtuvo a partir de obras, folletos y entrevistas obtenidas en cada una - de las empresas. La segunda, tiene que ver con la información sobre las

estadísticas que lleva cada empresa acerca de su producción, capacidad - instalada, número de obreros, número de profesionales, energía eléctrica, etc.

0.3.1.1. Fuentes utilizadas

El estudio se basó en la siguiente información:

a) Planes Indicativos del sector siderúrgico.- Contienen datos históricos, comparaciones entre las diferentes empresas de producción y requerimientos, y algunas series históricas de los mismos.

b) Diferentes estudios sobre Acería Paz del Río, SIDELPA y SIDE MUÑA.

c) Trabajos realizados a nivel nacional por instituciones como los Ministerios de Desarrollo, Minas y Energía, y por CARBOCOL.

d) Estadísticas llevadas por cada empresa.

e) Información directa.- Entrevistas con los técnicos y directivos de las empresas, sobre todo en lo relativo al proceso de produc- - ción.

0.3.1.2. Utilización de la información:

La información obtenida fue organizada y sistematizada de acuerdo al plan de trabajo propuesto, que llevaría a su culminación, para lo cual se procedió de la siguiente manera:

a) De la información obtenida de fuentes secundarias se procedió a organizar los datos históricos para cada empresa, así como también

algunos elementos técnicos para el proceso de producción.

Para la realización del estudio se procedió a sistematizar la información obtenida mediante entrevistas personales, archivos y estadísticas en las diferentes empresas mencionadas anteriormente.

0.3.1.3. Instrumentos de análisis

a) Mínimos cuadrados: como método para encontrar los diferentes coeficientes en los modelos uniecuacionales propuestos.

b) Bondad de ajuste: a través de la prueba chi cuadrado se verificó el ajuste de las variables y sus coeficientes a las ecuaciones.

c) Elasticidad: para averiguar la influencia que cada una de las variables tiene sobre la variable dependiente.

1. EL SECTOR SIDERURGICO

El presente capítulo está constituído por tres aspectos. El primero se centra en una breve ubicación histórica del sector. En él se vislumbra claramente el carácter oligopólico que tiene la siderurgia nacional. Característica clara para Colombia, país ubicado dentro del llamado grupo de países subdesarrollados. El carácter oligopólico se debe en gran parte a la condición de que un sector de éstas características necesita, para su operación, partir de una escala de planta y una tecnología que hagan eficiente, desde el punto de vista productivo y de rentabilidad, su existencia; por ello, en sus inicios el sector contó con fuertes apoyos gubernamentales, tanto a nivel de protección del sector como de inversión directa y ayudas de tipo crediticio. Hoy en día es menor la participación directa del gobierno, aunque sigue protegiéndose al sector.

El segundo aspecto se refiere a la descripción del proceso de producción tanto para la única planta integrada del país (Paz del Río), como para las principales plantas semi-integradas.

El tercero, se refiere a la situación del mercado en su conjunto; o sea el comportamiento de la demanda, la oferta, importaciones, exportaciones, etc.

1.1. RESEÑA HISTORICA

Contrariamente a lo que podría creerse, la industria siderúrgica colombiana no es algo reciente. Al estudiar el desarrollo de tal industria llama la atención el hecho, casi desconocido, de que ya desde la época de la independencia se explotaban algunos yacimientos y se producían pequeñas cantidades de hierro.

La Industria Siderúrgica Nacional se inició con la instalación de las ferrerías de Pacho, Samacá, La Pradera y Amagá, a las cuales se les dió algunos incentivos legales, con el propósito de favorecer la producción nacional existente y procurar la aparición de nuevas industrias de hierro y acero.

1.1.1. Pacho

Jacobo Wiesner descubrió el yacimiento que más tarde sería explotado por la empresa siderúrgica de Pacho. En 1924 Wiesner puso un montaje muy modesto y empezó la explotación.

Por el decreto 21, de Agosto de 1827, el Congreso otorgó el privilegio exclusivo al grupo Franco-Colombiano EGEA DASTE y Cía. para el establecimiento de ferrerías de hierro y acero en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca.

La industrialización y explotación de Pacho trajo técnicas extranjeras y contó entre sus colaboradores a don José María Castillo y Roda y a Manuel Restrepo.

En 1830, la empresa tomó el nombre de Sociedad Anónima Franco-Colombiana, para la explotación del hierro en Boyacá y Cundinamarca. El privilegio de EGEA DASTE y Cía. fue prolongado por 6 años a partir de la fecha de expiración de la concesión primitiva del 21 de agosto de 1822, por medio del decreto del 15 de abril de 1821. Además, el presidente de la República fue autorizado para conceder un empréstito de treinta mil dólares, con cuatro años de plazo, cobrando 6%, con el objeto de financiar la construcción de un alto horno.

La empresa de Pacho, en 1831, se había reorganizado como sociedad anónima en manos de interesados colombianos quienes formaron la "Compañía de Elaboración del Hierro". Había acometido el mejoramiento del equipo construyendo un alto horno, para el cual emitieron nuevas acciones a $ 2.000 cada una.

En 1837 celebró un contrato con una empresa que tenía el privilegio de elaboración del hierro. En este año, la ferrería progresaba comercialmente gracias al contrato de fabricación del hierro que celebró la compañía Andina con otra que aportó con fondos. Por otra parte, el alto horno había funcionado sin sufrir ningún daño, lo cual elevó la producción. Además, el batido maleable que daba esta fábrica era de excelente calidad, por lo cual competía con el de Boscoya.

En 1869 suspendió trabajos al igual que en 1878 y 1879. Durante esta época hubo varias reorganizaciones en su estructura y también varios repartos de dividendos. Su capacidad de producción era mediana (6.000 quintales). En la reorganización del 79 tomó el nombre de Compañía Explotadora de la Ferrería de Pacho. En 1888 pasó otra vez a nuevas ma-

nos y se reanudó la explotación. Al año siguiente, se suspendía nueva - mente por pleitos jurídicos entre propietarios, lo que terminó con la em presa industrial más antigua de Colombia. Enn1896 se vendieron las últi mas existencias y se suspendió la producción.

1.1.2. Samacá

Desde 1855 dos ex-empleados de la ferrería de Pacho, Martín Perry y Santiago Brun, habían empezado a establecer un montaje para aprovechar el mineral del hierro en Samacá (Boyacá). La empresa se vió en dificulta des desde su comienzo debido a la carencia de capital.

Mediante la ley 59, del 24 de junio de 1874, se autoriza al ejecu tivo para establecer una ferrería en gran escala, pero esta ley no tuvo efecto inmediato.

En 1878 el gobierno boyacense resolvió ayudar a la empresa com- - prándole hasta 4.000 toneladas de rieles a $ 80. A finales del mismo - año, el Estado de Boyacá compró la empresa y formó una sociedad para ex- plotarla.

Existía un gran entusiasmo por el establecimiento de una siderúr- gica, por lo tanto al gobernador de entonces (Otálora), le quedó fácil - obtener auxilios de la nación para dicha empresa.

En 1882 se hizo la primera fundición de 1.200.000 toneladas, te- niendo poco éxito, ya que el horno quedó muy averiado. Para ese tiempo, habían muchas discusiones sobre la seriedad y progreso de la empresa. - Sólo entonces, se realizaron estudios relacionados con la ferrería, resul

tando negativos.

Al retirarse el auxilio nacional, la empresa se hundió definitivamente.

1.1.3. La Pradera

En 1855 se asociaron Juan Jammes y Rafael Parest con Samuel Soyer para explotar un yacimiento de hierro cerca de Subachoque (Cundinamarca). Produjeron mazas y fondos para trapiches. Tropezó con la oposición de la autoridad eclesiástica. En 1877 se reinició la producción con nuevos empresarios: Carlos Manrique, Tomás Acneu y Lorenzo Codazzi. Trajeron - operarios americanos y construyeron un horno, adaptándole leña en lugar de carbón de coke.

A finales de 1880 la empresa estaba en producción. La empresa - disfrutó de ventajas y exenciones como la de Samacá, aunque no tuvo subsidios directos. En 1881 celebró un contrato con el gobierno nacional, donde éste compra hierro maleable en rieles, a precios que estaban destinados a favorecer a la empresa. Años más tarde se precipitó la bancarrota.

1.1.4. Amagá

También en Antioquia se había iniciado la explotación del hierro. New Valverde mandó muestras del hierro a Bogotá, pero no pasó de ahí por oposición de las autoridades españolas. El primer lingote que se fundió

en Antioquia fue en 1833 del mineral extraído de lo que hoy es Medellín. Por decreto de la legislatura del Estado en 1864 se concedió nuevo privilegio a Francisco A. Alvarez y a Pascacio Uribe para montar una ferrería en el paraje de "La Clara", en el municipio de Amagá.

Se encontró muchas dificultades. El tiempo para empezar la producción se prorrogó. Pero hacia 1869 su producción hizo disminuir las importaciones del hierro constituyéndose para 1870 en la empresa de más porvenir del Estado. Sin embargo, poco después se encontraba abocada a una suspensión debido a problemas financieros. Se esperaba entonces, que una empresa extranjera la tomara en arrendamiento, cuestión que no llegó a ocurrir, ya que la empresa subsistió con muchas dificultades, hasta llegar a tener en peligro el privilegio obtenido.

En 1885 se reorganizó la empresa y su situación tuvo un mejoramiento notorio. Cinco años más tarde, la Ferrería Antioqueña se hubo de poner en liquidación. Se formó entonces, una nueva siderúrgica en Medellín, la cual trabajaría con chatarra.

Unos años después de la depresión sufrida en los años treinta, el país tuvo un real comienzo en la industria siderúrgica al instalarse en 1938 la empresa semi-integrada Siderúrgica de Medellín, hoy conocida como SIMESA.

1.1.5. SIMESA

El doctor Julian Cook A. elaboró en los años de 1938-39 un concienzudo estudio sobre los minerales de hierro existentes en el Valle de

Aburrá. El ingeniero antioqueño resumió sus experiencias en un magnífico estudio: "La Industria Siderúrgica de Medellín".

El mencionado estudio se proponía la creación de una empresa que pudiera llegar a servirse de sus minerales y que utilizara los desperdicios de hierro, calculados en 20.000 toneladas aproximadamente, para esa época. El doctor Cook introdujo la tecnología de la fundición de acero con un horno eléctrico Brown de una tonelada de capacidad. El costo total de producir internamente acero en barras para la construcción era significativamente inferior al importado desde Estados Unidos y Europa, lo cual explica por qué el atractivo de producirlo localmente. (1)

La Siderúrgica de Medellín, S. A., SIMESA, nació por escritura pública Nº 1700, del 5 de Agosto de 1938, de la Notaría 4ª de Medellín.

SIMESA, año tras año, ha incorporado modernos equipos de maquinaria, herramientas, etc., y en la actualidad cuenta con un plan de ensanche y mayor modernización.

1.1.6. Acerías Paz del Río

El Instituto de Fomento Industrial, en 1940 se propuso como uno de sus principales objetivos estudiar y fomentar el desarrollo de la industria siderúrgica del país. En 1942, los geólogos Benjamín Alvarado y Vicente Suárez Hoyos presentaron el primer informe documentado sobre los yacimientos de Paz del Río. Conocida la existencia de yacimientos de mi

---

(1) SIMESA, 40 años, Siderúrgica de Medellín, Medellín, 1978. P. 9.

neral de hierro en aquella región boyacense, se adelantaron nuevas investigaciones por recomendación de la casa H. Brassert de Nueva York, la cual confirma la existencia de los yacimientos del mineral. El español César de Madarriaga y el señor Frank Hudson fueron asesores del I.F.I. en cuanto a los estudios sobre la instalación de la planta siderúrgica.

Entre 1943 y 1946 se hicieron estudios sobre materias primas, localización, mercados, perspectivas financieras, rentabilidad, etc. Hacia 1944 se consideraba necesario instalar en Paz del Río una planta con capacidad de cien toneladas diarias utilizando horno eléctrico. Como fuente de energía se construiría una hidroeléctrica sobre el río Cusiano. Se contrató la firma de ingenieros OLAP para diseñar la planta hidroeléctrica y sus obras accesorias.

Más tarde se encontraron en la región de Paz del Río importantes depósitos de carbón y de piedra caliza. Análisis de dichos carbones dieron resultados positivos, al concluir que eran carbones coquizables, lo que significó la no utilización del horno eléctrico. Para entonces se tenía como objetivo una producción de 200 toneladas diarias. Como fuente de energía se instalaría una planta térmica, y como combustible se utilizaría gas de la planta de coke, gas del alto horno y los finos del coke. Por lo anterior se suspendió el proyecto hidroeléctrico sobre el río Cusiano. Más tarde, la sociedad de ingenieros integró una comisión a petición de Lleras Camargo, que confirmó la factibilidad técnica, conveniencia económica y facilidad de iniciación de la empresa basada en los estudios realizados a través del I.F.I.

En 1945 el gobierno autorizó la emisión de $ 10.000 en bonos para

iniciar los trabajos de investigación y exploración. Se escogió la ha - cienda de Belencito por estar cerca de los yacimientos del mineral del - hierro y de carbón, por la existencia de yacimientos calcáreos, por la - vecindad a Sogamoso y Duitama y por las facilidades de agua requeridas.

En este mismo año se adelantó la construcción de la vía férrea en tre Sogamoso y Belencito, y entre Belencito y los depósitos de minerales.

En 1946 se intentó obtener un préstamo de la Casa Albert, préstamo que no se realizó ya que los comisionados colombianos encontraron la ayuda financiera y técnica muy onerosa.

En 1947 el nuevo gerente del I.F.I., D.r. Juan de Dios Ceballos, consideró necesario revisar los estudios sobre las instalaciones de la - empresa, para lo cual se contrató al profesor George B. Waterhousse, - quien rindió un informe positivo con las siguientes conclusiones:

a) El establecimiento de la siderúrgica tiene gran importancia - para el desarrollo económico y para el desarrollo industrial del país.

b) La capacidad debe ser de 300.000 toneladas diarias, usando un alto horno, para tratar así 80.000 toneladas de artículos básicos, escogidos entre los importados y los de mayor consumo dentro del país.

e) Los principales artículos que se deben producir según los especialistas son: arrabio, barras, varillas, perfiles, alambre liso y de púas, hojalata, láminas y chapas, láminas galvanizadas, rieles y accesorios para rieles.

d) Facilidad para abastecimiento de las materias primas para la

nueva empresa.

e) Estima el costo en 47 millones de dólares para satisfacer la instalación y funcionamiento de la planta.

En base a los estudios anteriores se hizo una licitación para elaborar un anteproyecto general de la planta para determinar los requerimientos técnicos de la misma planta. En Mayo de 1948 se firmó con la Casa Keppers de Pittsburgh, un contrato para la preparación de tal estudio. En Enero de 1949 se rindió el informe que contempla un estimativo de la rentabilidad de la planta y sobre la magnitud del mercado. Se calculó que para 1953 la demanda sería de 153.000 toneladas y para 1958 de 210.000.

Mediante la ley 45 de 1947, el Congreso dictó el estatuto legal mediante el cual se crea la nueva empresa bajo el nombre de Empresa Siderúrgica de Paz del Río, como institución semioficial y con cien millones de capital inicial, 51% de los cuales serían suscritos por el gobierno, con la autorización de suscribir la totalidad del capital en caso de que los particulares no suscribieran por lo menos un 20%. A partir de 1948 el gobierno se comprometió a incluir en el presupuesto nacional partidas de $ 10 millones anuales hasta completar su aporte a la empresa.

En Septiembre 17 de 1948 se firmó la escritura Nº 4410 constitutiva de la sociedad anónima, con el aporte del gobierno de $ 51 millones. El I.F.I. suscribe acciones por el valor de $ 20 millones y algunos particulares, $ 1.231.250.

El gobierno se había comprometido a hacer aportes del presupuesto

por el valor de $ 10 millones anuales, obligación que trasladó a los contribuyentes en forma de un impuesto adicional de renta y complementarios. Por medio del decreto Nº 4051 de 1949 se incrementó en diez años lo estipulado en la ley 45 de 1946 y se dispuso que el gobierno invertiría el 50% en el pago de las acciones que el Estado se había comprometido a suscribir. El artículo cuarto de ese decreto exonera del pago de $2\frac{1}{2}$ %, con destino al desarrollo y fomento de la industria siderúrgica nacional, a los contribuyentes que presenten comprobantes de haber adquirido acciones en la empresa siderúrgica de Paz del Río por el valor del impuesto. Las acciones no serían negociables hasta que la empresa entrara en producción.

Lo anterior significó que el sector privado se viera obligado a suscribir las acciones que debía suscribir el gobierno. El valor comercial de las acciones era del 10 al 20% del valor nominal, por lo cual la exoneración era también de un 10 a un 20% del valor del impuesto.

A través del anterior sistema la empresa podía contar con un ingreso seguro por concepto de suscripción de acciones. Durante el período de 1950-55, los ingresos por este concepto fueron de $ 90 millones (1). Sin embargo, la empresa no podía hacer inversiones a corto plazo debido a que sus ingresos eran recibidos anualmente. Este problema se resolvió mediante un contrato celebrado entre el gobierno nacional, el Banco de la República y la Empresa Siderúrgica de Paz del Río, S.A., por medio del cual el Banco de la República asumió el carácter de fideicomisario para emisiones de bonos de la empresa hasta por una cuantía de $ 60 mi-

(1) Empresa Siderúrgica Nacional de Paz del Río, S.A.: Informes y Balance. Segundo semestre 1952. P. 7.

llones.

Otra forma que utilizó el gobierno para suscribir las acciones que se había comprometido fue cediendo a la empresa los derechos que le pertenecían en los yacimientos de hierro, carbón, caliza y demás minerales situados en la zona de explotación, a cambio de acciones de la empresa - que corresponderían al valor de los bienes y derechos cedidos, así como también aportó el ferrocarril del nordeste, que de Belencito conduce a - Sogamoso.

A finales de 1952 las acciones de la empresa siderúrgica eran de la siguiente forma: (1)

Acciones suscritas por el gobierno nacional	$ 10.425.150
Acciones suscritas por el Instituto de Fomento Industrial	$ 6.516.020
Acciones suscritas por los particulares	$ 29.319.640
Total acciones suscritas	$ 46.260.810

A partir de 1955, la venta de los productos de la empresa comenzó a ser una nueva fuente de financiación. La distribución del producido - de las suscripciones por parte de los contribuyentes ha sido, por lo general, así: un 50 % para traspasar acciones del Banco de la República a los particulares y 50 % para nuevas emisiones por parte de la empresa. A partir de Septiembre de 1961, el producido total de los recaudos está destinado al traspaso a los particulares. Esto ha sido considerado por

(1) Empresa Siderúrgica Nacional de Paz del Río, S.A.: Informes y Balance. Segundo semestre 1952. P. 8.

algunos como el traspaso de la empresa al sector privado.

Cuadro Nº 1

COMPOSICION PORCENTUAL DEL CAPITAL DE LA EMPRESA "ACERIAS PAZ DEL RIO S. A." (1955-61)

	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961
Gobierno y otras entidades oficiales	1,25	1,17	1,33	1,43	1,10	0,70	0,67
Banco de la República	76,42	68,38	59,20	50,71	41,57	31,65	24,49
Particulares	22,33	30,45	39,47	47,86	57,33	67,65	74,84
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

FUENTE: Información suministrada por el Departamento de Investiga - ciones Económicas de Acerías Paz del Río, S.A.

En el cuadro Nº 1 se puede observar la reducción paulatina de las acciones suscritas por el gobierno y otras entidades oficiales, al igual que la reducción de las suscritas por el Banco de la República. Por otra parte, se puede ver cómo las acciones obtenidas por los particulares aumentan cada año.

Es de anotar que hasta el momento no se ha perfeccionado la entrega de los yacimientos del mineral de hierro, caliza y carbón, por parte del Estado a la empresa.

En 1967 termina la venta de acciones del Banco de la República a

los particulares, y con ello se consolida la sociedad como empresa privada. Actualmente el gobierno posee solamente el 1,3% de las acciones, provenientes de la venta del ferrocarril de Belencito. (1)

1.1.7. Siderúrgica del Pacífico, S.A.

La gestación de esta empresa se da hacia el año de 1948, en Bogotá, cuando Carlos Calderón empezó la fabricación de algunos productos metálicos, contando tan solo con cuatro operarios. Posteriormente, para el año de 1952 el negocio se amplía, denominándose "Talleres Crup", fabricando ventanas, estructuras metálicas, etc.

Para 1955 se convierte en sociedad limitada, con un capital inicial de $ 75.000 y se traslada a Cali como "Talleres Crup, Ltda." Tres años más tarde contaba con instalaciones propias y con un capital 10 veces superior, habiendo distribuido utilidades durante el tiempo de funcionamiento.

En 1961 se dió el paso definitivo en la constitución de la Siderúrgica del Pacífico como sociedad anónima, cuyos accionistas eran un grupo de industriales del Valle, contando siempre con la dirección del actual presidente Carlos Calderón. Se contó con un capital inicial de cuatro millones de pesos; su objetivo fue el abastecimiento de las necesidades del mercado nacional de aceros que venían siendo atendidas por productores externos.

---

(1) Plan Indicativo Siderúrgico, 1972.

Sin embargo, la idea de la dirección de SIDELPA era introducir la tecnología de aceros especiales, hasta el momento importados en su totalidad. Es así como en 1964 tomó contacto con Acerías Valbruna de Italia para firmar un contrato de asociación con el fin de producir aceros finos al carbono, para lo cual se adquirieron nuevos equipos: un horno Lectromelt de 12 toneladas por colada y un tren desbastador Duo de 450 m. m. para producir barras gruesas y palanquilla para el tren ya existente de 250 m. m..

Con base en el entrenamiento de técnicos locales en Italia y la asesoría de Acerías Valbruna, hacia 1969 se estaba fabricando aceros aleados al silicio, al manganeso, al níquel y al vanadio.

En la actualidad, tanto el capital de trabajo de la compañía como propietarios y trabajadores son colombianos; el capital de SIDELPA corresponde a los siguientes accionistas: (1)

Accionistas con	1	a	10.000 acciones	81 %
Accionistas con	10.001	a	50.000 acciones	17 %
Accionistas con	50.001	a	100.000 acciones	1 %
Accionistas con	100.000	en	adelante	1 %

SIDELPA cuenta con activos por valor de $ 600 millones, su capital pagado asciende a $ 60 millones, estando su capital accionario distribuido entre 700 accionistas, lo que la convierte en una gran sociedad anónima.

---

(1) SIDELPA 75 años, Siderúrgica del Pacífico, 1980. P. 7.

1.1.8. Metalúrgica Boyacá

Su origen se remonta a 1961 cuando fue creada con el objetivo de fabricar perfiles livianos laminados en caliente para la industria de la construcción, a partir de la palanquilla producida por Paz del Río. Se instaló en el municipio de Tuta, Boyacá, a 40 kmts. de las instalaciones de Paz del Río e inició producción en Marzo de 1963, con un tren laminador de 250 m. m. de 15.000 toneladas/año de capacidad.

1.1.9. Siderúrgica del Muña

Originalmente de propiedad de Siderúrgica de Medellín, S.A. Contaba en 1964 con un horno eléctrico Lectromelt de dos toneladas, también dedicado a la fundición. Sólo en 1965 se monta un tren laminador de 260 m. m. de 20.000 toneladas de capacidad; en consecuencia el horno se pone a producir lingotes de acero de 42 kgrs.; el excedente de capacidad de laminación se cubre con palanquilla comprada a Paz del Río. Sin embargo, la dificultad de depender de Paz del Río generó problemas de orden administrativo, laboral y financiero. En 1971 cambia el rumbo de la empresa en forma radical al ser comprada la totalidad de las acciones por un grupo de inversionistas y empresarios de aceros colombianos y ecuatorianos.

La nueva administración encargada se preocupó en asegurar, por el lado de la producción, el suministro de varilla a los asociados mediante el incremento en el nivel de eficiencia de la planta y, por el lado financiero, en sanearla al máximo.

En el cuadro Nº 2 se presenta la localización de las empresas si-

derúrgicas existentes en el país.

Cuadro Nº 2

EMPRESAS SIDERURGICAS INSTALADAS EN EL PAIS

Compañía	Ubicación de	
	Oficina principal	Planta
Acerías Paz del Río	Bogotá	Belencito
Siderúrgica del Pacífico	Yumbo (Valle)	Yumbo
Siderúrgica del Muña	Bogotá	Muña (Cund.)
Siderúrgica de Medellín, S.A.	Medellín	Medellín
Metalúrgica Boyacá	Bogotá	Tuta (Boyacá)
Siderúrgica del Norte	Barranquilla	Barranquilla
Fundiciones Técnicas	Medellín	Medellín
Colombiana de Arrabio	Bogotá	Cajicá (Cund.)

FUENTE: Plan Indicativo 1980.

Como se puede observar en el cuadro Nº 2, existen también otras siderúrgicas de más reciente data como son: Siderúrgica del Norte (SIDUNOR) en Barranquilla, creada en 1969; Fundiciones Técnicas (FUTEC), creada en Medellín en 1970. A fines de 1973 inició la producción la empresa Colombiana de Arrabio (COLAR), situada en Cajicá, Cundinamarca, cuyo producto final es el arrabio.

1.2. DESCRIPCION DEL PROCESO DE PRODUCCION DE LA SIDERURGIA

1.2.1. Descripción del proceso de producción en la planta integrada de Paz del Río

El proceso de producción del acero en la industria integrada parte de la explotación del mineral del hierro, la cual puede ser bajo tierra o a cielo abierto. El mineral obtenido se funde en el alto horno en contacto con el carbón de coque y la caliza.

El producto obtenido se denomina arrabio (hierro de primera fusión), caracterizado por su alto contenido de carbono, manganeso, silicio y azufre.

El arrabio es refinado en estado líquido en el horno convertidor, mediante la adición de aire (1) o de oxígeno puro (2).

El producto resultante es acero crudo en estado líquido, el cual es vertido en lingoteras obteniéndose el acero en lingotes.

---

(1) Los convertidores pueden ser Bessemen y Thomas; difieren únicamente por el tipo de refractarios que utilizan; el primero tiene revestimiento ácido (silicio) y el segundo, revestimiento básico (dolomita o magnesita).

(2) Se denominan estos procesos con el nombre de L = D ó L W S; el L = D consiste en un proceso para inyectar oxígeno por la base de un convertidor Thomas. Este proceso genera aumentos considerables en la producción con inversiones marginales.

Los rangos de variación de los contenidos de los diferentes componentes deben estar:

C		0,03 %	a	1,7 %
Mn		0,2 %	a	0,9 %
Si		0,1 %	a	0,5 %
P	máx.	0,1 %		
S	máx.	0,1 %		

La etapa descrita del proceso se llama usualmente fundición; enseguida continúa la etapa de laminación. Para laminar el acero es necesario calentarlo en hornos de foso provistos de quemadores; ya caliente se pasa por un tren desbastador para disminuir su espesor. A continuación, el proceso se bifurca en dos líneas de producción: palanquilla y planchones. La palanquilla es un producto intermedio para la obtención de aceros no planos (barras, varillas, alambrón y perfiles), y los planchones son productos intermedios para la producción de productos planos (planchas, láminas, etc.). El proceso de laminado es aplicado para obtener la palanquilla y los planchones y posteriormente para obtener las diferentes formas de aceros no planos y planos que pueden ser de dos clases: en caliente y en frío (1).

---

(1) La diferencia entre el laminado en caliente y en frío no radica únicamente en la temperatura, como lo afirma el estudio por parte del Departamento Nacional de Planeación; la temperatura a la cual se realiza el proceso es uno de los parámetros; los otros, tan importantes como el anterior, son la capacidad de los rodillos, resistencia de los materiales, etc.

En el país solo existe la producción de aceros en caliente. Para obtener la base de hojalata y otros se requieren instalaciones continuas de laminado en frío, las cuales no existen en el país.

Con respecto a la minería, Paz del Río cuenta con reservas mineras en el municipio de Paz del Río (mineral del hierro y carbón), Belencito (caliza) y Samacá (carbón de bajos volátiles).

Se estima que las reservas totales de mineral de hierro son de 226 millones de toneladas, de las cuales 124 millones se consideran reservas probadas.

La explotación se hace actualmente bajo tierra por el sistema de galerías, cámaras y pilares. El mineral del hierro se transporta por cable aéreo a la planta de trituración y lavado. La producción total de mineral del hierro para 1977 fue de 467.400 toneladas.

El carbón utilizado proviene de dos zonas: Mina de Chapa en Paz del Río y Minas de Samacá. Los carbones de la Chapa, altos en material volátil, y de Samacá, bajos en material volátil, son complementarios en la coquización para obtener un reductor de mayor poder calorífico.

Las reservas estimadas de carbón por Paz del Río son de 198 millones de toneladas, en sus concesiones, de los cuales 44 millones se consideran coquizables y 22 millones aptos para la minería. Los yacimientos más importantes se explotan bajo tierra por el sistema de galerías, cámaras y pilares. La producción total de carbón en las concesiones de la empresa fue en 1979 de 514.000 toneladas.

El mineral del hierro y el carbón, luego de triturados y lavados en la zona minera de Paz del Río se transportan a la planta, 36 kmts., - por un tren eléctrico, propiedad de la empresa.

Los depósitos de caliza se explotan a cielo abierto en Belencito, adyacente a la planta. Las reservas probadas de caliza en las concesiones de Paz del Río se calculan en 12 millones de toneladas. La producción de caliza para 1979 fue de 320.000 toneladas.

Debido a las condiciones específicas de las materias primas (bajo contenido de hierro y alto contenido de sílice) se escogió el sistema de sinterización para la preparación de las materias primas. Con este sistema se aprovechan por aglomeración los finos del mineral de hierro, carbón, calizas y de coque (proceso de coquería). La planta de sinterización tiene una capacidad de 1.200 toneladas por día. La producción de - sinterización en 1979 fue de 297.929 toneladas.

La planta de coquización tiene una capacidad de 355 mil toneladas por año.

Adyacente a la coquería se encuentra la planta de subproductos, - derivados del gas del coque, donde se produce alquitrán puro, brea, sulfato de amonio, ácido sulfúrico, naftalina, abono fosfórico, benzol para motor y benzol pesado. El gas remanente se utiliza como combustible en el calentamiento de la batería de coque en los hornos de precalentamiento en la sección de laminación. La producción de coque en 1979 fue de - 235.721 toneladas.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
BIBLIOTECA Y DOCUMENTACION
PROCESOS TECNICOS

Para la obtención del arrabio, Paz del Río cuenta con un alto horno de 689 mts.^{3} de volumen, con sistema de inyección fuel-oil para tres quemadores, y el sistema de limpieza de gas. La fundición se efectúa a temperaturas superiores a 1.300º C.

La capacidad del horno en 1979 era de 260.000 toneladas por año. La producción de arrabio en 1979 fue de 199.299 toneladas. El arrabio líquido es transportado a la acería en cucharas de 40 toneladas de capacidad movidas por carros de transferencia. Se deposita en una mezcladora con capacidad de 800 toneladas de donde es vertida en tres hornos convertidores Thomas. Cada convertidor tiene una capacidad de 20 toneladas.

El proceso de aceración en los convertidores, consiste en someter el arrabio a una corriente de aire enriquecido con oxígeno, que con la cal adicionada, sirve para eliminar los excesos de ciertos elementos como carbono, silicio y fósforo.

El acero líquido, salido del convertidor, es vertido en cucharas de material refractario y transportadas por puente-grúas, para ser vaciado en lingoteras; obteniéndose así el acero en lingotes.

La producción total de acero en lingote para 1980 fue de 208 toneladas. La capacidad total de acería se estima en 300.000 toneladas/año.

Continúa la laminación, para lo cual los lingotes se recalientan en hornos de foso provistos de quemadores. En seguida son desbastados en el tren dúo (blooming-slabirg), con cilindros de 1.100 m.m., motor eléctrico de 3.000 HP con capacidad efectiva de desbaste de un millón de toneladas/año.

La producción efectiva fue para 1980 de 222.650 toneladas. En este laminador se reciben los lingotes de sección cuadrada y rectangular, para salir transformados en tochos, destinados a la fabricación de aceros no planos, y los planchones para la producción de acero plano. Los tochos pasan al laminador de 710 m.m. con capacidad de producción de 280.000 toneladas/año.

De aquí salen los tochos transformados en perfiles estructurales medianos para la venta, o en palanquilla que va a alimentar el tren 450 (compuesto de diez bastidores con cilindros de 450 a 280 m.m.). La palanquilla se lamina para obtener redondos estructurales, barras lisas, varillas corrugadas, y el redondo para alimentar el tren de alambrón 250 que consta de seis bastidores, con cilindros de 250 m.m..

Con el alambrón producido, se producen alambres lisos y de púas; para ello se cuenta con equipo para decapado, estirado, galvanizado y recocido.

La producción de planchones provenientes del laminador 1.100 va a ser transformada en planos en caliente. Para ello se cuenta con el siguiente equipo:

- Tren Steckel reversible de 1.425 m.m., con una capacidad nominal de producción de 400.000 toneladas/año. La producción en 1980 fue de 30.000 toneladas.

- Tren desbastador trio de lámina en caliente con cilindro superior e inferior de 810 m.m. y central de 500 m.m.

- Dos trenes dúos terminadores de lámina en caliente de 762 m. m. de diámetro en los cilindros.

Fuera de ésto, Paz del Río cuenta con un equipo para el recocido, decapado, galvanizado, escobillado y corrugado de lámina.

La producción final de Paz del Río se compone en la actualidad de:

1. Barras lisas y corrugadas
2. Perfiles estructurales
3. Lámina en caliente
4. Alambrón y alambre.

La producción para 1980 se discriminó:

	Miles de Tns.	Porcentaje
Barras redondas	100,7	49,7 %
Perfiles estructurales	5,5	2,7 %
Lámina en caliente	25,3	12,5 %
Alambre y alambrón	71,1	35,1 %
T O T A L	202,6	100,0 %

Además, Paz del Río produjo 4.800 toneladas de palanquilla para la venta (ver cuadro Nº 3 y gráfico Nº 1).

1.2.2. Descripción del proceso de producción de las plantas semi-integradas

La producción de acero en las plantas semi-integradas parte de la

Cuadro Nº 3

ACERIAS PAZ DEL RIO — PRODUCCION DE ACERO

(Miles de Toneladas)

Año	Producción de acero lingote	Producción de acero terminado	Barras y Varillas	Perfiles 1/	Alambre y Alambrón	Lámina en caliente	Semi-terminados 2/
1955	42,8	35,1	27,4	6,9	0,8	----	nd
1956	90,4	72,4	63,0	7,0	2,4	----	nd
1957	114,4	90,4	49,0	29,4	12,0	----	nd
1958	121,0	88,0	54,3	25,3	8,4	----	nd
1959	108,8	78,7	52,3	10,1	16,3	----	nd
1960	156,7	113,4	80,9	13,2	19,3	----	nd
1961	176,0	121,1	87,0	14,5	19,6	----	nd
1962	136,5	122,1	85,1	12,2	24,8	----	nd
1963	201,1	174,7	126,2	6,7	28,3	13,5	10,5
1964	197,0	180,9	130,8	6,4	29,4	14,3	16,8
1965	204,1	176,5	101,9	15,8	40,7	18,1	17,3
1966	174,8	155,2	81,8	8,9	40,9	23,6	16,9
1967	208,3	158,8	81,3	11,4	43,5	22,6	8,4
1968	200,0	155,8	92,0	5,3	36,2	22,3	8,1
1969	208,2	200,8	128,3	3,9	45,0	23,6	10,7
1970	242,0	198,1	121,4	0,2	53,6	17,9	5,1
1971	248,2	210,5	135,9	3,0	41,5	30,1	4,9
1972	276,0	186,9	107,6	3,9	50,2	25,2	26,4
1973	262,0	159,5	71,1	3,3	64,5	20,8	27,8
1974	244,0	188,2	95,6	4,3	57,7	30,6	9,4
1975	266,6	191,1	115,6	5,4	58,1	12,0	11,0
1976	252,2	175,3	99,0	3,0	50,3	23,0	9,4
1977	211,9	162,9	81,0	4,5	53,5	23,9	4,8
1978	218,3	208,1	103,4	5,6	71,8	27,3	6,9
1979	219,3	180,4	89,7	4,9	63,3	22,5	8,7
1980	208,0	202,6	100,7	5,5	71,1	25,3	4,8

1/ Incluye ocasionales producciones de rieles en mínimas cantidades.

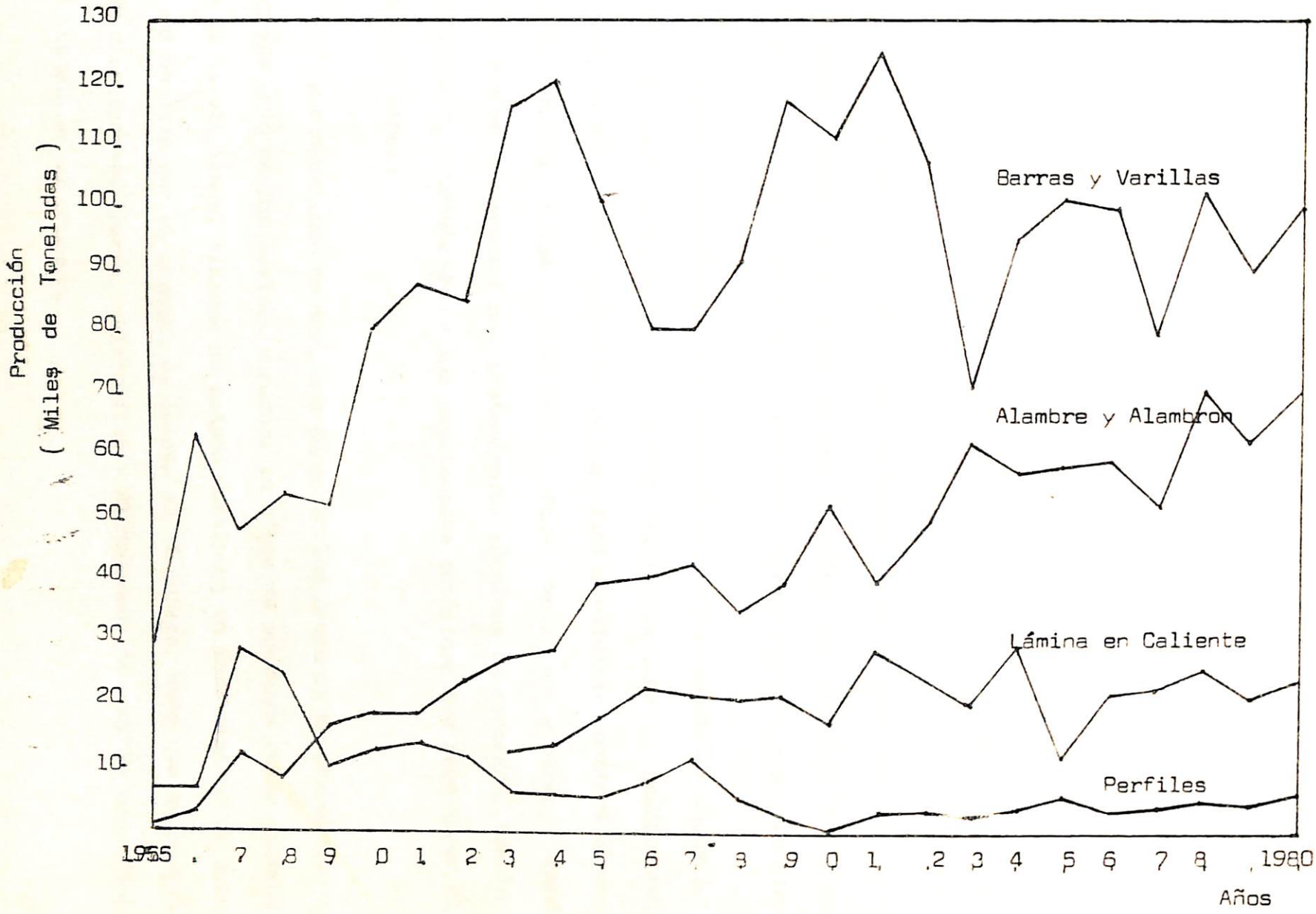
2/ Palanquilla para la venta.

nd: No disponible

FUENTE: Acerías Paz del Río, Departamento de Investigaciones Económicas

Gráfico Nº 1

ACERIAS PAZ DEL RIO : COMPOSICIÓN DE LA PRODUCCIÓ DE ACERO.



fusión de la chatarra y el hierro esponja (materias primas fundamentales) en hornos eléctricos de arco; el producto de esta fusión es acero crudo, el cual se vierte en moldes. El proceso de laminación es el mismo que - el descrito anteriormente para el proceso integrado.

El proceso de reducción directa: Se diseñó para sustituir, parcialmente, el uso de chatarra por el hierro esponja como materia prima - en las siderúrgicas semi-integradas. El hierro esponja se obtiene por - medio de la eliminación de oxígeno presente en el mineral del hierro, lo cual permite aumentar su grado de metalización. Los procesos de reducción directa pueden utilizar gas natural o carbón mineral como reductor.

Aceros especiales: La producción de aceros especiales sigue los mismos procesos de fundición y laminado utilizados para los aceros ordinarios; la diferencia radica en la composición química: contiene elementos de aleación, tales como el cromo, níquel, molibdeno y otros. Además, estos aceros son sometidos a tratamientos térmicos de recocido, temple y normalizado, dependiendo de las propiedades mecánicas que deba tener el producto final.

Es conveniente anotar, que tanto en los procesos de producción integrada como en los semi-integrados, la etapa de desbaste puede eliminarse si se utiliza el sistema de colada continua; en éste sistema el acero crudo no pasa por el proceso de colada en lingotera, sino que se obtienen directamente tochos, palanquilla y planchones, ganando de esta forma eficiencia en el proceso.

1.2.2.1. Descripción del proceso de producción en SIMESA

SIMESA cuenta en la sección de acería con un horno Lectromelt - de 30 toneladas por colada, de donde sale el acero líquido que va a ser conducido a las lingoteras, de donde salen los lingotes de 182 a 200 kgrs. que son recalentados en un horno de viga móvil, para ser desbastados en un tren de 400 m.m.; los lingotes reciben aquí hasta once pasadas para - obtener palanquilla de $2\frac{3}{8}$" . La palanquilla es recalentada en dos - hornos continuos de siete toneladas/hora y cuatro toneladas/hora de capacidad para alimentar el tren laminador de 300 m.m.; este laminador se - usa como terminador en el caso de secciones superiores a $\frac{1}{2}$" y como laminador intermedio cuando el producto final consiste en acero redondo de - $\frac{1}{2}$" de diámetro.

Para terminar las barras redondas de $\frac{1}{2}$" y de sección menor, así como el alambrón y los perfiles, se pasa por el laminador de 275 m.m., y el semi-integrado 250. Ya se encuentra instalada una máquina de colada continua que entró en operación a mediados de 1980. (Ver cuadro Nº 4 y - gráfico Nº 2.)

1.2.2.2. Descripción del proceso de producción en SIDELPA

SIDELPA, al ser una siderúrgica semi-integrada, fabrica el acero a partir de chatarra ferrosa. La producción se realiza en los siguientes departamentos: Acería, Laminación y Terminación.

Acería: En esta área se transforma la chatarra en acero bruto.

Cuadro Nº 4

PLANTAS SEMI-INTEGRADAS – PRODUCCION DE ACERO TERMINADO

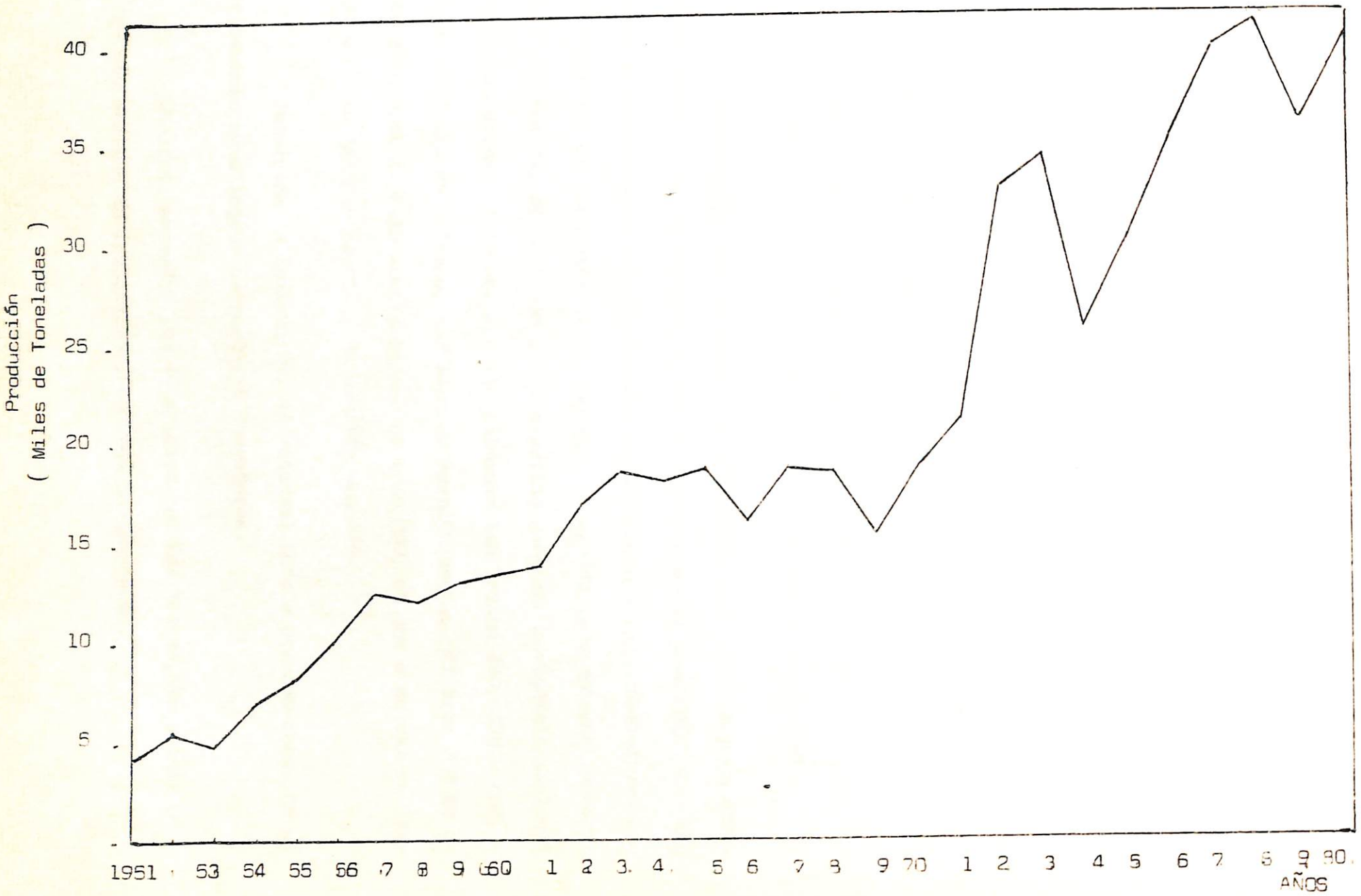
(Miles de Toneladas)

AÑO	SIMESA	SIDELPA	METALBOYACA	SIDEMUÑA	OTROS 1/	TOTAL
1951	4,3	———	———	———	———	4,3
1952	5,3	———	———	———	———	5,3
1953	4,7	———	———	———	———	4,7
1954	6,9	———	———	———	———	6,9
1955	8,0	———	———	———	———	8,0
1956	10,8	———	———	———	———	10,8
1957	12,8	———	———	———	———	12,8
1958	12,7	———	———	———	———	12,7
1959	13,0	———	———	———	———	13,0
1960	13,4	———	———	———	———	13,4
1961	13,8	———	———	———	———	13,8
1962	16,9	———	———	———	———	16,9
1963	18,9	3,8	7,2	———	———	29,9
1964	18,3	9,0	10,2	5,6	———	43,1
1965	19,0	11,5	10,9	5,1	———	46,5
1966	16,3	13,3	13,8	3,8	———	47,2
1967	18,9	17,1	9,3	5,8	———	51,1
1968	18,4	21,5	13,8	8,2	———	61,9
1969	15,2	26,2	21,2	8,0	1,1	71,7
1970	19,0	27,3	28,3	7,7	3,4	85,7
1971	21,6	27,9	31,9	8,6	1,6	91,6
1972	32,7	29,0	32,4	11,1	8,1	113,3
1973	33,6	29,3	28,4	14,5	6,9	112,7
1974	25,2	30,9	16,6	15,0	5,9	93,6
1975	30,2	31,4	27,4	15,9	6,2	111,1
1976	35,0	34,0	26,7	22,7	5,6	124,0
1977	39,1	36,3	26,0	20,3	2,5	124,2
1978	41,0	39,9	31,9	23,0	5,6	141,4
1979	35,9	35,1	27,8	23,9	4,9	127,6
1980	40,2	39,4	31,2	26,9	5,6	143,4

1/ SIDUNOR y FUTEC, barras y varillas.

Gráfico Nº 2

SIMESA: Producció de Acero Terminado



La chatarra previamente seleccionada se deposita en canastas de cargue - por medio de un electroimán; una vez pesada se pasa a los hornos eléctri cos.

El descargue de la chatarra se hace por el fondo de la canasta previo desplazamiento de la bóveda del horno; posteriormente se realiza la fusión de la carga. Una vez logrados los requisitos químicos y metalúrgicos se procede al vaciado del acero en cucharas para ser colado en lingoteras o en colada continua.

Los lingotes o palanquilla son marcados y llevados al patio de lingotes para continuar su procesamiento en el área de laminación.

Laminación: Los lingotes son esmerilados con el objeto de acondicionarlos en la superficie, a fin de cargarse en el tren 450. Los lingotes o palanquillas son previamente calentados a altas temperaturas para facilitar la reducción de su sección. Obtenida la dimensión requerida o programada, se conducen a las cizallas para ser cortadas a la longitud establecida. Esta palanquilla alimenta los trenes 350, 320 y 250. - En el tren 320 se obtienen perfiles de sección media. El tren 350 es utilizado como desbase auxiliar para el tren 250, el que a su vez es utilizado para laminar perfiles de sección pequeña.

Terminada la laminación, el material pasa a grandes mesas de enfriamiento para lograr estructuras homogéneas.

Una vez laminados los materiales por los trenes, se inicia un - riguroso proceso de inspección y control de dimensión.

Posteriormente, los perfiles son sometidos al proceso de enderezado y corte.

En base a su utilización inmediata, los aceros se someten a diferentes tratamientos térmicos como temple, revenido (bonificado), recocido y normalizado, para garantizar determinadas características mecánicas. (Ver cuadro Nº 4 y gráfico Nº 3)

1.2.2.3. Descripción del proceso de producción en METALBOYACA

Solo desde 1974 cuenta METALBOYACA con un horno Lectomelt de - 17,6 toneladas/colada para la producción de lingote. Anterior a esta fecha, compraba la palanquilla a Paz del Río para someterla al proceso de laminación.

El proceso de laminación es el siguiente: En el tren 380 se - desbastan los lingotes en palanquilla de 2 2/2" x 2 3/4" que alimentan los trenes 250 de la forma siguiente:

Tren 1

Angulos: 1/8" x 3/4" y $\frac{1}{4}$ x 2"

Perfiles Z, T, canales U y cuadrados:

1/8 x 3/4", 1/8 x 1", 6/16" x $1\frac{1}{2}$"

Tren 2

Platinas pequeñas, cuadrados y redondos:

1/8" x 1/2" a 3/16" x $1\frac{1}{4}$"

Tren 3

Redondos cuadrados y Platinas: 4"

Platinas machanas: $\frac{1}{2}$" x 1" a $\frac{1}{2}$" x 3"

A partir de 1979 se cuenta con una máquina de colada continua - para la producción de palanquilla que suministran en forma directa y continua los trenes de laminación. (Ver cuadro Nº 4 y gráfico Nº 4.)

1.2.2.4. Descripción del proceso de producción en SIDEMUÑA

En la parte de acería cuenta con un horno Lectomelt de dos toneladas (desde el inicio de sus operaciones), un horno Brown Boveri de 6 - toneladas por colada. Además, desde 1977 cuenta con una máquina de colada continua.

Por el lado de la laminación, la firma cuenta con un tren laminador de 260 m.m., de capacidad 20.000 toneladas/año, desde 1973, cuenta con un tren desbastador Dúo de 450 m.m. (lingote de 160 kgrs.). Otro - tren laminador de 260 m.m.; de esta manera se llega a tener una capacidad de 35.000 toneladas por año en aceros laminados. (Ver cuadro Nº 4 y - gráfico Nº 5)

1.3. EVOLUCION DE LA PRODUCCION Y LA DEMANDA DE ACERO

Como se menciona anteriormente, la Industria Siderúrgica se remonta a 1938 con la creación de la Industria Siderúrgica de Medellín, SIMESA, que instala pequeñas capacidades de producción de acero redondo con el - proceso semi-integrado.

Gráfico Nº 3

SIDELPA ; PRODUCCION DE ACERO TERMINADO

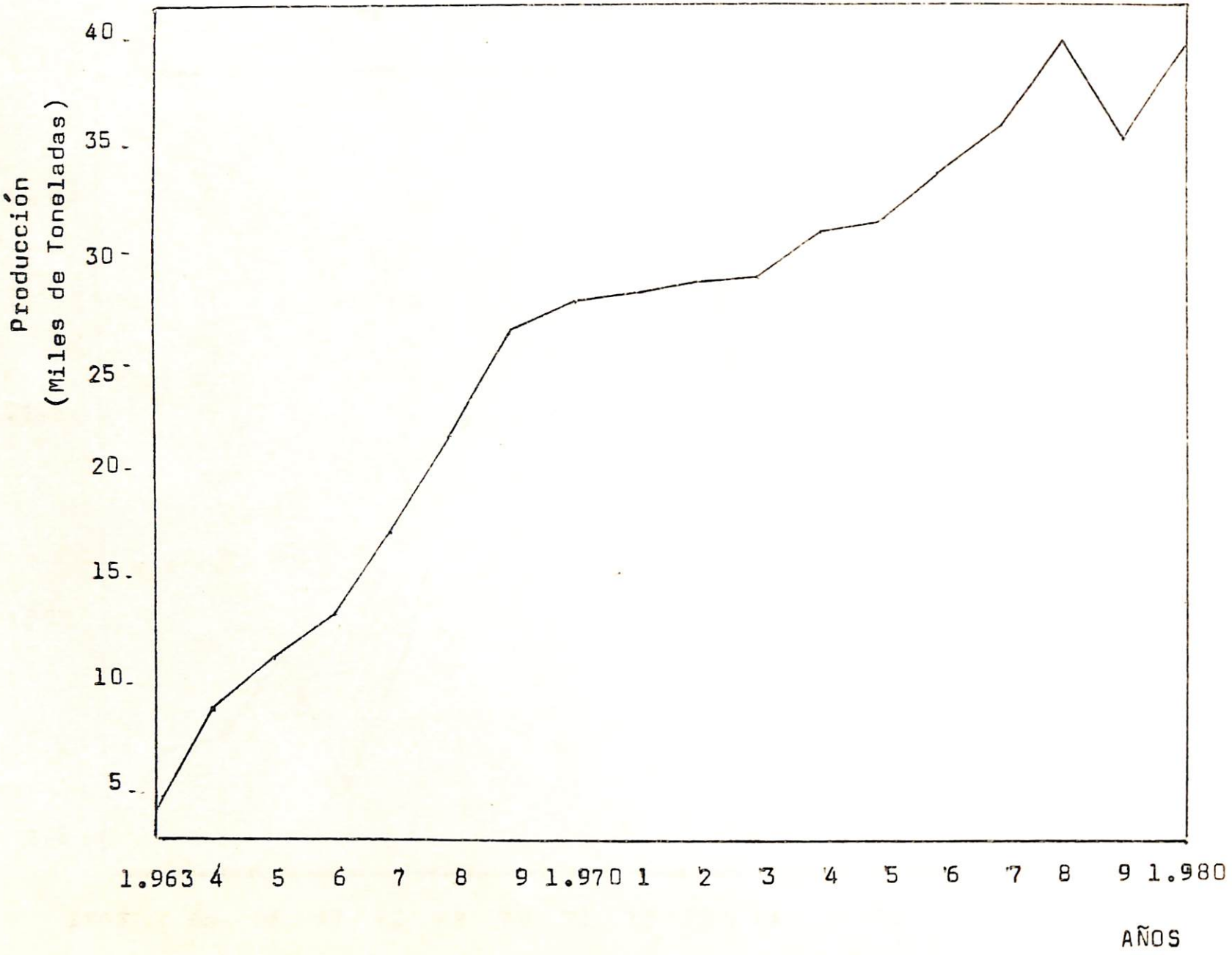


Gráfico No.4

METALBOYACA :PRODUCCION DE ACERO TERMINADO

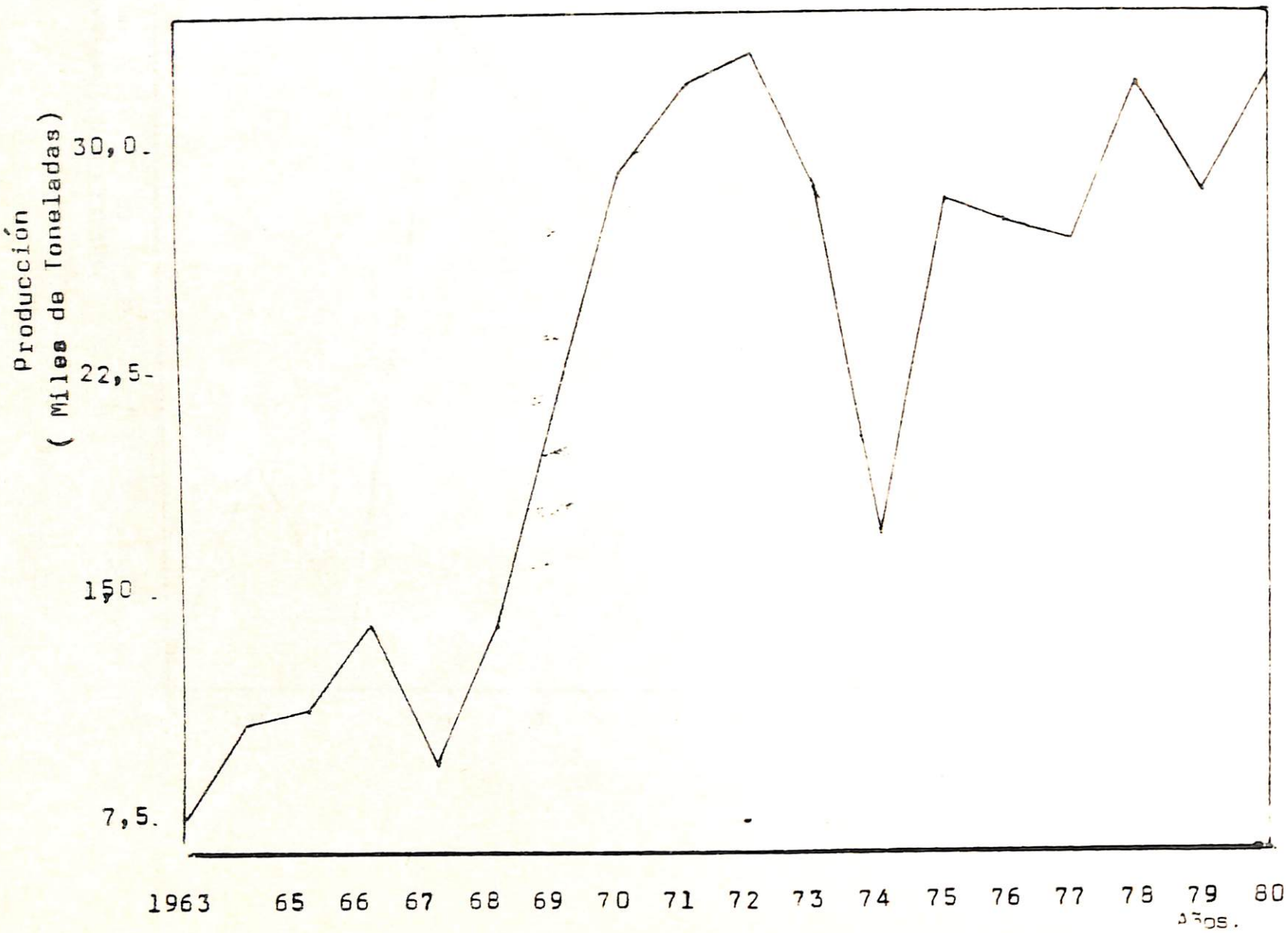
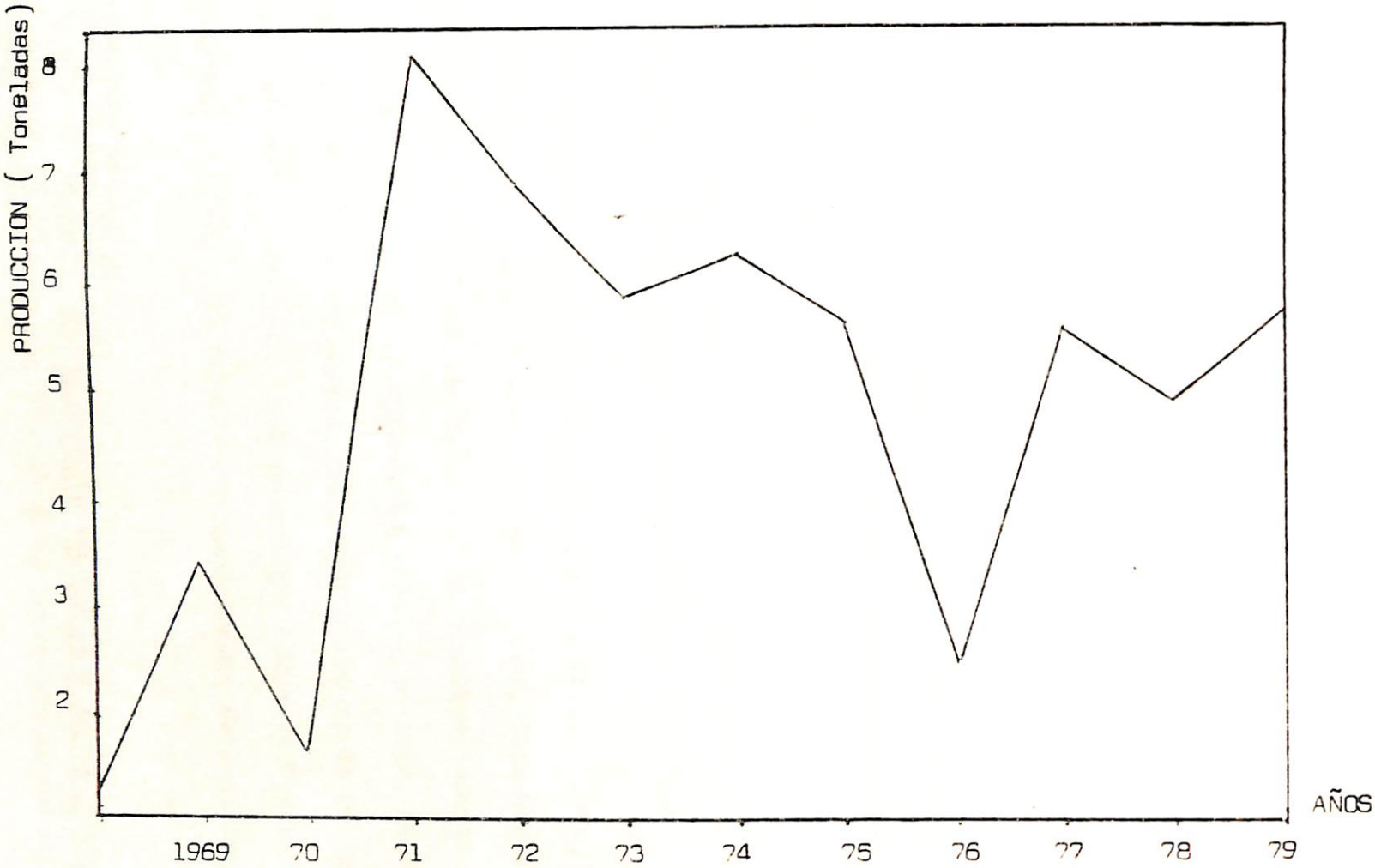


Grafico No 5

OTROS: PRODUCCION DE ACERO TRRMINADO



En 1954, promovido directamente por el Estado, se introduce en el país el proceso integrado de producción de acero con la empresa Paz del Río.

Se distinguen claramente tres etapas en el desarrollo del sector.(1) En la primera, entre 1957 y 1963, la producción de acero en lingote creció a una tasa promedio del 18 % anual; crecimiento que refleja el estado expansivo general de la industria, en parte como resultado de las políticas específicas del gobierno (2) y por el gran aumento de ingresos de divisas por la elevación inesperada y extraordinaria de los precios externos del café.

Es así como se aumenta la demanda de acero para la construcción y la industria naciente de artículos mecánicos y metálicos.

El fenómeno anterior incentivó fuertemente la oferta; así es como se fundan nuevas empresas en el sector: en 1961, Siderúrgica del Pacífico, SIDELPA, en la ciudad de Cali, con el objetivo inicial de satisfacer el mercado regional del occidente del país; y en 1964, Siderúrgica del Muña, situada al sur de Bogotá, para satisfacer parte de la demanda inmediata del centro del país. Las anteriores son siderúrgicas de tipo semi integrado. En 1963, únicamente con capacidades de laminación, se crea -

---

(1) G. Puerta: El desarrollo tecnológico en la industria siderúrgica colombiana, Programa BID-CEPAL de investigaciones en Ciencia y Tecnología. Abril de 1979.

(2) Gabriel Poveda Ramos: Políticas Económicas. Desarrollo industrial y tecnología en Colombia, 1925 - 1975. COLCIENCIAS. Segunda edición, Bogotá, 1979.

la empresa Metalúrgica Boyacá situada muy cerca de las instalaciones de Paz del Río en el municipio de Tuta.

En la segunda etapa, comprendida entre 1964 - 1972, el crecimiento de la producción descendió a una tasa promedio anual del 6 % , valor que refleja el hecho de que las empresas existentes solo se dedicaron en esta época a aumentos más bien marginales de las capacidades de producción existentes. Un fenómeno que contrarresta la tendencia es la creación de dos pequeñas plantas semi-integradas: Siderúrgica del Norte, en 1969, situada en Barranquilla, y Fundiciones Técnicas, FUTEC, situada en Medellín, fundada en 1971. Además, en 1968, se creó la empresa Colombiana de Arrabio con apoyo institucional del gobierno a través del Instituto de Fomento Industrial (IFI), para la producción de arrabio en forma integrada con destino fundamental de abastecer de arrabio a las fundidoras de hierro en Bogotá.

El último período, 1972 - 1978, en que se observa un estancamiento en el crecimiento de la producción, básicamente por las bajas en el nivel de producción de Paz del Río. Hubo aumentos importantes de la producción semi-integrada.

A partir de 1979 se observa una ligerísima reactivación del sector por haberse introducido en este año, en la mayor parte de las siderúrgicas semi-integradas, el proceso de colada continua; a pesar de ésto, en ocasiones se registran estancamientos o bajas en la producción.

En cuanto a Acerías Paz del Río, existe el recientemente utilizado sistema LWS para la producción de arrabio; como también, mejoras en el -

sistema de laminación, lo que lógicamente lleva a aumentos en la producción tanto en la parte de acería como en el sistema de laminación y en la sección de terminado.

Mirado hacia el futuro, no se vislumbra ninguna ampliación importante en la capacidad de las empresas, a pesar de existir un exceso de demanda creciente.

El único proyecto importante es el establecimiento de una nueva empresa siderúrgica: FERROMINERA, para la producción exclusiva de hierro esponja, materia prima fundamental para la producción de terminados en las siderúrgicas semi-integradas, que remplaza el uso de la chatarra, insumo que ha sido cuello de botella para estas empresas por la necesidad de importarse, ante la ausencia de suficiente chatarra nacional.

El estudio está adelantado suficientemente en cuanto a prefactibilidad, factibilidad, etc.; sin embargo está estancado pues no se ha iniciado la construcción de las instalaciones, etc., principalmente por la indecisión de los principales accionistas, constituidos por las siderúrgicas semi-integradas.

La indecisión en cuanto a este proyecto específico, y la no existencia de nuevos planes audaces para el sector, visto en una perspectiva a más largo plazo, parece deberse en buena parte a las siguientes razones:

1. La no existencia de una política clara en cuanto a la siderurgia por parte del gobierno, lo cual genera políticas conservadoras de las empresas del sector; ya que por ser de propiedad privada se mueve, en sus políticas generales, por el criterio oligopóli-

co de defender el sector, buscando la maximización de la - ganancia (no de producción), sabiendo además que la exis - tencia de un gran exceso de demanda lo que logra es aumen- tar los niveles de ganancia.

2. La incertidumbre por parte de Paz del Río en cuanto a algu nos aspectos jurídicos de las minas de hierro, caliza y - carbón sobre las cuales el gobierno no parece muy interesa do en resolver.

Respecto a la composición de la producción de los aceros terminados, han pesado siempre los productos que van a ser importantes en el sector de la construcción. Tenemos que para 1980 el 66,3 % de la producción to tal, estuvo compuesto por barras, varillas y perfiles. Los productos de alambre constituyen el 20,5 %. Los aceros laminados en caliente produ- cidos únicamente por Paz del Río desde 1963 contribuyen con el 8 % y - los aceros especiales producidos únicamente por SIDELPA representan des- de 1966, únicamente, el 5 % del total.

No hay duda que la situación de estancamiento por el lado de la ofer ta, repercute en cierta manera sobre el consumo frenándolo en alguna for ma.

Se tiene que el consumo de acero terminado creció a una tasa prome dio del 11 % anual entre 1958 y 1966; entre 1965 y 1971 la tasa descen dió a un 8 % ; entre 1972 y 1977 el consumo creció a un promedio del 2% anual; entre 1978 y 1980 el consumo creció a un promedio del 7 % anual.

En todo caso la demanda excedente se ha venido satisfaciendo por importaciones, en donde cabe resaltar que los aceros planos laminados en frío y los especiales son los dos tipos de acero más importantes en la composición de las importaciones, por su nula producción local en el caso de los laminados en frío y su precaria producción en el de los aceros especiales. (Ver cuadros números 5, 6, 7, 8 y 9, y gráficos números 6 y 7.)

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
BIBLIOTECA
PROCESOS TECNICOS

Cuadro Nº 5

PRODUCCION TOTAL DE ACERO EN LINGOTE

(Miles de Toneladas)

Año	Paz del Río	Semi-integradas	Total
1951	-----	5,2	5,2
1952	-----	5,6	5,6
1953	-----	5,6	5,6
1954	-----	8,3	8,3
1955	42,8	9,6	52,4
1956	90,1	12,9	103,0
1957	84,4	15,3	99,7
1958	121,0	15,2	136,2
1959	108,8	15,6	124,4
1960	156,7	16,0	172,7
1961	176,0	16,5	192,5
1962	136,5	20,2	156,7
1963	201,1	27,1	228,2
1964	197,0	36,9	233,9
1965	204,1	36,7	240,8
1966	174,8	42,2	216,0
1967	208,3	49,2	257,5
1968	200,0	59,5	259,5
1969	208,2	63,4	271,6
1970	242,0	59,6	301,6
1971	248,2	77,5	325,7
1972	276,0	96,8	372,8
1973	262,6	96,1	358,7
1974	244,0	99,2	343,2
1975	266,6	123,6	390,2
1976	252,2	128,3	380,5
1977	211,9	142,7	354,6
1978	218,3	146,1	365,4
1979	219,3	147,4	366,7
1980	208,0	144,5	352,5

FUENTE: Germán Puerta: El desarrollo tecnológico en la industria siderúrgica colombiana. Programa BID-CEPAL de investigaciones en ciencia y tecnología, 1981.

Cuadro Nº 6

COMPOSICION DE LA PRODUCCION DE ACERO TERMINADO

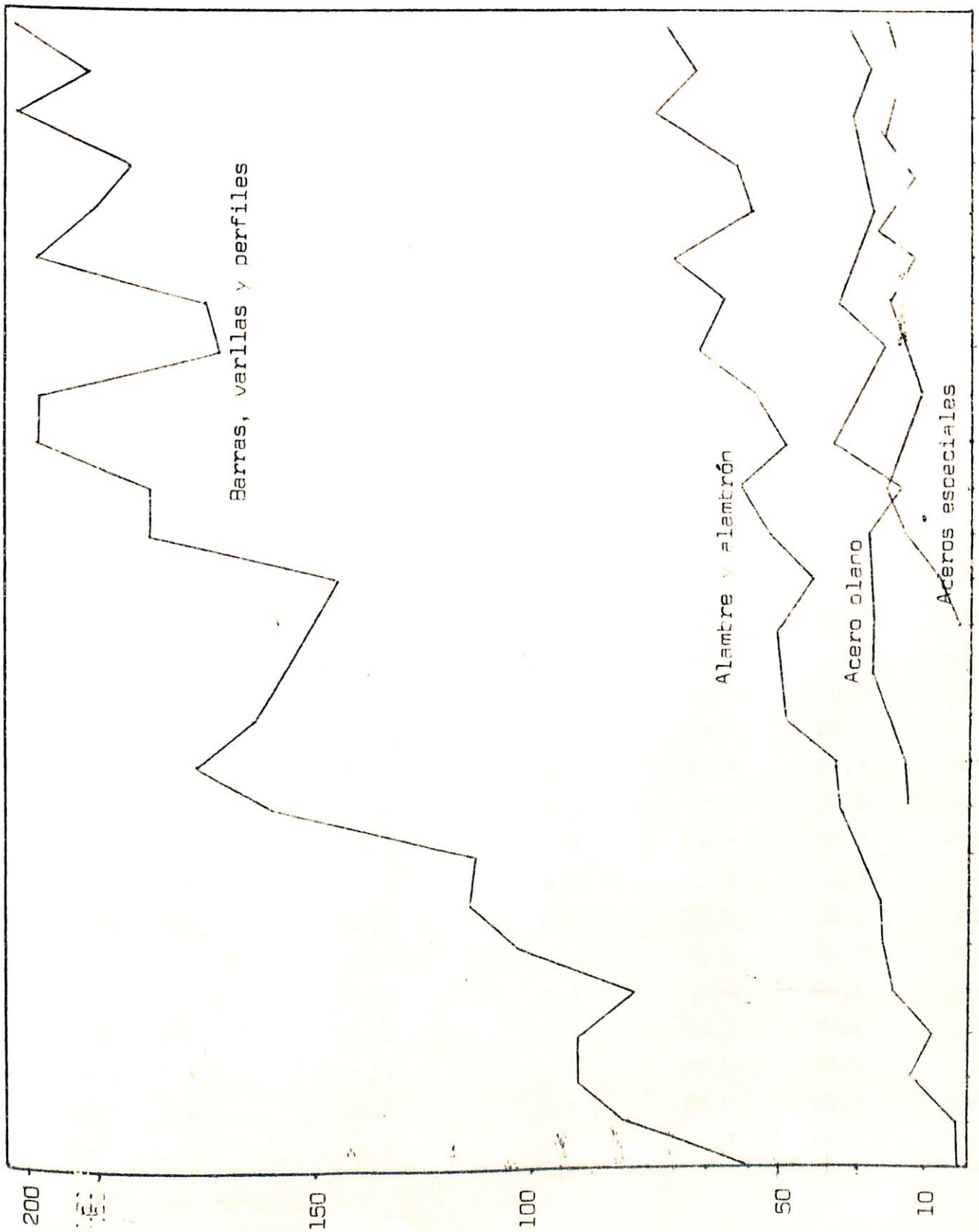
(Miles de Toneladas)

Año	Barras, Varillas y Perfiles	Alambre y Alambrón	Acero Plano	Aceros Especiales	Total
1955	42,3	0,8	----	----	43,1
1956	80,8	2,4	----	----	83,2
1957	91,2	12,0	----	----	103,2
1958	92,3	8,4	----	----	100,7
1959	78,4	16,3	----	----	94,7
1960	107,5	19,3	----	----	126,8
1961	115,3	19,6	----	----	134,9
1962	114,2	24,8	----	----	139,0
1963	162,8	28,3	13,5	----	204,6
1964	180,3	29,4	14,3	----	224,0
1965	164,2	40,7	18,1	----	223,0
1966	137,9	40,9	23,6	----	202,4
1967	140,0	43,5	22,6	3,8	209,9
1968	152,1	36,2	22,3	7,1	217,7
1969	187,9	45,0	23,6	16,0	272,5
1970	187,6	53,6	17,9	19,7	283,8
1971	215,7	41,5	30,1	14,8	302,1
1972	212,7	50,2	25,2	12,1	300,2
1973	172,7	64,5	20,8	14,4	272,2
1974	175,9	57,7	30,6	17,6	281,8
1975	214,6	68,1	12,0	13,5	302,2
1976	202,8	50,3	23,0	20,1	299,4
1977	191,1	53,5	23,9	13,6	287,1
1978	231,8	71,8	26,7	19,2	349,5
1979	204,3	63,3	23,5	16,9	308,0
1980	229,4	71,1	26,4	19,1	346,0

FUENTE: Germán Puerta: El desarrollo tecnológico en la industria siderúrgica colombiana. Programa BID-CEPAL de investigaciones en ciencia y tecnología, 1981.

Grafico Nº 6

COMPOSICION TOTAL DE ACERO TERMINADO



Cuadro Nº 7

COMPOSICION DE LAS IMPORTACIONES DE ACERO

(Miles de Toneladas)

Año	Acero Plano 1/	Barras, Varillas y Perfiles	Alambre y Alambrón	Aceros Especiales	Otros 2/	Total
1951	30,9	46,2	16,8	nd	10,6	104,5
1952	32,8	33,0	22,2	nd	10,5	98,5
1953	52,5	33,2	26,6	nd	23,4	185,6
1954	71,8	99,0	41,4	nd	3,3	215,5
1955	68,6	75,3	30,3	nd	2,7	176,9
1956	96,4	50,0	31,7	nd	9,2	187,3
1957	63,8	3,2	27,7	nd	5,4	100,1
1958	41,0	3,0	17,5	nd	3,2	64,7
1959	65,3	1,8	15,0	nd	10,5	91,8
1960	92,2	3,6	23,7	nd	14,1	133,6
1961	100,4	1,9	7,3	nd	1,9	111,5
1962	88,1	5,3	2,4	nd	7,0	102,2
1963	80,2	1,4	3,0	nd	6,7	91,3
1964	99,4	3,0	19,7	nd	2,2	124,3
1965	103,7	6,4	3,4	7,2	4,5	125,2
1966	208,6	18,8	3,6	14,1	3,4	248,5
1967	128,1	8,8	1,8	11,3	0,7	150,7
1968	151,3	7,8	2,7	14,7	10,7	187,2
1969	200,5	25,3	3,2	18,7	29,7	277,4
1970	206,1	33,0	2,9	28,0	31,1	301,5
1971	208,3	57,8	1,3	17,1	32,5	317,0
1972	213,5	13,3	1,9	16,1	14,3	259,1
1973	197,9	2,8	2,3	22,1	3,4	228,5
1974	286,2	14,2	2,1	23,9	58,5	384,9
1975	227,8	16,7	1,3	54,8	63,4	364,0
1976	225,1	29,4	1,6	49,5	55,4	361,0
1977	222,0	38,3	1,7	29,3	31,0	322,3
1978	213,8	20,3	1,8	35,9	44,5	316,3
1979	236,4	22,4	2,1	39,5	49,3	349,7
1980	231,7	21,9	2,1	38,7	48,3	342,7

1/ Incluye tubería.

2/ Semiterminados y rieles.

nd: no disponible.

FUENTE: Germán Puerta: op. cit.

Cuadro Nº 8

CONSUMO APARENTE DE ACERO TERMINADO

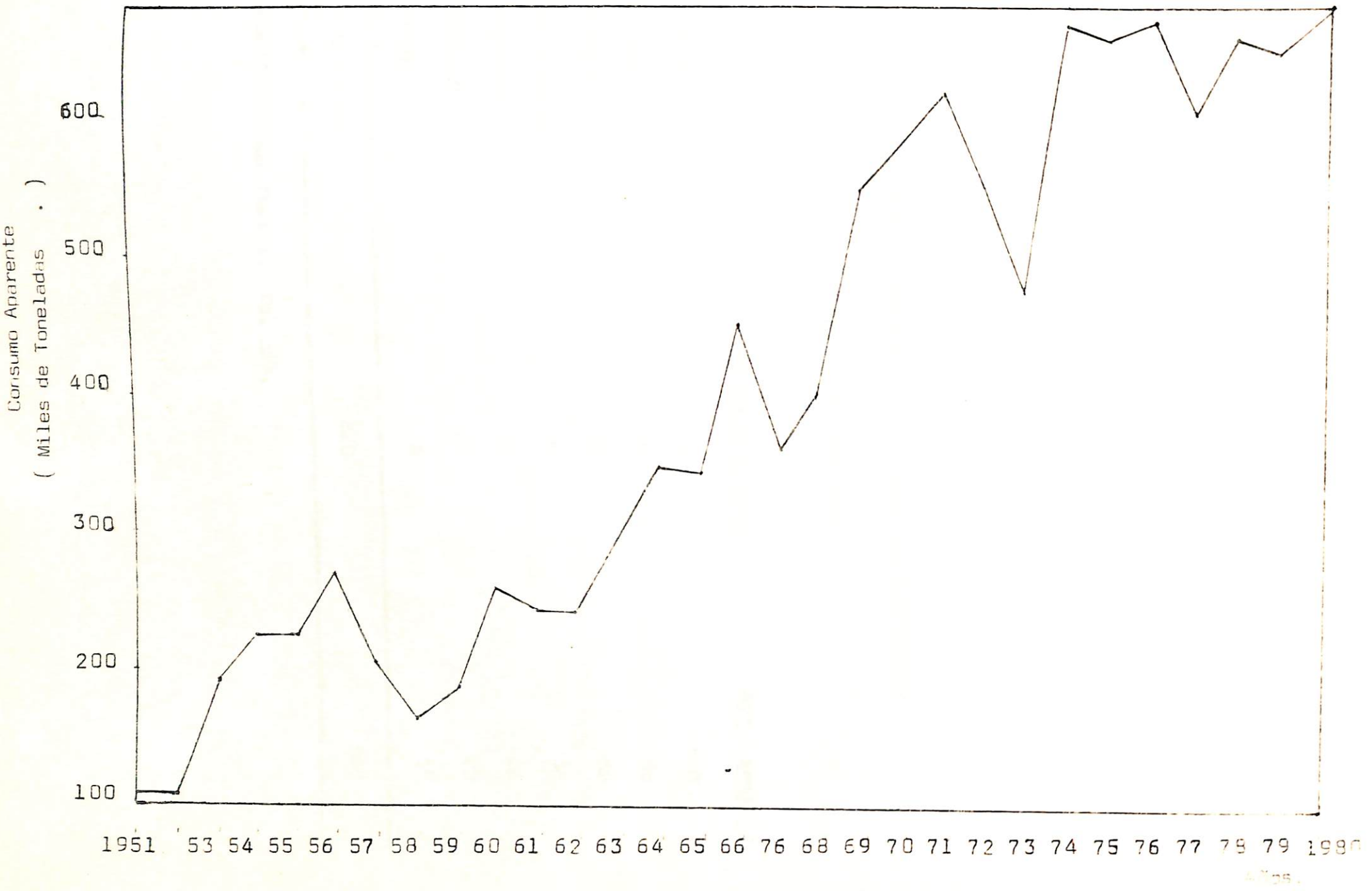
(Miles de Toneladas)

Año	Producción Nacional	Importaciones	Exportaciones	Consumo Aparente
1951	4,3	104,5	---	108,8
1952	5,3	98,5	---	103,8
1953	4,7	185,6	---	190,3
1954	6,9	215,5	---	222,4
1955	43,1	176,9	---	220,0
1956	83,2	187,5	---	270,7
1957	103,2	100,1	---	203,3
1958	100,7	64,7	---	165,4
1959	94,7	91,8	---	186,5
1960	126,3	133,6	---	260,4
1961	134,9	111,5	---	246,4
1962	139,0	102,8	---	241,8
1963	204,6	91,3	---	295,9
1964	224,0	124,3	---	348,3
1965	223,0	125,2	---	348,2
1966	202,4	248,5	---	451,2
1967	209,9	150,7	---	360,6
1968	217,7	187,2	---	404,9
1969	272,5	277,4	---	549,9
1970	283,8	301,5	3,1	582,2
1971	302,1	317,0	3,2	615,9
1972	300,2	259,1	5,9	553,4
1973	272,2	228,5	24,2	476,5
1974	281,8	384,9	5,7	661,0
1975	302,2	364,0	8,2	658,0
1976	299,4	361,0	16,7	643,7
1977	287,1	322,3	8,6	600,8
1978	349,5	316,3	12,6	653,2
1979	308,0	349,7	9,5	648,2
1980	346,0	342,7	8,3	680,4

FUENTE: Germán Puerta: Op. cit.

Gráfico Nº 7

CONSUMO APARENTE DE ACERO TERMINADO



Cuadro Nº 9

CAPACIDAD INSTALADA DE LA INDUSTRIA SIDERURGICA

(Miles de Toneladas)

Empresa	Acero en Lingote	Acero Laminado
PAZ DEL RIO	300	610
SIMESA	78	65
SIDELPA	50	50
METALBOYACA	35	45
SIDEMUÑA	32	35
SIDUNOR	20	20
FUTEC	5	15
TOTAL	520	840

FUENTE: Germán Puerta: Op. cit.

2. EFICIENCIA TECNICA DEL SECTOR SIDERURGICO

En este capítulo se toma la información pertinente de las siderúrgicas para obtener una medida de la eficiencia técnica relativa, mediante la comparación de las observaciones y se hace también una estimación de la función de producción.

El concepto de eficiencia técnica relativa se refiere a la relación entre la cantidad de producción actual obtenida y la cantidad máxima que se podría obtener de acuerdo a las cantidades de insumos.

Para la obtención de las eficiencias, se harán estimaciones para cada una de las empresas, con base en la información histórica. Por dificultad de obtener toda la información pertinente se trabajará con tres empresas del sector: Paz del Río, SIDELPA y SIDEMUÑA; cada una de las cuales es representativa de unas características productivas específicas que se señalan a continuación:

Grupo 1

Constituido por Paz del Río, única Siderúrgica Integrada del país, lo que implica que en la parte de acería sea cualitativamente diferente a las demás, pues el proceso se inicia con la extracción del hierro, la caliza y el carbón, para en una primera etapa producir el arrabio; poste

riormente, el hierro en lingote y finalmente el producto terminado (1).

Grupo 2

Constituido por SIDELPA, empresa semi-integrada del sector, pero - con la particularidad de que produce aceros especiales y aleados, lo que implica la utilización de insumos y tecnología ligeramente diferentes a las demás semi-integradas.

Grupo 3

Constituido por las demás siderúrgicas semi-integradas: SIMESA, SIDEMUÑA y METALBOYACA, con procesos, insumos, tecnología y productos finales similares.

Se considera que cada observación correspondiente a un año de operación es un estimativo de un proceso para la producción de acero terminado.

Los factores utilizados en el proceso productivo son:

Mano de obra, desagregada en mano de obra directa; para ello utilizamos como medida el número promedio de obreros empleados en la operación de las plantas durante el año en cuestión; y el personal profesional y técnico, para el cual también tomamos el número promedio de profesionales y técnicos.

Como materias primas directas, intervienen varios insumos básicos: mineral del hierro (Paz del Río), chatarra para las siderúrgicas semi-integradas, ambos medidos en miles de toneladas. Las definiciones y medi-

(1) Capítulo 1, explicación detallada del proceso productivo.

ciones de estos insumos son inmediatos y no ofrecen dificultades empíricas o teóricas.

En el caso del tercer insumo "Capital" siempre presenta mayores complicaciones, desde el punto de vista teórico.

Como dice M. Ramírez en su trabajo sobre transferencia tecnológica en la industria de energía eléctrica (1): "Hay dos candidatos principales para la definición del insumo capital; el valor en libros de los equipos y la capacidad productiva de la planta". Ninguno de los dos es completamente satisfactorio para los propósitos del presente estudio, y se ha decidido utilizar aquél que presente menos problemas teóricos y empíricos y de factible obtención.

Cuál de los dos es el más apropiado depende, dejando a un lado problemas de medición, de cuál es el propósito del estudio. Si se está interesado en estudios de tipo microeconómico de producción, el concepto más útil es el que está relacionado con la capacidad productiva de la empresa. Pero si se está interesado en estudios macroeconómicos, como por ejemplo el crecimiento económico, el más útil es el que refleja los sacrificios de consumo presente que son necesarios para obtener un aumento futuro en los ingresos.

Para las plantas de reciente instalación los dos conceptos están íntimamente ligados, puesto que entre mayor sea la capacidad de la plan-

---

(1) M. Ramírez: Transferencia de tecnología en la industria de energía eléctrica en Colombia. Tesis presentada en la Universidad de Yale, 1979. P. 21.

ta, mayor es su costo; pero para comparaciones de plantas construidas en momentos diferentes, esta relación puede no existir. Una planta de cierta capacidad construida hoy puede costar menos que una planta de la misma capacidad construida hace diez años, debido a los cambios tecnológicos en la construcción de la maquinaria de este tiempo. Puede suceder que haya diferencia de valor de plantas construidas en tiempos similares, valor que puede reflejar otros factores que no son capacidad productiva, por ejemplo: los costos de transporte, que pueden ser un factor importante y explicativo de las diferencias de valor de las plantas en Colombia.

La depreciación no se tuvo en cuenta en este estudio, puesto que parece ser que la maquinaria sufre más por obsolescencia que por desgaste físico; deja de ser usada porque es más costoso usarla, en comparación con maquinaria más moderna, y no porque haya perdido su capacidad productiva.

Desde el punto de vista empírico, la medida de la capacidad productiva es mucho más sencilla y precisa que cualquier otra medida de valor; particularmente cierto en una economía inflacionaria y en una industria sujeta a frecuentes cambios tecnológicos.

Por lo anterior, se decidió usar como medida del capital la capacidad productiva de la planta, expresada en miles de toneladas. Debemos recalcar que no se considera esta medida como ideal, sino la mejor medida disponible.

Otro insumo fundamental utilizado en la industria siderúrgica es la energía eléctrica medida en Megavatios Hora. Se logró obtener el consu-

mo histórico para las tres siderúrgicas (MWH).

Dividiendo los insumos por la cantidad de acero producido se obtienen los coeficientes de insumo-producto. (Ver Apéndice Nº 1)

Si se suponen rendimientos constantes a escala, dados estos coeficientes se puede obtener una función de producción y una medida de la eficiencia en forma sencilla.

Para ello, la teoría implícita se ilustra para un proceso productivo utilizando dos insumos.

Las observaciones históricas pueden ser representadas como aparecen en el gráfico Nº 8 en el que cada punto representa cantidades de insumo requeridas para producir una unidad de producto, usando el proceso estimado por una observación.

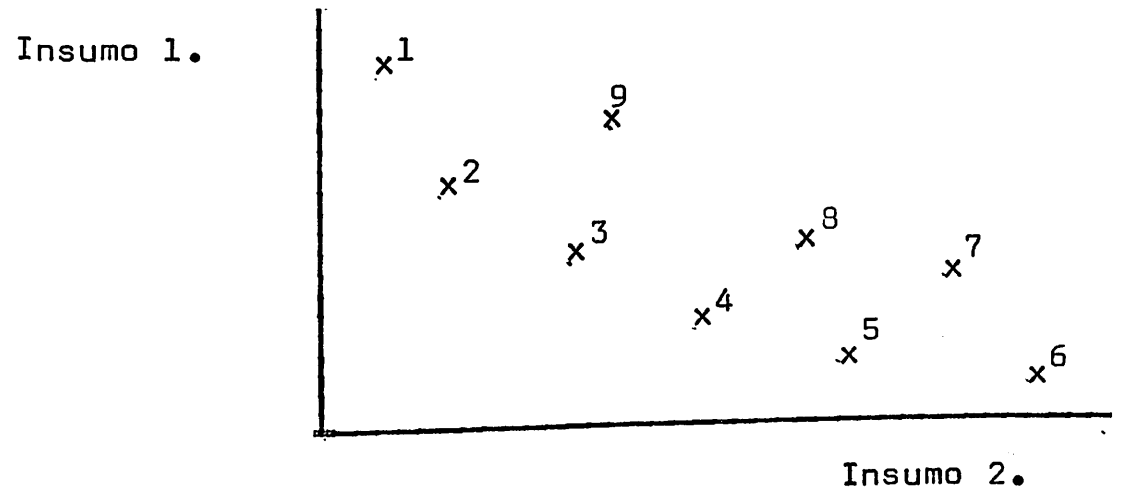


Gráfico Nº 8. CANTIDADES DE INSUMO REQUERIDAS POR UNIDAD DE PRODUCTO

Bajo las suposiciones usuales del análisis de actividades, la función de producción se obtiene, encontrando los procesos que son eficientes; es decir, si no hay ningún otro proceso que produzca la misma cantidad de producto utilizando cantidades iguales de por lo menos un insumo y menores de los demás insumos; o si no existe un proceso que produzca la misma cantidad de producto utilizando cantidades menores de todos los insumos.

En el gráfico Nº 8 los procesos 1, 2, 3, 4, 5 y 6 son eficientes, y los procesos 7, 8 y 9 son ineficientes; pueden haber procesos básicos, es decir procesos que no pueden ser expresados como combinación convexa (lineal) de otros procesos eficientes. En el gráfico Nº 8 los procesos 1, 2, 4, 5 y 6 son básicos; el preceso 3 no lo es, puesto que puede expresarse como combinación convexa de los procesos eficientes 2 y 4.

Conocer los procesos básicos es equivalente a un conocimiento de la función de producción, puesto que cualquier otro proceso puede expresarse como combinación lineal convexa de los básicos (1).

Sin embargo, no es indispensable determinar solamente los puntos básicos. Es posible que conociendo algunos procesos eficientes se pueda determinar la función de producción óptima, que contenga todos los procesos enunciados, incluidos aquellos que se presenten como combinación convexa lineal de otros.

---

(1) T. C. Koopmans: Analysis of production as an efficient combination of activities. Cap. III of Koopmans, T.C. "Activity analysis of production and allocation cowles comission monograph".

Es decir, la obtención de la función de producción extrema requiere como mínimo el conocimiento de los procesos básicos, pero si existen formas de determinar puntos óptimos de producción, así en ellos se presenten puntos de sobra, se puede determinar una curva o función, que es, precisamente, la unión de todos ellos.

En nuestro caso, es posible conocer los procesos eficientes. En el ejemplo, donde se presentan solamente dos insumos, el procedimiento es:

Sea Xi el nivel de operaciones del proceso i (para nuestro caso se lo puede asimilar al nivel de producción). Sea Xk el nivel de operaciones del proceso k, suponiendo que se han hecho dos observaciones, solamente. Ai es la matriz de los a_{ij} que representa el nivel de tecnología, donde los a_{ij} son las cantidades de insumo j requeridas para producir una unidad de producto en el proceso i. Ak es la matriz a_{kj}, similar a la anterior, pero en el proceso k.

Xi es el nivel de producción óptimo, solamente, si no existe otra combinación de insumos que produzca más o que utilice cantidades menores de por lo menos un insumo, o sea si:

$$\exists!\ a_{iJ} \ / \ a_{1J} < a_{2J} \quad \forall J$$

Es claro que ningún proceso pueda operar a un nivel negativo, de tal manera que siempre se está ante la restricción:

$$Xi,\ Xk \geq 0$$

Lo anterior es un problema de programación lineal.

Resolviendo (2.1) para cada observación, se pueden obtener los puntos eficientes y por lo tanto varias ecuaciones a partir de las cuales, mediante un programa de computador (ver Anexo Nº 1), se encuentra la función de producción óptima que nos permite la obtención de las eficiencias técnicas relativas para cada observación, mediante la división de la cantidad producida y la óptima que se obtuvo. (Ver gráficos números 9, 10 y 11.)

Los resultados de las estimaciones efectuadas en este capítulo se encuentran en los cuadros números 10, 11 y 12; y representaciones de éstos, en los gráficos números 12, 13 y 14. Un análisis de ellos se llevará a cabo en el capítulo siguiente.

Los cálculos de estos resultados aparecen en forma detallada y sistemática en el Apéndice Nº 1.

Gráfico Nº 9

PAZ DEL RIO: PRODUCCION ACTUAL Y OPTIMA

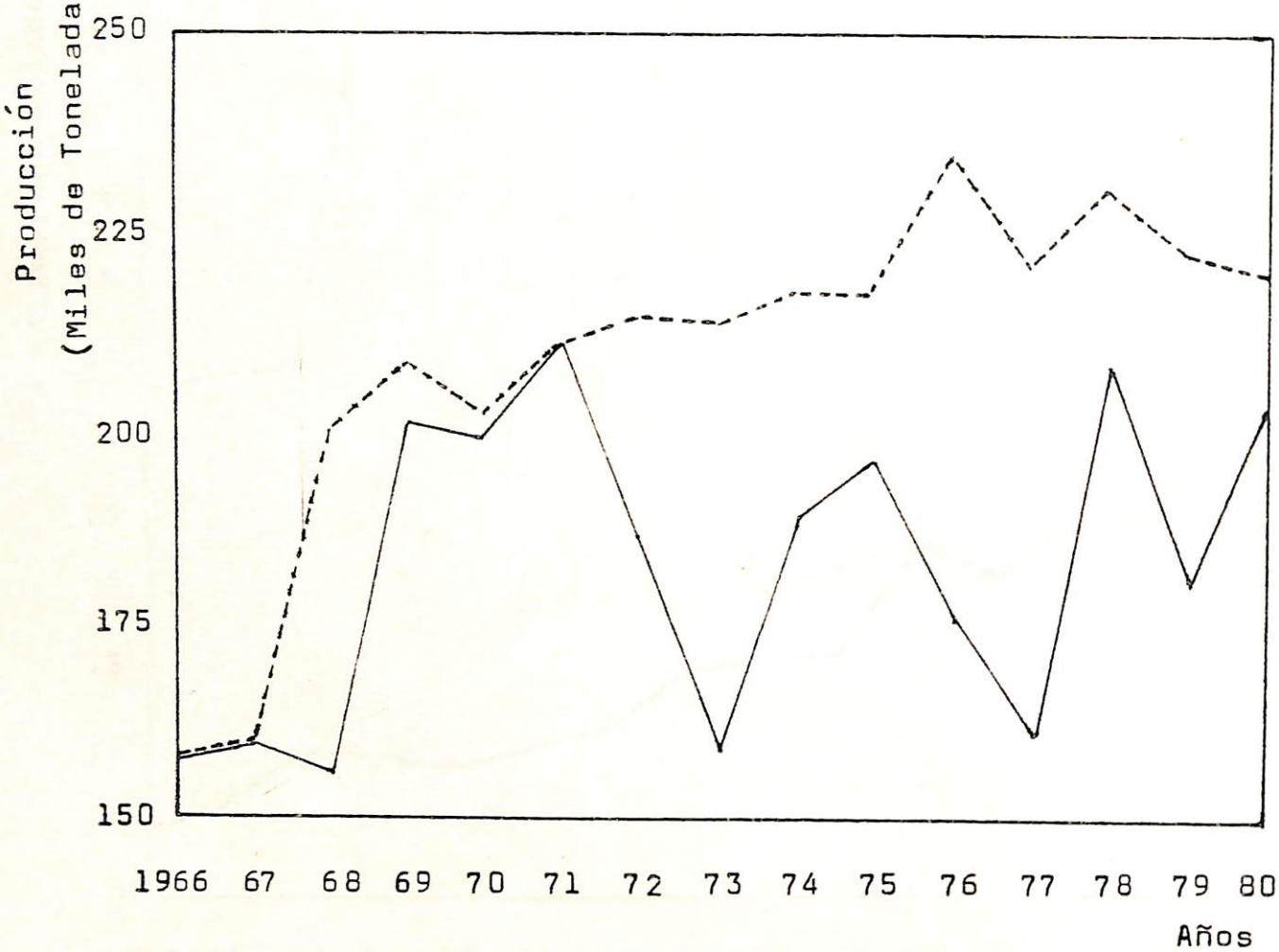


Gráfico Nº 10

SIDEMUÑA: PRODUCCION ACTUAL Y OPTIMA

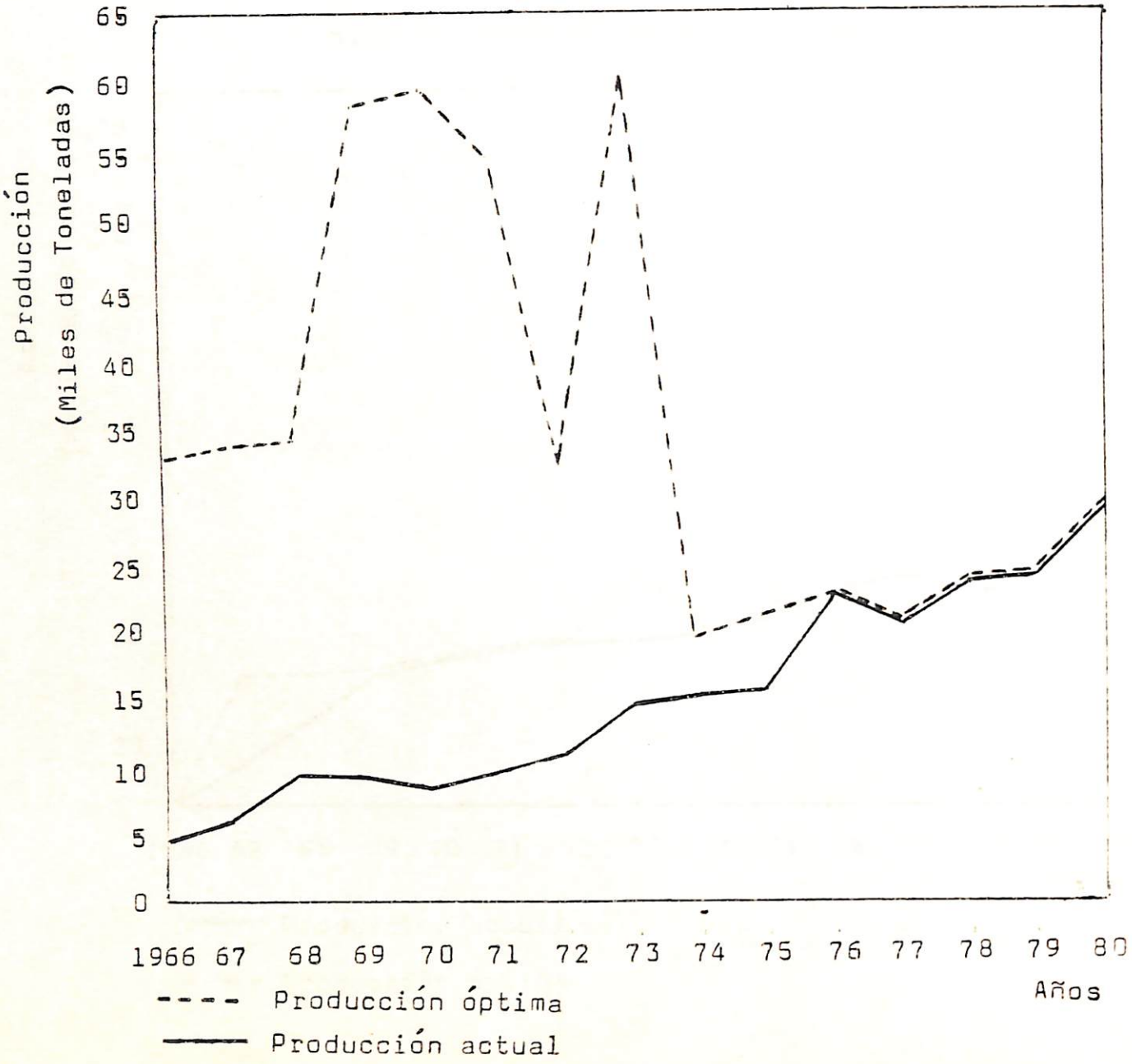
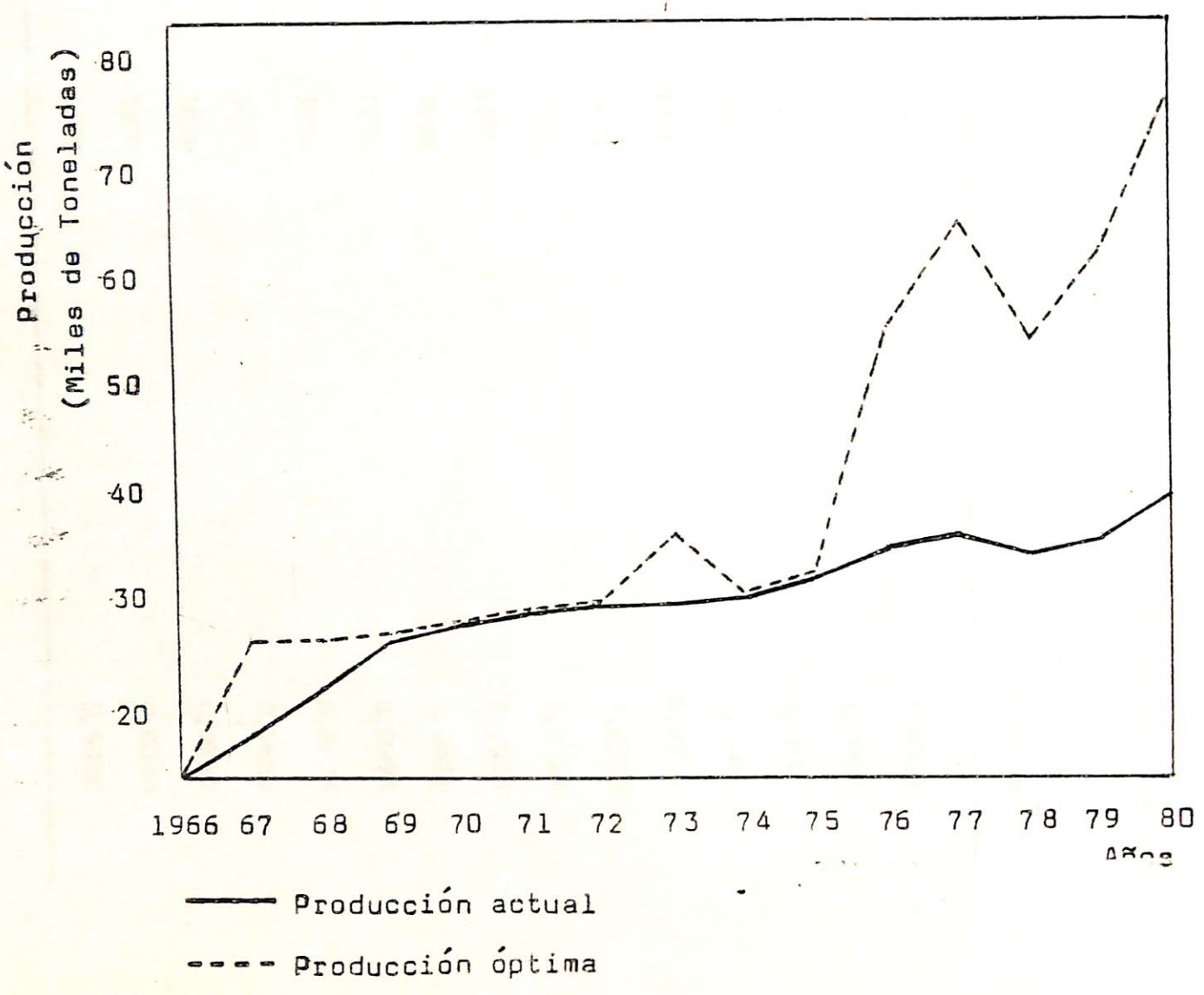


Gráfico Nº 11

SIDELPA: PRODUCCION ACTUAL Y OPTIMA



Cuadro Nº 10

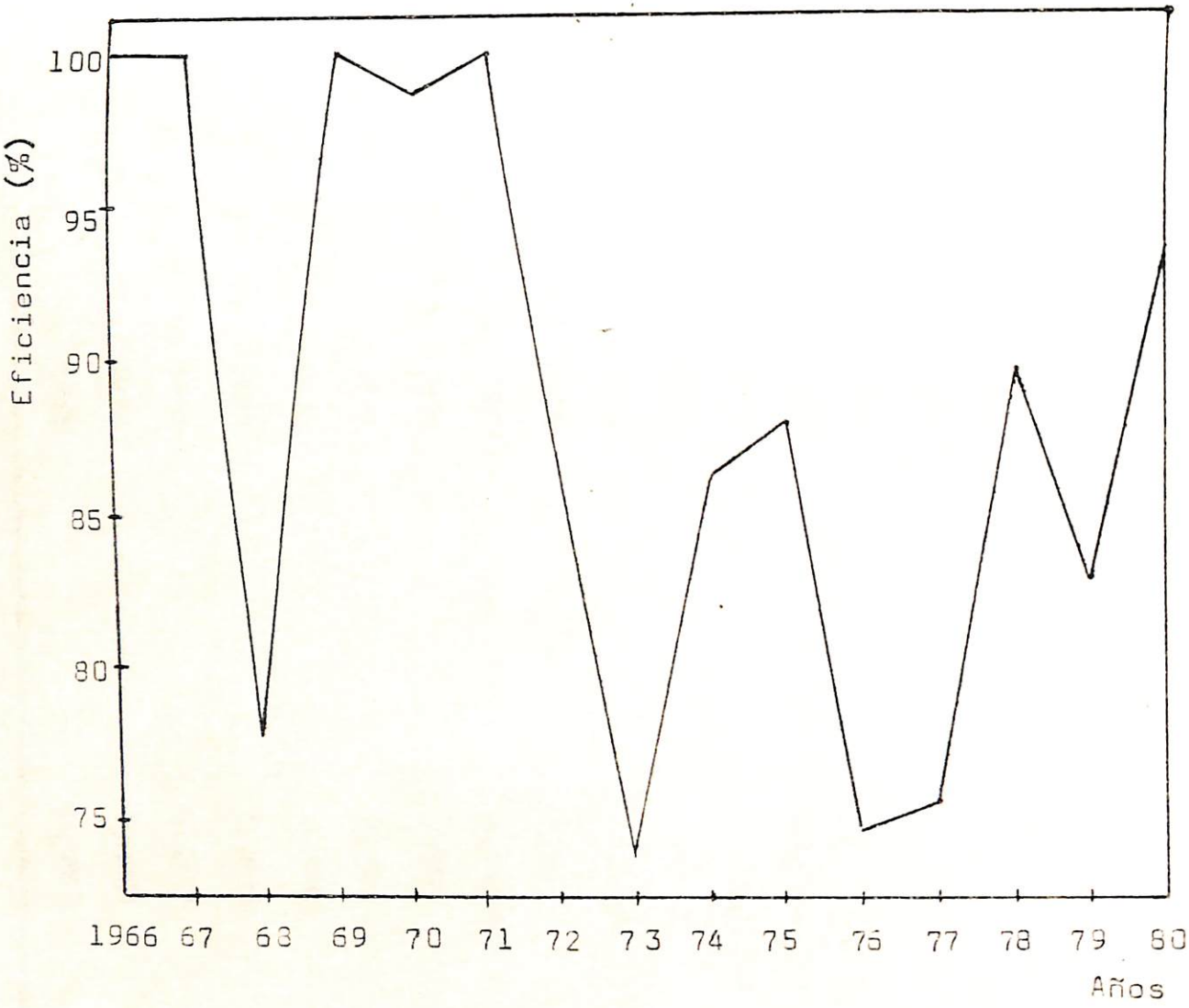
ACERIAS PAZ DEL RIO: VALORES DE EFICIENCIA TECNICA RELATIVA

Años	Eficiencia Relativa
1966	1,0000
1967	1,0000
1968	0,7810
1969	1,0000
1970	0,9778
1971	1,0000
1972	0,8734
1973	0,7456
1974	0,8661
1975	0,8794
1976	0,8475
1977	0,7556
1978	0,8997
1979	0,8310
1980	0,9406

Realizado con base en la Tabla Nº 53 del Apéndice 1.

Gráfico Nº 12

PAZ DEL RIO: EFICIENCIA TECNICA RELATIVA



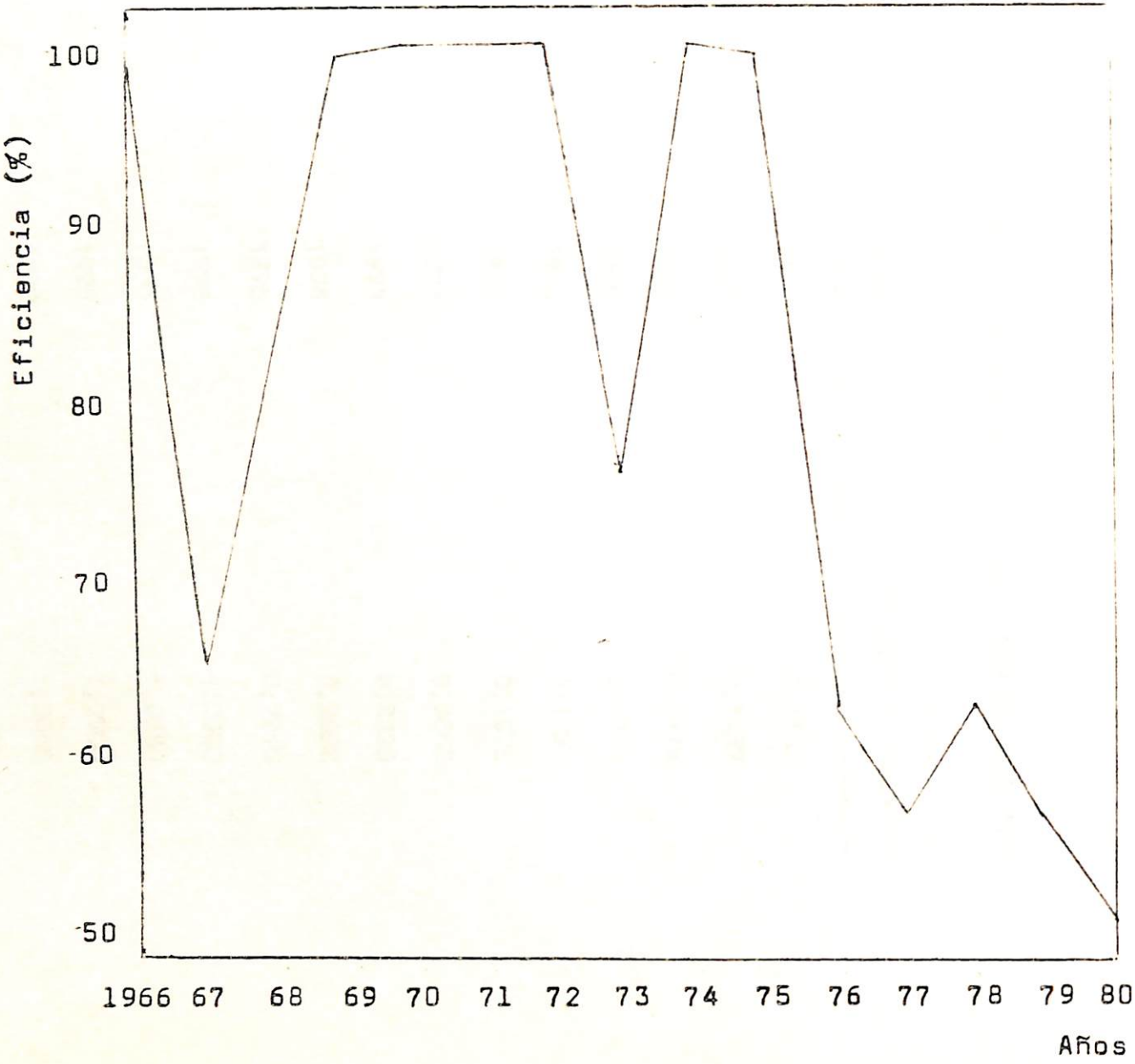
Cuadro Nº 11

SIDELPA: VALORES DE EFICIENCIA TECNICA RELATIVA

Años	Eficiencia Relativa
1966	1,0000
1967	0,6453
1968	0,8206
1969	0,9962
1970	1,0000
1971	1,0000
1972	1,0000
1973	0,7690
1974	1,0000
1975	0,9962
1976	0,6273
1977	0,5611
1978	0,6208
1979	0,5661
1980	0,5097

Gráfico Nº 13

SIDELPA: EFICIENCIA TECNICA RELATIVA



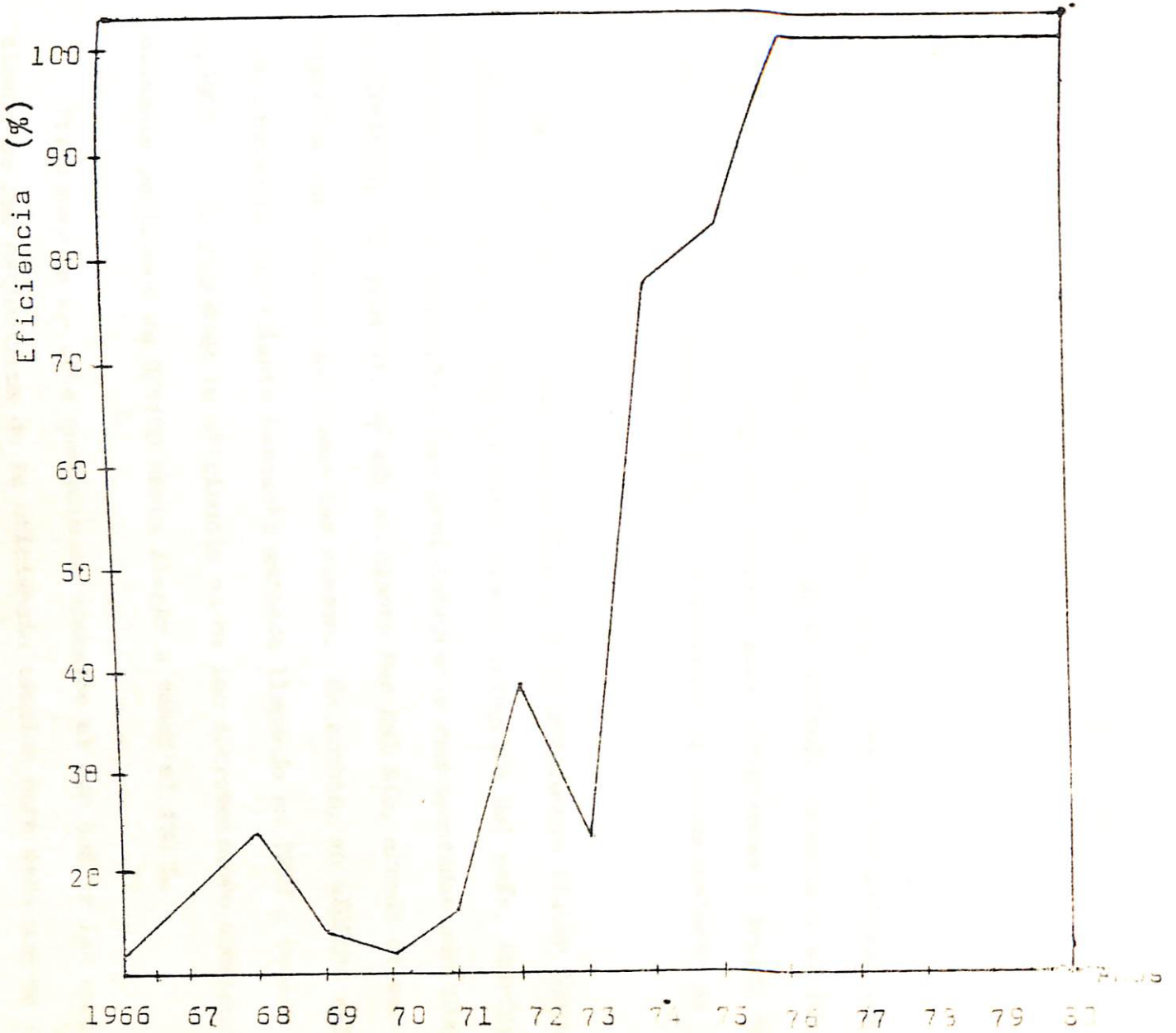
Cuadro Nº 12

SIDEMUÑA: VALORES DE EFICIENCIA TECNICA RELATIVA

Años	Eficiencia Relativa
1966	0,1159
1967	0,1737
1968	0,2419
1969	0,1363
1970	0,1292
1971	0,1575
1972	0,3868
1973	0,2335
1974	0,7692
1975	0,7910
1976	1,0000
1977	1,0000
1978	1,0000
1979	1,0000
1980	1,0000

Gráfico Nº 14

SIDEMUÑA: EFICIENCIA TECNICA RELATIVA



3. VARIABLES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA TECNICA

En este capítulo se analizan las variaciones en los estimativos de la eficiencia técnica que se obtuvo en el capítulo anterior y se identifican las principales causas que generan esas variaciones a través de un modelo econométrico uniecuacional que explique el comportamiento de dichas variables.

Se puede observar que los estimativos de eficiencia tienen comportamientos diferentes para la única planta integrada del país, Acerías Paz del Río, en relación a las semi-integradas representadas por SIDELPA y SIDEMUÑA. En general, es más eficiente Paz del Río, además de ser más estables los valores que toman las mismas. En cambio, en SIDELPA existe una tendencia decreciente bastante marcada llegando en 1980 a tener — 0,5097 . En SIDEMUÑA la eficiencia se ha ido incrementando considerablemente partiendo de 0,1159 hasta llegar a tener el 100 %.

Precisamente en este capítulo se describe el por qué de las variaciones de los estimativos de la eficiencia técnica para cada una de las empresas.

Una posible causa se debe a las variaciones en la utilización de — planta. En promedio, la capacidad utilizada para el caso de Paz del Río

es baja (un promedio de 29,8 % para el período observado), y en las semi-integradas es más alta (70,85 % para SIDELPA y 47,56 % para SIDEMUÑA). En promedio para las tres empresas se obtiene un valor de 58,95 %. Con respecto a las variaciones anuales importantes de la Capacidad Utilizada, éstas se deben más a ampliaciones en la Capacidad Instalada que a cambios drásticos en el nivel de producción. (Ver cuadro Nº 13.)

Cuadro Nº 13

PORCENTAJE DE VARIACION EN LA CAPACIDAD INSTALADA

Año	Paz del Río	SIDELPA	SIDEMUÑA
1966	----	----	----
1967	2,32	28,57	----
1968	-61,85	25,72	----
1969	28,88	21,86	----
1970	- 1,34	4,19	- 3,75
1971	6,26	- 23,35	11,68
1972	- 11,21	3,94	29,07
1973	- 14,66	1,03	30,63
1974	17,99	- 6,25	3,44
1975	1,54	1,62	- 39,43
1976	- 8,27	- 2,55	42,76
1977	- 7,07	6,76	- 10,57
1978	27,71	- 6,33	13,30
1979	- 13,28	3,23	30,43
1980	12,29	12,25	12,54

Realizado en base a los cuadros 6, 7 y 8.

Los valores promedios obtenidos para el sector concuerdan con los resultados del estudio de Germán Rodríguez D. (1), sobre capacidad utilizada en la industria manufacturera colombiana. El principal argumento de Rodríguez, que explica los bajos valores de utilización, es la distorsión de los precios relativos de los factores productivos, generados por políticas proteccionistas del Estado hacia la industria nacional, que para el caso particular se refiere a los subsidios (por medio de la rebaja de aranceles a los bienes de capital importados) del Estado a la industria en su conjunto con el fin de abaratar los bienes de capital, que son de obligada importación. Esta situación ha llevado a la industria nacional a una acumulación de maquinaria y equipo. Para el sector siderúrgico esta situación es más aguda debido a su carácter estratégico en la economía nacional, lo cual llevó a que fuera especialmente protegido por el Estado. Explicación adicional de las variaciones en la capacidad utilizada es el comportamiento cíclico de la economía en su conjunto.

Para controlar las variaciones en la utilización de la capacidad, se usará la relación entre Producción y Producción Máxima Posible.

Los valores de la variable se indicarán por U y se encuentran tabulados en el cuadro Nº 14.

Existe evidencia de que la escala de planta influye en la eficiencia técnica, y se espera que a medida que aumente la escala de planta, la

---

(1) G. Rodríguez D.: Utilización de la Capacidad Instalada en la industria manufacturera colombiana 1973 - 1978. Tesis de Grado, Facultad de Economía, Universidad Nacional. Julio de 1980.

Cuadro Nº 14

ACERIAS PAZ DEL RIO: VALORES DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Año	PMP	100(PA/PMP)	M	U
1966	280	55,43	1955	55,43
1967	280	112,14	1955	56,71
1968	720	65,25	1955	21,64
1969	720	93,14	1955	27,89
1970	720	120,65	1955	27,51
1971	720	149,89	1955	29,24
1972	720	175,85	1955	25,96
1973	720	197,99	1955	22,14
1974	720	224,13	1955	26,14
1975	720	250,67	1955	26,54
1976	720	275,01	1955	24,35
1977	720	297,64	1955	22,63
1978	720	326,54	1955	28,90
1979	720	351,60	1955	25,06
1980	720	379,74	1955	28,14

Realizado con base en el Anexo Nº 1.

Eficiencia también lo haga. Se usará como variable de escala de planta la Producción Máxima Posible, medida en miles de toneladas; se indicará por PMP y los valores se encuentran tabulados en el cuadro Nº 14.

Uno de los objetivos que se proponía en principio era lograr un análisis de la importancia que tienen los progresos tecnológicos. En estudios de otros sectores, tanto de la economía nacional como de otros países, se observa que entre más modernas son las plantas, son más eficientes, debido al progreso de la técnica en los países productores de maquinaria. Se ha tomado el año de instalación como una aproximación que mida este efecto. Hubiera sido mejor conocer los nuevos equipos que va incorporando cada una de las industrias a su producción y sopesarlos en el conjunto de las instalaciones. Sin embargo, este tipo de datos no fue - posible conseguir. En este estudio la variable Progreso Tecnológico se representará con la letra M.

El aprendizaje de los operadores de la planta es otra de las variables que pueden ser importantes en los cambios de la eficiencia. La producción acumulada se puede usar como medida de este proceso; ya que las plantas son de tamaños diferentes, se usa como variable independiente la Producción Acumulada dividida entre la Producción Máxima Posible. La variable se indica por PA/PMP. Los datos sobre estas variables se los encuentra en los cuadros números 14, 15 y 16.

Se usa cuatro tipos de funciones:

$$\text{Ln } E = b \text{ Ln } (PA/PMP) \qquad 3\text{-}1$$

$$\text{Ln } E = b/(PA/PMP) \qquad 3\text{-}2$$

Cuadro Nº 15

SIDELPA: VALORES DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Año	PMP	100(PA/PMP)	M	U
1966	30	44,33	1963	44,33
1967	30	101,33	1963	57,00
1968	30	173,00	1963	71,67
1969	30	260,33	1963	87,33
1970	30	351,33	1963	91,00
1971	40	333,25	1963	69,75
1972	40	405,75	1963	72,50
1973	40	479,00	1963	73,25
1974	45	494,44	1963	68,67
1975	45	564,22	1963	69,78
1976	50	575,80	1963	68,00
1977	50	648,40	1963	72,60
1978	50	716,40	1963	68,00
1979	50	786,60	1963	70,20
1980	50	865,40	1963	78,80

Realizado con base en el Anexo Nº 2.

Cuadro Nº 16

SIDEMUÑA: VALORES DE LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Año	PMP	100(PA/PMP)	M	U
1966	20	19,00	1964	19,00
1967	20	48,00	1964	29,00
1968	20	89,00	1964	41,00
1969	20	129,00	1964	40,00
1970	20	167,50	1964	38,50
1971	20	210,50	1964	43,00
1972	35	152,00	1964	31,71
1973	35	193,43	1964	41,43
1974	35	236,29	1964	42,86
1975	35	281,71	1964	45,43
1976	35	346,57	1964	64,86
1977	35	404,57	1964	58,00
1978	35	470,29	1964	65,71
1979	35	538,57	1964	68,29
1980	35	615,43	1964	76,86

Realizado con base en el Anexo Nº 3.

$$E = b \, Ln(PA/PMP) \qquad 3-3$$

$$E = b/(PA/PMP) \qquad 3-4$$

la escogencia entre estas funciones se hará en base a los resultados econométricos.

Las curvas que representan las ecuaciones 3-1 y 3-2 se muestran en el gráfico Nº 15; la principal diferencia entre estas dos estriba en que la representada por la ecuación 3-1 (a en la figura) no tiene un máximo o un valor asintótico, mientras que la representada por la ecuación 3-2 (b en la figura) sí lo tiene.

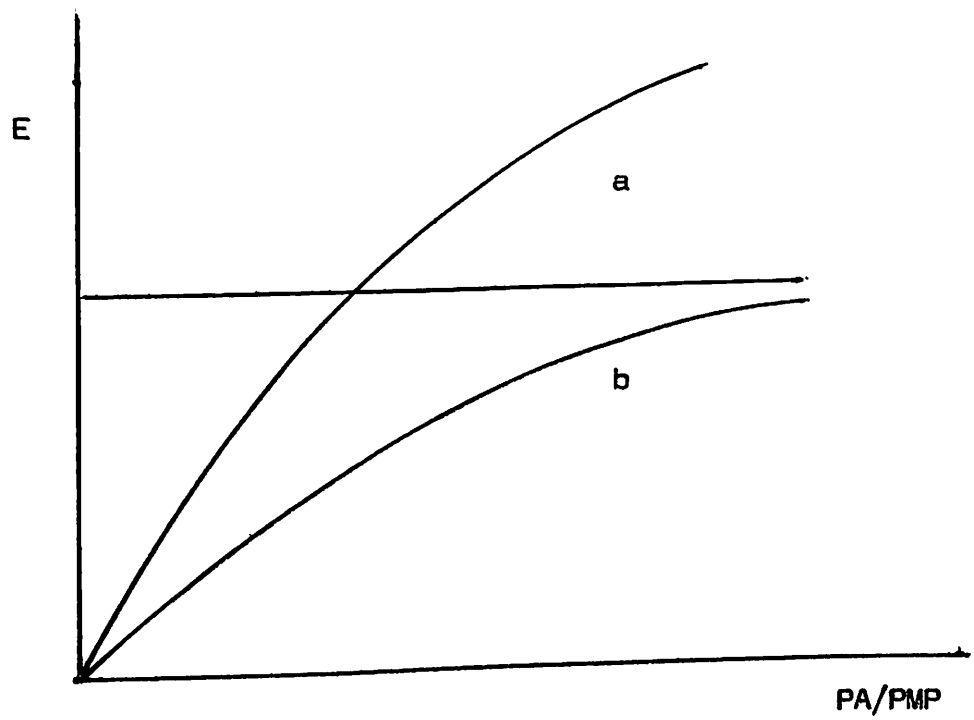


GRAFICO Nº 15

REPRESENTACION GRAFICA DE LAS ECUACIONES 3-1 y 3-2

De acuerdo con las consideraciones esquematizadas anteriormente, se estimaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Ln } E = a\,PMP - b/(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U + \theta_1 \qquad 3\text{–}5$$

$$\text{Ln } E = a\,PMP + b\,\text{Ln}\,(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U + \theta_2 \qquad 3\text{–}6$$

$$E = a\,PMP + b/(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U + \theta_3 \qquad 3\text{–}7$$

$$E = a\,PMP + b\,\text{Ln}\,(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U + \theta_4 \qquad 3\text{–}8$$

en donde θ_1, θ_2, θ_3 y θ_4 son variables aleatorias distintas para cada una de las empresas; E es la eficiencia técnica de las siderúrgicas en el año de observación; PMP es la producción máxima posible en toneladas, diferente para cada año; PA/PMP es la producción acumulada sobre producción máxima posible y refleja el aprendizaje de los trabajadores; M es el año de instalación de la planta; U es la utilización expresada en porcentajes y obtenida de la relación entre producción y producción máxima posible.

Las ecuaciones se estimaron por Mínimos Cuadrados para los diferentes valores de la eficiencia técnica presentados en el capítulo anterior.

Los resultados obtenidos para los parámetros a, b, c y d son los siguientes (ver Apéndice Nº 2):

Paz del Río

$$\text{Ln } E = 0{,}002219239\ PMP - 0{,}9706244758\ \frac{1}{100(PA/PMP)} + 0{,}0009707625\ M + 0{,}037419586\ U \qquad 3\text{–}9$$

$$\text{Ln } E = 0,0025675177\ PMP - 0,0687405111\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) + 0,0007874051\ M + 0,0401040148\ U \qquad 3\text{–}10$$

$$E = 0,2276517191\ PMP + 809,1392982\ \frac{1}{100(PA/PMP)} + 0,01365497572\ M + 3,5450717\ U \qquad 3\text{–}11$$

$$E = 0,2247210498\ PMP - 6,542434672\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) + 0,0163822028\ M + 3,47983260\ U \qquad 3\text{–}12$$

Para las ecuaciones obtenidas se hicieron pruebas de bondad de ajuste Ji-cuadrado y Varianza con respecto a los datos esperados. Además, se calculó los estimadores mínimo cuadráticos: el estimador de la varianza y el cuadrado del coeficiente de correlación múltiple para las ecuaciones escogidas.

El objeto de lo anterior es descubrir hasta qué punto las ecuaciones planteadas y los parámetros a, b, c y d realmente interpretan la variación de la variable dependiente. Al respecto Camilo Dagum y Estela M. Bee de Dagum nos dicen: "A partir de los estimadores de los parámetros incógnitas, de sus varianzas, y trabajando con los postulados de independencia y de normalidad, se pueden deducir intervalos de confianza y regiones (elipses) de confianza para el conjunto (α, β) de parámetros a estimar. A tal efecto recordemos las definiciones de las variables

[...]

"Variable aleatoria χ-cuadrado. Dadas n variables aleatorias normales, $X_1, \ldots X_n$, independientes entre sí e idénticamente distribuidas -

con media μ y varianza σ^2, la nueva variable aleatoria:

$$\chi^2_n = \sum_{t=1}^{n} \frac{(x_t - \mu)^2}{\sigma^2}$$

tiene una distribución χ-cuadrado de Pearson con n grados de libertad. Su función de probabilidades acumuladas,

$$P\left(\chi^2_\alpha < \chi^2_\rho\right) = p$$

la que corresponde al p-ésimo percentil, se encuentra tabulada y publicada en las tablas estadísticas usuales y en los textos de estadística." (1)

En este capítulo se utilizó una de las aplicaciones de la distribución Ji-cuadrado denominada por Lincoln L. Chao como "Bondad de ajuste" (2), que es el contraste de una hipótesis referida a la diferencia entre las frecuencias observadas y las correspondientes frecuencias esperadas.

El estadígrafo muestral calculado para el contraste en este estudio, es la sumatoria de: los cuadrados de las diferencias de los logaritmos naturales de las eficiencias observadas y las eficiencias esperadas, divididas por el logaritmo natural de las eficiencias esperadas.

---

(1) Camilo Dagum y Estela M. Bee de Dagum: Introducción a la econometría. Editorial Siglo XXI. México, sexta edición, 1979. Pp. 127-8.

(2) Lincoln L. Chao; Estadística para las ciencias administrativas. Edit. McGraw-Hill. Bogotá, segunda edición, 1975. P. 246.

$$\chi^2_{(J-1-k)} = \sum_{j=1}^{J} \frac{(\text{Ln } Eo_j - \text{Ln } Ee_j)^2}{\text{Ln } Ee_j}$$

En donde:

Eo: eficiencia observada

Ee: eficiencia esperada

J : número de clases

k : número de parámetros que hay que estimar

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Ecuación	$\frac{\Sigma \text{ errores}^2}{n}$	Ji-cuadrado calculado
3-9	0,0020580543	0,0093354841
3-10	0,0006722100	0,0102532000
3-11	5,7518624260	0,9839749769
3-12	5,5021069440	0,9585853799

En los resultados anteriores se puede observar que en la ecuación 3-9 el Ji-cuadrado es aceptable a un nivel de significancia del 5 % y el 95 % de confianza y con 10 grados de libertad; este Ji-cuadrado calculado es inferior a 18,31, valor encontrado en la tabla de la distribución. (Ver Apéndice Nº 2.)

Por encontrarse el valor de Ji-cuadrado más bajo en la ecuación 3-9 se escogió esta. De tal manera, que la mejor de las ecuaciones estimadas es la siguiente:

$$\underset{\quad}{\text{Ln } E} = \underset{(0,0000001727)}{0,002219239\ PMP} - \underset{(-1,53616)}{0,9706244758}\ \frac{1}{100(PA/PMP)} + \underset{(0,000000053)}{0,0009707625\ M} +$$

+ 0,037419586 U
(0,00003524)

σ^2 = 0,0028064376 R^2 = 0,810309105 R = 0,900171709

El intervalo de confianza que se construyó para σ^2 tiene la probabilidad del 95 % de contener a su correspondiente parámetro estructural. Con 11 grados de libertad y un nivel de significación de 5 % (coeficiente de confianza del 95 %), el intervalo es:

$$0,00140834 < 0,0028064376 < 0,0080903659$$

Existe además una correlación positiva. El R se encuentra en el intervalo:

$$-1 \leqslant 0,9001717086 \leqslant 1$$

Como puede observarse, todos los coeficientes son significativos; la ecuación 3-9 explica una gran parte de la variación de la variable dependiente; la eficiencia técnica aumenta con la escala de planta, con la experiencia en el trabajo, con la innovación tecnológica y con la utilización de la planta.

SIDEMUÑA

Los parámetros y las ecuaciones obtenidas para esta empresa son:

$$\text{Ln } E = 0,071715938\ PMP - 1,346214616\ \frac{1}{100(PA/PMP)} + 0,0002696894\ M +$$

$$+ 0,022677804\ U \qquad 3\text{-}13$$

$$\text{Ln } E = 0,079597221\ PMP - 0,20401595554\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) + 0,0011769728\ M + 0,031835864\ U \qquad 3\text{–}14$$

$$E = 2,704783533\ PMP + 672,9574079\ \frac{1}{100(PA/PMP)} - 0,02859331221\ M + 1,635259759\ U \qquad 3\text{–}15$$

$$E = 3,571976635\ PMP - 31,86328481\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) + 0,04712466938\ M + 2,676049719\ U \qquad 3\text{–}16$$

Las pruebas de bondad de ajuste resultaron de la siguiente manera:

Ecuación	$\frac{\sum errores^2}{n}$	Ji-cuadrado
3–13	0,0897533163	0,3722937006
3–14	0,0830441893	0,3888226665
3–15	159,6552042000	47,2221239800
3–16	208,9199288000	83,9808002000

Se escogió la ecuación 3–13 que presenta un Ji-cuadrado igual a 0,3722937006, o sea:

$$0,3722937006 < 18,31$$

y cuyo valor de la ecuación estimada es:

$$\underset{(0,0019935145)}{\text{Ln } E = 0,71715938\ PMP} \underset{(-20,76838)}{- 1,346214616\ \frac{1}{100(PA/PMP)}} + \underset{(0,0000000277)}{0,0002696894\ M} +$$

+ 0,022677804 U
(0,00004988)

σ^2 = 0,12223908859 R^2 = 0,9985956258 R = 0,9992975662

El intervalo construido para σ^2 es el siguiente:

$$0,061418784 < 0,12223908859 < 0,3528270314$$

así como en las otras empresas, este intervalo tiene la probabilidad del 95 % de contener a su correspondiente parámetro estructural. Con 11 grados de libertad y un nivel de significación del 5 %.

Al igual que la empresa Acerías Paz del Río los coeficientes son significativos. El aumento en la escala de planta, el aprendizaje de los trabajadores, la mayor utilización de la planta y el progreso tecnológico elevan la eficiencia técnica de la empresa.

En la tesis de M. Ramírez, Transferencia de tecnología para la generación de energía eléctrica (1), llega a conclusiones similares: "la eficiencia técnica aumenta con la escala de planta, la experiencia en el trabajo, la actividad inventiva local, la 'vendimia' en el equipo (esta variable se asemeja en este estudio al progreso tecnológico) y la utilización de la planta; la eficiencia es menor si hay reparaciones importantes en el mes y si los equipos son europeos."

---

(1) M. Ramírez: Transferencia de tecnología para la generación de la energía eléctrica. Tesis de Grado. P. 45.

La ecuación escogida para esta empresa además presenta una buena correlación; su coeficiente se encuentra en el intervalo:

$$-1 \leqslant R \leqslant 1$$

SIDELPA

Los resultados obtenidos al estimar las ecuaciones para la Siderúrgica del Pacífico fueron:

$$\text{Ln } E = -0,1768794\ PMP + 0,52038783 \frac{1}{100(PA/PMP)} + 0,002523012\ M + 0,0017971352\ U \qquad 3\text{–}17$$

$$\text{Ln } E = -0,0429734422\ PMP + 0,3255490858\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) - 0,005021277\ M - 0,0114487012\ U \qquad 3\text{–}18$$

$$E = -1,465920317\ PMP - 400,3278495 \frac{1}{100(PA/PMP)} - 0,0008221792\ M + 0,0077675767\ U \qquad 3\text{–}19$$

$$E = -2,863489365\ PMP + 20,04668229\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) + 0,0212894514\ M - 0,6549578901\ U \qquad 3\text{–}20$$

Al igual que en las anteriores siderúrgicas se hizo la prueba de bondad de ajuste, cuyos resultados fueron:

Ecuación	$\frac{\sum errores^2}{n}$	Ji-cuadrado calculado
3-17	0,0414512387	0,1431442576
3-18	0,0397411276	0,1558027147
3-19	253,2543190000	47,3268041700
3-20	246,0459058000	45,0365367800

Se tomó la ecuación 3-17 cuyo Ji-cuadrado es igual a 0,1431442576 o sea:

$$0,1431442576 \quad < \quad 18,31$$

La mejor de las ecuaciones es:

$$\underset{(0,0000484627)}{\text{Ln E} = -0,017687974\ \text{PMP}} + \underset{(-42,49974)}{0,52038783\ \frac{1}{100(\text{PA/PMP})}} + \underset{(-0,00000004)}{0,002523012\ \text{M}} +$$

$$+ \underset{(0,000028535)}{0,0017971352\ \text{U}}$$

$\sigma^2 = 0,0565244164$ $\qquad R^2 = 0,9764643972$ $\qquad R = 0,988162131$

Existe una correlación positiva. El intervalo de confianza que se construyó para σ^2 tiene la probabilidad del 95 % de contener a su parámetro estructural. Con 11 grados de libertad y un nivel de significación de 5 %, el intervalo es:

$$0,0283653549 \quad < \quad 0,0565244164 \quad < \quad 0,1629479344$$

Como puede observarse, en la ecuación 3-17 los signos correspon- - dientes a la producción máxima posible y a la experiencia en el trabajo son contrarios a los que se esperaba. Al igual que en la empresa anterior, la eficiencia técnica debería aumentar con la escala de planta y con la experiencia. En esta empresa las eficiencias son decrecientes a pesar de que la escala de planta es creciente. En ello también se puede observar que la relación entre ésta y la variable dependiente es inversa. De tal manera que la ecuación sí explica la variación de la variable dependiente y el signo de ésta resulta ser correcto. Puede haber múltiples causas que hacen disminuir la eficiencia en la medida que la escala de planta aumenta como por ejemplo la expresada en la introducción del presente trabajo, cuando se afirmaba que los fabricantes de maquinaria introducen cambios tecnológicos apropiados para los países productores, mas no para los que usan las maquinarias. Es posible también, que los requerimientos técnicos de las nuevas maquinarias incorporadas a la empresa no consulten los que realmente se necesitaban.

Como se dijo anteriormente, la experiencia en el trabajo guarda - una relación inversa con la eficiencia, lo que se puede deber a cambios de personal o a otras causas, temas de otro tipo de estudio.

En cuanto a la utilización y a la variable que representa al progreso tecnológico los signos son positivos lo que significa que su incremento aumenta la eficiencia técnica de la empresa.

Queda por efectuar un análisis de la importancia de cada uno de - los factores; una variable puede tener un coeficiente estadísticamente significativo dentro de una ecuación pero tener un efecto muy pequeño -

sobre la variable dependiente.

Se hace lo anterior calculando las elasticidades de la variable dependiente con respecto a las variables independientes, calculadas en los valores medios de las variables independientes, de acuerdo con la ecuación 3-9 para Paz del Río, 3-13 para SIDEMUÑA y 3-17 para SIDELPA. (Ver Apéndice Nº 2.)

Cuadro Nº 17

ACERIAS PAZ DEL RIO

ELASTICIDADES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

CON RESPECTO A LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Variables	Elasticidades
PMP	0,3699365428
PA/PMP	0,0011350073
M	0,4393902486
U	0,2214336441

Como puede observarse en el cuadro anterior, la variable más importante para explicar las diferencias en eficiencia es el progreso tecnológico.

El efecto de la escala de planta es bastante alto y sigue en importancia la utilización de la planta. La variable PA/PMP que representa el aprendizaje de los trabajadores tiene una mínima importancia en la explicación de los cambios en la eficiencia. De lo anterior se desprende que las innovaciones tecnológicas, que vienen incorporadas en las nuevas maquinarias, son las que más influencia tienen en la eficiencia.

Por otra parte, como ya se explicó, la siderúrgica está dentro de un sector industrial altamente concentrado y que necesita escalas de planta lo suficientemente amplias para hacer una producción económicamente rentable. Esto explica la importancia que la producción máxima posible, expresada en la capacidad instalada, tenga una elasticidad alta.

De tal manera, que entre más grande sea la planta, la eficiencia también será mayor. Esta es una de las causas para que este sector sea de carácter oligopólico.

Cuadro Nº 18

SIDERURGICA DEL MUÑA - SIDEMUÑA

ELASTICIDADES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE CON RESPECTO A LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Variables	Elasticidades
PMP	0,6308128917
PA/PMP	0,0021806410
M	0,1333405617
U	0,2426290975

Las variables que explican en mayor cantidad la variación de la variable dependiente para esta siderúrgica son el progreso tecnológico, la producción máxima posible y la utilización. El aprendizaje de los trabajadores carece de importancia, siendo la variable más importante la producción máxima posible.

Cuadro Nº 19

SIDERURGICA DEL PACIFICO - SIDELPA

ELASTICIDADES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

CON RESPECTO A LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Variables	Elasticidades
PMP	- 0,1616122267
PA/PMP	0,0002425868
M	1,1312946860
U	0,0300729757

El progreso tecnológico es la única variable que tiene una elasticidad unitaria, y por ello es la que más afecta a la eficiencia de la empresa. Las otras tres variables no tienen mayor influencia, siendo la menor, la producción máxima posible.

4. DEMANDA DE FACTORES

La primera parte del trabajo consistía en descubrir una función de producción óptima o sea aquella combinación de factores que lograra mayor producción, para obtener luego estimativos de las eficiencias técnicas. En el capítulo anterior se analizó las diversas fuentes de diferencias en eficiencia técnica. En este capítulo se inicia una segunda parte del trabajo donde se verá cómo esos distintos factores producen efectos, bien sea que ahorren o bien que incrementen el consumo de capital, trabajo, energía eléctrica y mineral de hierro o chatarra.

Se tiene la función de producción:

$$Q = f(K, L, E, H, t)$$

en que Q es la cantidad producida, K la cantidad de maquinaria, L la de trabajo, E cantidad de energía eléctrica y H la de hierro o chatarra necesarios para producir Q y t es el tiempo. Esta función admite sustitución entre los factores de producción y cambia con el tiempo debido al progreso tecnológico.

El enfoque que se va a seguir en este capítulo es equivalente a la estimación de la función de producción de la forma:

$$K/Q = (PMP, \quad PA/PMP, \quad M, \quad U) \qquad 4-1$$

$$L/Q = (PMP, \quad PA/PMP, \quad M, \quad U) \qquad 4-2$$

$$E/Q = (PMP, \quad PA/PMP, \quad M, \quad U) \qquad 4-3$$

$$H/Q = (PMP, \quad PA/PMP, \quad M, \quad U) \qquad 4-4$$

$$CH/Q = (PMP, \quad PA/PMP, \quad M, \quad U) \qquad 4-5$$

Las ecuaciones estimadas son las siguientes:

$$K/Q = a\ PMP - b/(PA/PMP) + c\ M + d\ U \qquad 4-6$$

$$L/Q = a\ PMP - b/(PA/PMP) + c\ M + d\ U \qquad 4-7$$

$$E/Q = a\ PMP - b/(PA/PMP) + c\ M + d\ U \qquad 4-8$$

$$CH/Q = a\ PMP - b/(PA/PMP) + c\ M + d\ U \qquad 4-9$$

$$H/Q = a\ PMP - b/(PA/PMP) + c\ M + d\ U \qquad 4-10$$

Las variables independientes son las mismas del capítulo anterior. La justificación de su uso es la siguiente:

PMP, los coeficientes pueden variar con la escala de planta, ya que al ensanchar la capacidad instalada es lógico pensar que los insumos utilizados no permanezcan constantes sino que, por el contrario, se produzcan incrementos en el consumo de todos los factores.

U, es de esperarse que una mejor utilización de la capacidad insta

lada produzca ahorros de capital y mayor consumo de los otros factores.

M, la innovación tecnológica, que está relacionada con el cambio de conocimiento y con las condiciones económicas de los países productores de maquinaria, se espera que sean más ahorradores de mano de obra, que de los otros factores.

PA/PMP, el aprendizaje de los trabajadores debe redundar en la disminución de uso de trabajo fundamentalmente y seguramente, en menor proporción, producir el mismo efecto en cuanto a capital, energía eléctrica y mineral de hierro o chatarra.

Los valores para las variables dependientes se encuentran en los cuadros números 20, 21 y 22.

Cuadro Nº 20

ACERIAS PAZ DEL RIO: VALORES DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

Año	K/Q	L/Q	E/Q	H/Q
1966	0,092762	3,682738	4,599614	1,416441
1967	0,078719	3,654981	4,873860	1,718620
1968	1,530676	3,635998	4,924233	1,311520
1969	1,276226	3,368464	4,694122	0,562174
1970	1,290472	3,399342	4,734275	0,827782
1971	1,229757	3,328465	4,919478	0,565098
1972	1,348670	3,439340	5,123735	0,737622
1973	1,507826	3,608236	5,289745	1,013083
1974	1,341741	3,454138	5,169663	0,858770
1975	1,326465	3,468479	5,139761	1,033946
1976	1,422741	3,705146	5,350443	1,043499
1977	1,486117	3,627488	5,252501	1,037872
1978	1,241240	3,752833	5,291954	0,733873
1979	1,484046	3,479873	5,216693	0,790521
1980	1,268017	3,379241	5,066156	0,721853

Realizado en base al Anexo 1.

Cuadro Nº 21

SIDEMUÑA: VALORES DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

Año	K/Q	L/Q	E/Q	H/Q
1966	1,660731	4,248495	8,497688	1,883875
1967	1,237874	3,873354	7,940080	1,420196
1968	0,891598	3,464210	7,619928	1,153962
1969	0,901629	3,812203	7,659348	1,321756
1970	0,954512	3,855934	7,729478	1,473306
1971	0,843970	3,538597	7,819103	1,249435
1972	0,148403	3,439494	7,753701	0,623188
1973	0,881199	3,507936	7,670042	0,713626
1974	0,847298	2,958376	7,641621	0,947789
1975	0,789029	2,820925	7,759179	0,927548
1976	0,432983	2,476057	7,262391	0,668626
1977	0,544727	2,576628	7,355024	0,738883
1978	0,419854	2,509953	7,284627	0,630346
1979	0,381470	2,496002	7,272767	0,626095
1980	0,263222	2,349781	7,268031	0,536515

Realizado en base al Anexo 2.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
BIBLIOTECA
PROCESOS TECNICOS

Cuadro Nº 22

SIDELPA: VALORES DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES

Año	K/Q	L/Q	E/Q	H/Q
1966	0,813433	3,452491	7,056564	0,120286
1967	0,562119	3,465370	7,102427	- 0,054067
1968	0,333144	3,144553	6,904774	- 0,301734
1969	0,135438	2,950847	6,730672	- 0,409289
1970	0,094311	3,029939	6,716166	- 0,357198
1971	0,360253	3,151418	6,940337	- 0,405465
1972	0,321584	3,109676	6,987012	- 0,639443
1973	0,311292	3,184856	6,983578	- 0,328214
1974	0,375906	3,137322	6,976411	- 0,435024
1975	0,359854	3,167918	6,945750	- 0,324443
1976	0,385662	3,171907	6,990581	- 0,008785
1977	0,320205	3,120966	6,960003	0,048397
1978	0,385662	3,164482	6,991068	0,008785
1979	0,353822	3,149883	6,984901	0,044576
1980	0,238257	3,044039	6,947244	0,056735

Realizado en base al Anexo 3.

Las ecuaciones se estimaron nuevamente por mínimos cuadrados (ver Apéndice Nº 3). Los resultados para los parámetros a, b, c y d son los siguientes:

Paz del Río:

$$\underset{(0,0000000054)}{\text{Ln K/Q}} = \underset{(0,0000000054)}{0,000120628\ \text{PMP}} + \underset{(0,047958)}{0,0909736531}\ \frac{1}{100(\text{PA/PMP})} + \underset{(0,0000000016)}{0,0011838785\ \text{M}} - \underset{(0,000001145)}{0,0403724759\ \text{U}} \qquad 4\text{–}11$$

$\sigma^2 = 0,0000892461$ $\qquad R^2 = 0,999992112$ $\qquad R = 0,999996006$

$$\underset{(0,0000034757)}{\text{Ln E/Q}} = \underset{(0,0000034757)}{-0,0008433675\ \text{PMP}} + \underset{(30,91482)}{5,628445427}\ \frac{1}{100(\text{PA/PMP})} + \underset{(0,00000106)}{0,003233476\ \text{M}} - \underset{(0,00070922)}{0,0254027529\ \text{U}} \qquad 4\text{–}12$$

$\sigma^2 = 0,0564789122$ $\qquad R^2 = 0,834059048$ $\qquad R = 0,913268333$

$$\underset{(0,0000009383)}{\text{Ln L/Q}} = \underset{(0,0000009383)}{-0,0022479336\ \text{PMP}} + \underset{(-8,34616)}{0,7815492416}\ \frac{1}{100(\text{PA/PMP})} - \underset{(0,000000387)}{0,0029882068\ \text{M}} - \underset{(0,00019147)}{0,0277181808\ \text{U}} \qquad 4\text{–}13$$

$\sigma^2 = 0,0125247777$ $\qquad R^2 = 0,9999935566$ $\qquad R = 0,9999967783$

$$\text{Ln } H/Q = \underset{(0,000001361)}{-0,0061833553\ PMP} + \underset{(-12,10166)}{0,6280220995\ \frac{1}{100(PA/PMP)}} + \underset{(0,000000415)}{0,0036027403\ M}$$

$$\underset{(0,0002762)}{-0,066931638\ U} \qquad 4\text{–}14$$

$\sigma^2 = 0,022108767$ $\qquad R^2 = 0,9993422933$ $\qquad R = 0,9996710926$

SIDEMUÑA:

$$\text{Ln } K/Q = \underset{(0,0009227417)}{0,0000933449\ PMP} - \underset{(-7,85443)}{3,679430932\ \frac{1}{100(PA/PMP)}} + \underset{(0,0000000105)}{0,0008171599\ M} -$$

$$\underset{(0,00001886)}{-0,0187435425\ U} \qquad 4\text{–}15$$

$\sigma^2 = 0,0462871845$ $\qquad R^2 = 0,9050136039$ $\qquad R = 0,9513220295$

$$\text{Ln } E/Q = \underset{(0,0003891614)}{-0,0034788066\ PMP} + \underset{(3,312562)}{1,293513037\ \frac{1}{100(PA/PMP)}} + \underset{(0,0000000044)}{0,0043358776\ M}$$

$$\underset{(0,000007956)}{-0,0168377912\ U} \qquad 4\text{–}16$$

$\sigma^2 = 0,0195213729$ $\qquad R^2 = 0,7183380811$ $\qquad R = -0,847548276$

$$\text{Ln } L/Q = \underset{(0,000602898)}{-0,031710349\ PMP} + \underset{(-5,13189)}{0,0851928163\ \frac{1}{100(PA/PMP)}} - \underset{(0,0000000069)}{0,0027305764\ M}$$

$$- 0,0265463221\ U \qquad (0,000012326) \qquad 4\text{–}17$$

$$\sigma^2 = 0,0302429464 \qquad R^2 = 0,9847441617 \qquad R = 0,9923427642$$

$$\text{Ln } CH/Q = \underset{(0,019935145)}{-0,0343104671\ PMP} + \underset{(-37,9504)}{3,268256174}\ \frac{1}{100(PA/PMP)} + \underset{(0,000000051)}{0,0011720722\ M}$$

$$-0,0072641831\ U \qquad (0,000009119) \qquad 4\text{–}18$$

$$\sigma^2 = 0,0223700109 \qquad R^2 = 0,9613597801 \qquad R = 0,9804895615$$

SIDELPA:

$$\text{Ln } K/Q = \underset{(0,00000036861)}{-0,0018098646\ PMP} - \underset{(0,32329)}{0,3894223072}\ \frac{1}{100(PA/PMP)} + \underset{(0,0000000003)}{0,0007694874\ M}$$

$$-0,0152208732\ U \qquad (0,000000217) \qquad 4\text{–}19$$

$$\sigma^2 = 0,0004298802 \qquad R^2 = 0,9994494479 \qquad R = 0,999724686$$

$$\text{Ln } E/Q = \underset{(0,0000011933)}{-0,0010803968\ PMP} - \underset{(-1,046502)}{13,69367586}\ \frac{1}{100(PA/PMP)} + \underset{(0,0000000011)}{0,004060315\ M}$$

$$-0,012994967\ U \qquad (0,00000071) \qquad 4\text{–}20$$

$$\sigma^2 = 0,0013918419 \qquad R^2 = 0,9082299161 \qquad R = -0,953010973$$

$$\text{Ln } L/Q = \underset{(0,000002306)}{-0,0032490055\ PMP} + \underset{(-2,02255)}{0,2859173177\ \frac{1}{100(PA/PMP)}} \underset{(0,0000000021)}{-\ 0,0020826066\ M} - \underset{(0,000001358)}{0,0112081576\ U} \qquad 4\text{-}21$$

$$\sigma^2 = 0,002689587 \qquad R^2 = 0,9990853028 \qquad R = 0,9995425468$$

$$\text{Ln } CH/Q = \underset{(0,0000941437)}{0,0089191232\ PMP} + \underset{(-82,56)}{2,67913254\ \frac{1}{100(PA/PMP)}} + \underset{(0,0000000864)}{0,0001151816\ M} - \underset{(0,0000554316)}{0,010941896\ U} \qquad 4\text{-}22$$

$$\sigma^2 = 0,0508755447 \qquad R^2 = 0,9614916846 \qquad R = 0,9805568238$$

En el capítulo anterior las ecuaciones explicaban el comportamiento de las eficiencias; en éste, las ecuaciones explican las variaciones de los insumos capital, trabajo, energía eléctrica y mineral de hierro o chatarra para cada una de las empresas.

Como puede observarse en las ecuaciones, las variables independientes tienen efectos diferentes sobre las cuatro variables dependientes.

Para la siderúrgica Acerías Paz del Río, la variable escala de planta, representada por PMP tiene el efecto de aumentar ligeramente el uso de capital, en tanto que es ahorradora de trabajo, energía eléctrica y mineral de hierro. El efecto de la innovación tecnológica representada por la letra M aumenta el uso del capital, disminuye el uso del trabajo

y aumenta el de energía eléctrica y mineral de hierro. La variable aprendizaje de los trabajadores, representada por PA/PMP, disminuye el uso del capital, trabajo, energía eléctrica y mineral de hierro. Por último, la utilización de la capacidad disminuye el uso de capital, trabajo, energía eléctrica y mineral de hierro.

Para la siderúrgica SIDEMUÑA la escala de planta produce pequeños aumentos en el uso del capital, disminuciones en el uso de los tres factores restantes. El aprendizaje de los trabajadores aumenta el uso del capital y produce disminuciones en el uso de energía eléctrica, trabajo y chatarra. El cambio tecnológico aumenta el uso del capital, trabajo, energía eléctrica y chatarra. La utilización produce cambios en el uso de capital, energía eléctrica, trabajo y chatarra.

Para la siderúrgica SIDELPA, la escala de planta disminuye el uso del capital, trabajo y energía eléctrica, produce aumentos en el uso de chatarra.

El aprendizaje de los trabajadores produce disminuciones en el uso del capital y de energía eléctrica y aumentos en el uso del trabajo y de la chatarra.

El cambio tecnológico produce aumentos en el uso de los cuatro factores.

La utilización de la capacidad produce disminuciones en el uso del capital, trabajo, energía eléctrica y chatarra.

Como en el capítulo anterior, se efectuaron pruebas de: bondad de

ajuste Ji-cuadrado y varianza con respecto a los datos esperados. Se - calcularon también los estimadores mínimo-cuadráticos: estimador de la varianza, coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación múltiple, para las ecuaciones obtenidas en este capítulo.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

PAZ DEL RIO:

Ecuación	$\frac{\sum errores^2}{n}$	Ji-cuadrado calculado	R^2	R	σ^2
4-11	0,000065447	0,097536104	0,999992112	0,999996006	0,000089246
4-12	0,041417869	0,122841129	0,834059048	0,913268333	0,056478912
4-13	0,011181703	0,0485974092	0,999993556	0,999996778	0,015247778
4-14	0,016213096	0,243541792	0,999342293	0,999671093	0,022108768

En los resultados anteriores se puede observar que las cuatro ecuaciones tienen un Ji-cuadrado aceptable a un nivel de significancia del 5 % y con 10 grados de libertad, ya que los Ji-cuadrados calculados son inferiores a 18,31 valor encontrado en la tabla de la distribución Ji-cuadrado.

Se puede observar además, que existe una correlación positiva casi perfecta, ya que los R se encuentran en el intervalo:

$$-1 \leqslant R \leqslant 1$$

y todos los valores de R se aproximan a uno.

Los intervalos de confianza que se construyeron para σ^2 tienen la probabilidad del 95% de contener a su correspondiente parámetro estructural, teniendo en cuenta que se trabajó con 11 grados de libertad.

Los intervalos resultantes con un nivel de significación del 5 % , son:

Ecuación	Intervalo				
4-11	0,0000447859	<	0,0000892461	<	0,0002572809
4-12	0,0283425199	<	0,0564789122	<	0,1628188889
4-13	0,0076517129	<	0,0152477777	<	0,0439566914
4-14	0,011094728	<	0,022108767	<	0,0637357332

SIDEMUÑA:

Ecuación	$\frac{\sum \text{errores}^2}{n}$	Ji-cuadrado calculado	R^2	R	σ^2
4-15	0,033943935	0,569849063	0,905013604	0,951322029	0,046287185
4-16	0,014315674	0,027433797	0,718338081	-0,847548276	0,019521373
4-17	0,022178161	0,106362859	0,984744162	0,992342764	0,030242946
4-18	0,016404675	0,231984267	0,961359780	0,980489562	0,022370011

Como los Ji-cuadrados observados son inferiores a 18,31, que es el valor de Ji-cuadrado con un nivel de significancia del 5 % y el 95 % de confianza, encontrado en la tabla de la distribución χ^2 , los Ji-cuadrados calculados son aceptables.

Se observa que existe una correlación positiva en las ecuaciones 4-15, 4-17 y 4-18; en la ecuación 4-16 la correlación es negativa. Los valores de R se encuentran en el intervalo $-1 \leqslant R \leqslant 1$.

Los intervalos de confianza que se construyeron para σ^2 tienen la probabilidad del 95 % de contener a su correspondiente parámetro es-

tructural. Los intervalos resultantes con un nivel de significación del 5 % y con 11 grados de libertad son:

Ecuación			Intervalo		
4-15	0,0232280579	<	0,0462871845	<	0,1334361606
4-16	0,0097963094	<	0,0195213729	<	0,0562759882
4-17	0,0151766611	<	0,0302429464	<	0,0871840164
4-18	0,0112258266	<	0,0223700109	<	0,0644880089

SIDELPA

Ecuación	$\frac{\sum \text{errores}^2}{n}$	Ji-cuadrado calculado	R^2	R	σ^2
4-19	0,000315246	0,018046247	0,999449448	0,999724686	0,000429880
4-20	0,010206840	0,002204425	0,908229916	0,953010973	0,001391842
4-21	0,001972364	0,009194061	0,999085303	0,999542547	0,002689587
4-22	0,037308733	3,741320229	0,961491685	0,980556824	0,050875545

Puede apreciarse que los Ji-cuadrados calculados son inferiores a 18,31, que es el valor del Ji-cuadrado con un nivel de significancia de 5 % y 95 % de confianza, encontrado en la tabla de la distribución con 10 grados de libertad; de tal manera que los Ji-cuadrados calculados - son aceptables.

La correlación es positiva. Los valores de R se aproximan a 1.

Los intervalos de confianza que se construyeron para σ^2 tienen la probabilidad del 95 % de contener a su correspondiente parámetro es-

tructural. Los intervalos con un nivel de significación de 5 %, son:

Ecuación			Intervalo		
4-19	0,0002157246	<	0,0004298020	<	0,0012392700
4-20	0,0006984608	<	0,0013918419	<	0,0040123857
4-21	0,0013497015	<	0,0026895870	<	0,0077536118
4-22	0,0255306109	<	0,0508755447	<	0,1466653541

Para entender la importancia de cada una de las variables independientes, se calcularon las elasticidades de las variables dependientes con respecto a las variables independientes en sus puntos medios. Los resultados aparecen en los cuadros números 23, 24 y 25.

Cuadro Nº 23

ACERIAS PAZ DEL RIO

ELASTICIDADES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

CON RESPECTO A LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Variable	K/Q	E/Q	L/Q	H/Q
PMP	0,0575984338	-0,1147927925	-0,4485605132	-4,4065913500
PA/PMP	-0,0003047342	-0,0053741585	-0,0010940021	0,0063436505
M	1,5349798100	1,1950378670	-1,6190582580	6,9714930500
U	-0,8077751847	-0,1317128640	-0,2120931159	-1,7180449200

Cuadro Nº 24

SIDERURGICA DEL MUÑA - SIDEMUÑA

ELASTICIDADES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

CON RESPECTO A LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Variable	K/Q	E/Q	L/Q	CH/Q
PMP	0,0037075297	-0,0158745195	-0,3163861071	-1,6827670920
PA/PMP	0,0207110227	-0,0007858900	-0,0001143720	-0,0124265429
M	1,8212708410	1,1102499320	-1,5287770500	3,2257089860
U	-0,9481295029	-0,0944390897	-3,3845945766	-0,3284938817

Cuadro Nº 25

SIDERURGICA DEL PACIFICO - SIDELPA

ELASTICIDADES DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

CON RESPECTO A LAS VARIABLES INDEPENDIENTES

Variable	K/Q	E/Q	L/Q	CH/Q
PMP	-0,2325616591	-0,0061802141	-0,0408063033	-1,086657675
PA/PMP	0,0026116643	0,0040936107	-0,0001874197	0,017036065
M	4,8523693710	1,1413058380	-0,0020826066	-0,688674503
U	-3,0198950280	-0,1306026647	-0,2497910759	-17,254944270

5. CONCLUSIONES

En los capítulos anteriores se ha hecho, en primer lugar, un estudio histórico y las principales características del sector para mostrar la importancia de esta industria en la economía nacional y la necesidad de profundizar en su conocimiento. Después de describir el funcionamiento se pasó a encontrar la función extrema, como representación de la tecnología, y la obtención de un estimativo de la eficiencia técnica relativa para cada observación.

Las variaciones en la eficiencia fueron satisfactoriamente explicadas por las diferentes variables tecnológicas, y están de acuerdo con los estudios que se han hecho en otros sectores productivos. Por ejemplo, el estudio de M. Ramírez (1) sobre el sector de generación de energía eléctrica encontró que aumentos en la capacidad generaban aumentos en la eficiencia. La innovación tecnológica también produce un efecto positivo importante sobre la eficiencia. La variable que él utilizó para medir el efecto del aprendizaje de los trabajadores tuvo un efecto

---

(1) M. Ramírez: Transferencia de tecnología en la industria de energía eléctrica en Colombia. Tesis de grado Msc. Universidad de Yale, 1979. P. 57.

pequeño pero significativo. Otras variables que utilizó fue Dummy, como medida de los períodos de reparación, la que mostró una disminución de la eficiencia.

En este estudio se encontró que el mayor efecto sobre la variable dependiente lo tiene la innovación tecnológica; segundo, en su orden de importancia: la escala de planta y la utilización. El aprendizaje de los trabajadores tiene un efecto muy pequeño. Los anteriores fueron - los resultados para Acerías Paz del Río.

En SIDEMUÑA, el mayor efecto sobre la eficiencia es causado por la escala de planta, seguido de la utilización de la capacidad y la innovación tecnológica. Al igual que en Paz del Río, el aprendizaje tiene un efecto pequeñísimo.

En SIDELPA, la variable que más afecta es la innovación tecnológica; su alto valor en los resultados de la elasticidad, muestra el efecto grande de ésta sobre la eficiencia; le siguen en importancia: la utilización, el aprendizaje y, por último, la escala de planta.

En general se puede afirmar que el mayor efecto sobre la eficiencia es causado por la innovación tecnológica y la escala de planta. Esto significa que para el sector siderúrgico, la mejor forma de elevar la eficiencia técnica relativa es importando maquinaria moderna para introducir en el proceso los avances de la tecnología que vienen incorporados a ella, y ampliando la capacidad instalada de las plantas. Esta conclusión concuerda con la de Ramírez en encontrar importante a la variable innovación tecnológica para explicar la eficiencia al igual

que la escala de planta y el aprendizaje. En países como Colombia, el subdesarrollo se explica por la dependencia de las potencias extranjeras. Aquí se corrobora esta teoría, ya que al no producirse maquinaria, competitiva desde el punto de vista teórico, se depende totalmente de su importación. Esta importación es indispensable tanto para introducir los avances tecnológicos como para ampliar la capacidad instalada de las industrias siderúrgicas. De tal manera que si estas industrias quieren mantenerse en el mercado y ser económicamente rentables, necesariamente dependen de las nuevas adquisiciones de bienes de capital.

Respecto al efecto de las variables tecnológicas sobre el uso de los factores, Ramírez encontró que aumentos en la utilización están asociados con disminuciones en el uso de trabajo, capital y combustible; siendo mayor para el primero y decreciendo sucesivamente.

La escala de planta mostró un efecto importante sobre la disminución del trabajo, menos importante respecto al capital y estadísticamente insignificante con respecto al combustible.

El efecto de la innovación tecnológica incorporado en el equipo mostró una reducción sobre los requerimientos de trabajo, combustible y capital en orden de magnitud decreciente.

El capital y el combustible disminuyeron con el aprendizaje de los trabajadores, en tanto que el trabajo aumentó, lo cual sugiere que la variable permite una substitución de capital y combustible por trabajo.

En el presente estudio, para Acerías Paz del Río se encontró que la escala de planta aumenta el uso de capital y disminuye los requeri -

mientos de las demás. Produce su mayor efecto frente al insumo mineral de hierro (CH). El aprendizaje de los trabajadores incrementa el uso en todos los factores, siendo también mayor su efecto sobre el mineral de hierro seguido de la energía eléctrica. Su efecto sobre el capital y el trabajo es mínimo.

La innovación tecnológica produce aumentos en el uso de capital, - energía eléctrica y mineral y disminuye el uso de trabajo. El mayor e- fecto se produce frente al mineral de hierro y le sigue el trabajo.

En SIDEMUÑA, la escala de planta ahorra energía, trabajo y chata - rra en tanto que causa mayor consumo de capital; sobre éste factor se da su mayor efecto. El aprendizaje disminuye el uso de todos los facto- res excepto el capital; su mayor efecto se da sobre la chatarra. La in- novación tecnológica es similar a la de Paz del Río.

En SIDELPA, la escala hace aumentar el uso de la chatarra en tanto que disminuye el uso de los demás factores; su efecto más importante se da frente a la energía eléctrica. El aprendizaje es ahorrador de capi- tal y energía, en tanto que aumenta el consumo de trabajo y chatarra. - La innovación tecnológica aumenta el uso de todos los factores.

Para las tres empresas la utilización de la capacidad produce au - mentos en el consumo de los cuatro factores. Para Paz del Río su efec- to es mayor respecto del capital; para SIDEMUÑA, respecto de la energía, lo mismo que para SIDELPA. Esta conclusión es contraria a la hipótesis inicial de que la utilización producía ahorros de capital.

Se puede observar que la variable innovación tecnológica es ahorradora de mano de obra, lo que comprueba una de las hipótesis iniciales. En general se sabe que la maquinaria desplaza mano de obra; esto se hace palpable, en mayor grado, en los países donde la mano de obra es escasa y cara, como sucede con los países avanzados. Estos, que son los productores de maquinaria, introducen modificaciones a los equipos orientadas a ahorrar ese factor escaso. En las industrias de los países dependientes, debido a las condiciones particulares en que se desenvuelven obligadas a hacer continuas importaciones de bienes de capital, el trabajo es desplazado como consecuencia de la incorporación de esos equipos que traen innovaciones tendientes a ahorrar ese factor.

La escala de planta solo produce incrementos en el uso de capital en tanto que el efecto es contrario para los demás. Lo que sucede respecto del capital no requiere explicación; frente a los demás, era de esperarse, ya que el mayor tamaño de una empresa repercute en el menor desperdicio, en la mayor especialización y en el uso de mejores técnicas, lo que se traduce en ahorros de los factores.

Katz tiene un estudio con algunos puntos de contacto con este trabajo. Su amplio estudio de la industria argentina sobre maquinaria eléctrica, vehículos, metales, productos químicos, petróleos, etc., da como conclusiones las siguientes: "[...] 90 % de la varianza interindustrial en Cambio Tecnológico es explicada estadísticamente por la varianza de dos variables: 1) la tasa de crecimiento del volumen físico de producción, variable íntimamente ligada a la capacidad instalada y 2) gastos acumulados en investigación y desarrollo llevados a cabo

localmente para adaptar a las condiciones domésticas y/o mejorar marginalmente un diseño de producto y/o proceso obtenido previamente por importación." (1)

La conclusión general a la que llega el trabajo de M. Ramírez en la Industria de Generación de Energía Eléctrica en este país es la de que "el Cambio Tecnológico viene principalmente del extranjero, incorporado en el equipo con características de sesgo en ahorro de factores escasos en Estados Unidos y Europa. Al lado de este cambio importado hay algunas mejoras locales inducidas por el aprendizaje." (2)

En este estudio, como se anota arriba, se ha encontrado que el cambio tecnológico es causado fundamentalmente por la escala de planta y la innovación tecnológica. El efecto que estas variables tienen sobre los requerimientos de factores difiere para cada una de ellas, pero en general se puede afirmar que la variable escala de planta disminuye el uso de todos los factores excluido el capital. La innovación tecnológica disminuye el uso de trabajo en tanto que aumenta el de los demás factores.

---

(1) J.M. Katz: Implicación de la tecnología, aprendizaje e industrialización dependiente. Fondo de Cultura Económica, Primera edición, 1976.

(2) M. Ramírez: Transferencia de tecnología en la industria de energía eléctrica en Colombia. Tesis de grado Msc. Universidad de Yale, 1979. P. 63.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. ACERIAS Paz del Río. Departamento de Investigaciones Económicas. Bogotá, 1981.

2. ACERIAS Paz del Río. Archivo Estadístico 1955 - 1981.

3. ACERIAS Paz del Río. "Ciclo Siderúrgico 1972 - 73 - 74". Ref. 2611.

4. APARICIO, Guillermo. "Laminación de planos". Acerías Paz del Río, 1979.

5. BLANCO M., Rafael. "Técnicas modernas en la operación de altos hornos". Acerías Paz del Río, 1979.

6. COLMENARES, Jaime. "Programa de desarrollo industrial". Bogotá, 1978.

7. DAGUM, Camilo y Estela M. Bee de Dagum. "Introducción a la Econometría". Editorial Siglo XXI. México, sexta edición, 1979.

8. DASTUR. "El desarrollo de la industria siderúrgica en Colombia". Vol. II. Mayo, 1976.

9. DEPARTAMENTO Administrativo Nacional de Estadística DANE. "Anuario de Comercio Exterior", 1979.

10. EMPRESAS Siderúrgicas Nacionales, e Instituto Colombiano de Comercio Esterior INCOMEX, 1975 - 1978.

11. EMPRESA Siderúrgica Nacional de Paz del Río, S.A. "Informes y Balances II Semestre 1952".

12. FARRELL, M. J. "The Measurement of productive efficiency". J. Royal Statis Soc. Series A, Parte 3, 1957.

13. FARRELL, M. J. and M. Fieldhouse. "Estimating Efficient Production Function under increasing returns to scale". J. Royal Statis Soc. Serie A, Parte 2, 1962.

14. FERGUSON. "Teoría Microeconómica". Fondo de Cultura Económica. México, tercera reimpresión, 1974.

15. FONDO Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales Francisco José de Caldas. "La fundición en Colombia". Bogotá, Abril de 1979.

16. GARMO, Paul de. "Materiales y Procesos de Fabricación". Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional (AID). México, séptima edición , 1967.

17. GRANVILLE, Smith Longley. "Cálculo diferencial e integral". Editorial UTEHA. México, 1977.

18. INFANTE V., Arturo. "Programación Lineal: Teoría y Aplicaciones" Editorial Universitaria de América, 1978.

19. INSTITUTO de Fomento Industrial. "Informe del Gerente" 1979 - 1980.

20. INTRILIGATOR, M. D. "Mathematical Optimization and Economic Theory" Prentice Hall,, 1971.

21. KATZ, J. M. "Implicación de la tecnología, aprendizaje e industrialización dependiente". Fondo de Cultura Económica. Primera edición, 1976.

22. KOOPMANS, T. C. "Analysis of Production as an efficient combination of activities". Cap. III of Koopmans, T.C. "Activity Analysis of production and allocation cowles comission mono - graph".

23. KOOPPERS Company Inc. "Report on Siderúrgica Nacional de Paz del Río" Colombia, 1958.

24. LEE, E. B. and L. Marcus. "Foundations of Optimal Control Theory"Wiley, 1967".

25. LEFTWICH. "Microeconomía". Editora Interamericana, 1979.

26. LEYVA A., César. "Sinterización". Paz del Río, 1980.

27. LINCOLN L. Chao. "Estadística para las ciencias administrativas". Edit. McGraw-Hill. Bogotá, segunda edición, 1975.

28. LOPEZ, Diego. "Sistema de explotación del hierro". Paz del Río, 1980.

29. LOPEZ, Diego M. "Descripción de equipos siderúrgicos". Paz del Río, 1980.

30. MINISTERIO de Desarrollo Económico. "Plan Indicativo Siderúrgico", 1972.

31. MINISTERIO de Desarrollo Económico. "Plan Indicativo para el desarrollo de la Industria Siderúrgica", 1980.

32. NUEVA Frontera. Revistas mensuales. Números: 281, 284, 298. 1980.

33. OSPINA Vásquez, Luis. "Industria y Protección en Colombia, 1910-1930" Editorial Oveja Negra. Medellín, 1979.

34. POVEDA Ramos, Gabriel. "Políticas Económicas, Desarrollo Industrial y Tecnológico en Colombia, 1925 - 1975". Colciencias. Bogotá, segunda edición, 1979.

35. PUERTA, Germán. "El desarrollo tecnológico en la Industria Siderúrgica Colombiana". Programa BID - CEPAL de investigaciones en ciencia y tecnología. I-1979, II-1981.

36. RAMIREZ, M. "Transferencia de tecnología en la industria de energía eléctrica en Colombia". Tesis de Grado Msc. Universidad de Yale, 1979.

37. RODRIGUEZ, German de. "Utilización de la capacidad instalada en la industria manufacturera colombiana 1973 - 1978". Tesis de Grado. Universidad Nacional, Facultad de Economía. Julio 1980.

38. SEITZ, W. D. "The Measurement of Efficiency Relative to a Frontien Production Function". American J. Agricultural Econ., 1970.

39. SIDELPA. Archivo estadístico, 1963 - 1981.

40. SIDELPA. 40 años, Siderúrgica del Pacífico, 1980.

41. SIDEMUÑA. Archivo estadístico, 1964 - 1981.

42. SIMESA. 40 años, Siderúrgica de Medellín. Medellín, 1978.

43. VILLA Restrepo, Jairo. "La industria metal-mecánica y sus perspectivas". Medellín, 1980.

44. WISNER, Eduardo. "Paz del Río, un Estudio sobre el Origen, su Financiación, su Experiencia y sus relaciones con el BIR". Bogotá, 1973.

APENDICE 1

EFICIENCIA TECNICA RELATIVA

Se presenta detalladamente en este apéndice, el sistema que se siguió para obtener la eficiencia técnica relativa.

Para el análisis se tomó tres de las siderúrgicas existentes en Colombia:

A. Acerías Paz del Río,

B. Siderúrgica del Muña, SIDEMUÑA,

C. Siderúrgica del Pacífico, SIDELPA.

Se utilizó como insumos principales:

A. Capacidad Instalada,

B. Número de Obreros,

C. Mineral de Hierro o Chatarra,

D. Número de Profesionales,

E. Energía Eléctrica.

Cada siderúrgica reune para el periodo 1966 - 1980 estadísticas confiables, obtenidas en las diferentes empresas; teniendo en cuenta estos datos se procede a encontrar los valores de la eficiencia año por año y para cada siderúrgica, mediante la comparación de las observaciones.

Eficiencia Técnica:

La Eficiencia Técnica Relativa se encuentra dividiendo la cantidad realmente producida entre la cantidad máxima producida.

$$E = \frac{P}{P \text{ Optima}}$$

Donde: E es la Eficiencia,

P es la Producción Actual, y

P Máx. es la Producción Máxima.

Para la aplicación de esta fórmula es necesario calcular: requeri - mientos de insumo producto, procesos eficientes, representación de la - función de producción, producción óptima.

1. Requerimientos de Insumo Producto

Dividiendo los insumos por la cantidad de acero producido se tiene los requerimientos de insumo por unidad de producto o coeficientes de insumo producto; se expresan estos coeficientes en las tablas Nº 1 para Acerías Paz del Río, Nº 2 para SIDEMUÑA, y Nº 3 para SIDELPA.

2. Procesos Eficientes

Un proceso es eficiente, si no hay ningún otro proceso que produzca las mismas cantidades de productos utilizando cantidades iguales o menores de todos los insumos, y menores de por lo menos uno.

Cuando la producción máxima alcanzable para un proceso k es igual a la cantidad realmente producida, ese proceso es eficiente.

Las tablas de la número 4 a la 18, de la 19 a la 33 y de la 34 a la 48 se deben construir para saber cuáles son los procesos eficientes de las siderúrgicas Acerías Paz del Río, SIDEMUÑA y SIDELPA, respectivamente.

Los procesos eficientes para cada empresa se los expresa en las tablas Nº 49 para Acerías Paz del Río, Nº 50 para SIDEMUÑA, y Nº 51 para

Tabla Nº 1

PAZ DEL RIO: Coeficientes de Insumo-Producto

Capa. Ins. Miles de Ton.	Número de Obreros	M. de Hierro Miles de Ton.	Número de Profesionales	E. Eléctrica MWH.
1,8041	31,3402	4,1224	8,4149	99,4459
1,7632	30,1196	4,3879	7,9030	130,8249
4,6213	30,1926	3,7118	7,7471	137,5856
3,5857	23,1076	1,7545	5,9263	109,3028
3,6345	23,8465	2,2882	6,0979	113,7809
3,4204	22,4988	1,7596	5,4109	136,9311
3,8523	25,0936	2,0910	6,0728	167,9615
4,1569	29,8683	2,7541	7,0138	198,2936
3,8257	25,5951	2,3603	6,0043	175,8555
3,7677	26,2009	2,8121	5,8870	170,6750
4,1072	34,2099	2,8391	6,4461	210,7017
4,4199	30,6814	2,8232	6,9361	191,0436
3,4599	23,3061	2,0831	5,4205	198,7334
3,9911	26,1918	2,2045	6,1639	184,3237
3,5538	23,7759	2,3253	5,5726	158,5637

Realizado en base al Anexo Nº 1.

Tabla Nº 2

SIDEMUÑA : Coeficientes de Insumo-Producto

Cap. Inst. Miles de Ton.	Número de Obreros	Chatarra Miles de Ton.	Número de Profesionales	E. Eléctrica MWH.
5,2632	56,0526	6,5789	13,9474	4.903,4211
3,4483	38,4483	4,1379	9,6552	2.807,5862
2,4390	26,5854	3,1707	5,3659	2.038,4146
2,5000	39,2500	3,7500	6,0000	2,120,3850
2,5974	41,0390	4,3636	6,2338	2.274,4156
2,3256	34,3023	3,4864	7,5581	2.487,6744
3,1532	24,5045	1,8649	6,6667	2.330,1802
2,4138	27,1724	2,0414	6,2069	2.143,1724
2,3333	14,6667	2,5800	6,6000	2.083,3267
2,2013	12,8302	2,5283	3,9623	2.342,9811
1,5419	9,6916	1,9515	2,2026	1.425,6608
1,7241	10,5911	2,0936	2,5616	1.533,0640
1,5217	9,6957	1,8783	2,6087	1.457,7174
1,4644	9,4561	1,8703	2,6778	1.440,5314
1,3011	8,3271	1,7100	2,1561	1.433,7249

Realizado en base al Anexo Nº " 2.

Tabla Nº 3

SIDELPA: Coeficientes de Insumo-Producto

Cap. Inst. Miles de Ton.	Número de Obreros	Chatarra Miles de ton.	Número de Profesionales	E. Eléctrica
2,2556	25,9398	1,1278	5,6391	1.160,4511
1,7544	25,7310	0,9474	6,2573	1.214,9100
1,3953	18,6512	0,7395	4,5581	997,0200
1,1450	15,7634	0,6641	3,3588	837,7100
1,0890	17,4359	0,6996	3,2600	825,6400
1,4337	18,9247	0,6666	4,4444	1.133,1200
1,3793	17,6552	0,5276	4,7586	1.082,4800
1,3632	19,4881	0,7201	4,6757	1.078,7777
1,4563	18,5761	0,6472	4,4660	1.071,0700
1,3131	19,6497	0,7229	4,1083	1.038,7300
1,4706	19,7941	1,0088	4,0588	1.086,3500
1,3774	18,6777	1,0495	3,8843	1.053,7300
1,4706	19,6765	1,0088	4,0000	1.086,8800
1,4245	19,2593	1,0741	4,0741	1.080,2600
1,2690	17,2843	1,0583	3,7056	1.040,2800

Realizado en base al Anexo Nº 3.

Tabla Nº 4

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 1

Producción	capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral De Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
155,2	280,0	4.864,0	639,8	1.306,0	15.434,0
	280,0	4.864,0	639,8	1.306,0	15.434,0
	273,6	4.675,0	836,2	1.226,0	20.303,0
	717,2	4.686,0	576,1	1.202,3	21.353,4
	556,5	3.586,3	272,3	919,8	16.963,8
	564,1	3.701,0	355,1	946,4	17.658,8
	530,8	3.491,8	273,1	839,7	21.251,7
	597,8	3.894,5	324,5	942,5	26.067,6
	701,0	4.635,6	427,4	1.088,5	30.775,2
	593,7	3.972,3	366,3	931,8	27.292,8
	584,7	4.066,4	436,4	913,6	26.488,7
	637,4	5.309,4	440,6	1.000,4	32.700,9
	685,9	4.761,7	438,2	1.076,4	29,649,9
	536,9	3.617,1	323,3	841,2	30.843,4
	619,4	4.064,9	342,1	972,1	28.607,1
	551,5	3.690,0	360,9	864,9	24.609,1

Realizado en base a la tabla Nº 1.

Tabla Nº 5

PAZ DEL RIO : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 2

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
155.8	720,0	4.704,0	578,3	1.207,0	21.436,0
	281,1	4.882,8	642,3	1.311,0	15.493,7
	274,7	4.692,6	839,4	1.231,3	20.382,5
	720,0	4.704,0	578,3	1.207,0	21.346,0
	558,7	3.600,2	273,4	923,3	17.029,4
	566,3	3.715,3	356,5	950,1	17,727,1
	532,9	3.505,3	274,1	843,0	21.333,9
	600,2	3.909,6	325,8	946,1	26.168,4
	703,7	4.673,5	439,1	1.092,8	30.894,1
	596,0	3.987,7	367,7	935,5	27.398,3
	587,0	4.082,1	438,1	917,2	26.591,2
	639,9	5.329,9	442,3	1.004,3	32.827,3
	688,6	4.780,2	439,9	1.080,6	29.764,6
	539,1	3.631.1	324,5	844,5	30.962,7
	621,8	4.080,7	343,5	975,9	28.727,6
	553,7	3.704,3	362,3	868,2	24.704,2

Realizado en base a la tabla Nº 1.

Tabla Nº 6

PAZ DEL RIO; Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 3

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
158,8	280,0	4.783,0	885,6	1.255,0	20.775,0
	286,5	4.976,8	654,6	1.336,3	15.792,0
	280,0	4.783,0	885,6	1.255,0	20.775,0
	733,9	4.794,6	589,4	1.230,2	21.848,8
	569,4	3.669,5	278,6	941,1	17.357,3
	577,2	3.787,0	363,4	968,3	18.068,4
	543,2	3.573,0	279,4	859,3	21.744,7
	611,7	3.985,0	332,1	964,4	26.672,3
	717,3	4.743,1	437,4	1.113,8	31.481,9
	607,5	4.064,5	374,8	953,5	27.925,8
	598,3	4.161,0	446,6	934,9	27.103,1
	662,2	5.432,5	450,8	1.023,6	33.459,4
	701,9	4.872,2	441,3	1.101,5	30.337,7
	549,4	3.701,0	330,8	860,8	31.558,9
	633,8	4.159,3	350,1	994,7	29.270,6
	564,3	3.775,6	369,3	884,9	25.180,0

FUENTE: Tabla Nº 1.

Tabla Nº 7

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 4

Producción	Capacidad Instalada.	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
200,8	720,0	4.640,0	352,3	1.190,0	21.948,0
	362,3	6.293,1	827,8	1.689,7	19.968,7
	354,1	6.048,0	1.081,9	1.587,0	26.269,6
	928,0	6.062,6	745,3	1.555,6	27.627,4
	720,0	4.640,0	352.3	1.190,0	21.948,0
	729,8	4.788,4	459,5	1.224,5	22.847,2
	686,8	4.517,8	553,3	1.086,5	27.495,8
	773,5	5.038,8	419,9	1.219,4	33.726,7
	907,0	5.997,6	553,0	1.408,4	39.817,4
	786,2	5.139,5	474,0	1.205,7	36.311,8
	756,6	5.261,1	564,7	1.182,1	34.271,5
	824,7	6.869,3	570,1	1.294,4	42.308,9
	887,5	6.160,8	566,9	1.392,8	38.361,6
	694,7	4.679,9	418,3	1.088,4	39.905,7
	801,4	5.259,3	442,7	1.257,8	37.012,2
	713,6	4.774,2	467,0	1.118,0	31.839.6

FUENTE: Tabla Nº 1

Tabla Nº 8

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 5

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
198,1	720,0	4.724,0	453,3	1.208,0	22.540,0
	357,4	6.208,5	816,6	1.667,0	19.700,2
	349,3	5.966,7	1.067,3	1.565,6	25.916,4
	915.5	5.981,2	735,3	1.534,7	27.255,9
	710,3	4.577,6	347,6	1.174,0	21.652,9
	720,0	4.724,0	453,3	1.209,0	22,540,0
	677,6	4.457,0	348,6	1.071,9	27.126,1
	763,1	4.971,0	414,2	1.203,0	33.273,2
	894.8	5.916,9	545,6	1.389,4	39.282,0
	757,9	5.070,4	467,6	1.189,5	34.837,0
	764,4	5.190,4	557,1	1,166,2	33.810,7
	813,6	6.777,0	562,4	1.277,0	41.740,0
	875,6	6.678,0	559,3	1.374,0	37.845,7
	685,4	4.616,9	412,7	1.073,8	39.369,1
	790,6	5.188,6	436,7	1.240,9	36.514,5
	704,0	4.710,0	460,6	1.039,9	31.411,5

FUENTE : Tabla Nº 1.

Tabla Nº 9

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 6

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
210,5	720,0	4.736,0	370,4	1.139,0	28.824,0
	379,8	6.597,1	867,7	1.771,3	27.538,6
	371,2	6.340,2	1.143,2	1.663,6	27.538,6
	993,8	6.355,5	781,3	1.630,8	28.961,9
	754,9	4,864,1	369,3	1.247,5	23.008,2
	265,1	5.019,7	481,7	1.283,1	23.950.9
	720,0	4.736,0	370,4	1.139,0	28.824,0
	810,9	5.282,2	440,2	1.278,3	35.355,9
	950,8	6.287,3	579,7	1.476,4	41.740,8
	805,3	5.387,7	496,8	1.263,9	37.017,5
	793,1	5.515,3	591,9	1.239,2	35.927,1
	864,6	7.201,2	597,6	1.356,9	44.352,7
	930,4	6.458,4	594,3	1.460,1	40.224,7
	728,3	4.905,9	438,5	1.141,0	41.833,4
	840,1	5.513,4	464,1	1.318,0	38.800,1
	748,1	5.004,8	489,5	1.173,0	33,377,7

FUENTE: Tabla Nº 1.

Tabla Nº 10

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 7

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
186,9	720,0	4.690,0	390,8	1.135,0	31.392,0
	337.2	5.857,5	770,5	1.572,7	18.586,4
	329,5	5.629,4	1.107,0	1.477,1	24.451,3
	863,7	5.643,0	693,7	1.447,9	25,714,9
	670,2	4.318,8	329,9	1.107,6	24.351,7
	679,3	4.456,9	427,7	1.139,7	21.265,6
	639,3	4.205,0	328,9	1.011,3	25.592,4
	720.0	4.690,0	390.8	1.135,0	31.392,0
	844,2	5,582,4	514,7	1.310,9	37.061,1
	715,0	4.783,7	441,1	1.122,2	32.867,4
	704,2	4.897,0	525,6	1.081,6	31.899,2
	767,6	6.393,8	530,6	1.204,8	39.380.1
	826,1	5.734,3	527,6	1.296,4	35.706,1
	646,7	4.355,9	389,3	1.013,1	37.143,3
	745,9	4.895,2	412,0	1.170,7	34.450,1
	664,2	4.443,7	434,6	1.042,4	29,635,6

FUENTE: Tabla Nº 1.

Tabla Nº 11

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 8

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
159,4	720,0	4.761,0	439,0	1.118,0	31.608,0
	287.6	4.995,6	657,1	1.341,3	15.851,7
	281.1	4.801,1	858,8	1.259,7	20.853,5
	736,6	4.812,7	591,7	1.234,9	21.931,3
	571,6	3.683,4	279,7	994,7	17.422,9
	579,3	3.801,1	364,7	972,0	18.236,7
	545,2	3.586,3	280,5	862,5	21.826,8
	641,1	4.000,0	333,3	968,0	26.773,1
	720,0	4.761,0	439,0	1.118,0	31.608,0
	609,8	4.079,9	376,2	957,1	28.031,4
	600,6	5.453,1	448,2	938,4	27.205,6
	654,7	4.176,4	452,6	1.027,5	33.585,9
	704,5	4.890,6	450,0	1.105,6	30.452,3
	551,5	3.715,0	332,0	864,0	31.678,1
	636,2	3.696,8	351,4	998,5	29.381,2
	566,5	3.789,9	370,7	889,1	25.251.1

FUENTE: Tabla Nº 1.

Tabla Nº 12

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes peocesos, al nivel de producción 9

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral De Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
188.2	720,0	4.817,0	444,2	1.130,0	33.096,0
	339,5	5.898,2	775,8	1.583,7	18.715,7
	331,8	5.688,5	1.114,0	1.487,3	24.611,2
	869,7	5.682,2	698,6	1.458,0	25.893,8
	674,8	4.348,9	330,2	1.115,3	20.570,8
	684,0	4.487,9	430,6	1.147,6	21.413,6
	643,7	4.234,3	331,2	1.018,3	25.770,4
	725,0	4.722,6	393,5	1.144,9	31.610,4
	850,1	5.621,2	518,3	1.220,0	37.318,9
	720,0	4.817,0	444,2	1.130,0	33.096,0
	709,1	4.931,0	529,2	1.107,9	32,121,0
	773,0	6.438,3	534,3	1.213,2	39.654,1
	831,8	5.774,2	531,3	1.305,4	35.954,4
	651,2	4.386,2	392,0	1.020,1	37.401,6
	751,1	4.929,3	414,9	1.178,9	34.689,7
	668,8	4.474,6	437,6	1.049,7	29.841,7

Realizado en base a la tabla Nº 1.

Tabla Nº 13

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 10

Producción	capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
191,1	720,0	5.007,0	537,4	1.125,0	32.616,0
	344,8	5.989,1	787,8	1.608,1	19.004,1
	337,0	5.755,9	1.029,6	1.510,3	25.000,6
	883,1	5.769,8	709,3	1.480,5	26.292,8
	685,2	4.415,8	335,3	1.132,5	20.887,8
	694,6	4.557,1	437,3	1.165,3	21.743,5
	691,9	4.299,5	333,6	1.034,0	26.167,5
	736,2	4.795,4	399,6	1.160,5	32.097,4
	863,2	5.707,8	526,3	1.340,3	31.894,0
	731,1	4.891,2	451,1	1.147,4	33.606,1
	720,0	5.007,0	537,4	1.125,0	32.616,0
	784,9	6.537,5	542,6	1.231,8	40.265,5
	844,6	5.863,2	539,5	1.325,5	36.508,4
	661,2	4.453,8	398,1	1.035,9	37,978,0
	762,7	5.005,3	421,3	1.197,0	35.224,3
	679,1	4.543,6	444,4	1.065,0	30.301,5

Realizado en base a la tabla Nº 1.

Tabla Nº 14

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 11

Producción t	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
175,3	720,0	5.997,0	497,7	1.130,0	36.936,0
	316,3	5.493,9	722,7	1.475,1	17.432,9
	307,3	5.280,0	944,5	1.385,4	22.933,6
	810,1	5.292,8	650,7	1.358,1	24.118,9
	628,6	4.050,8	307,6	1.038,9	19.160,8
	637,1	4.180,3	401,1	1.069,0	19,945,8
	634,7	3.944,0	308,5	948,5	24.004,0
	675,3	4.398,9	366,6	1.064,6	29.443,7
	791,8	5.235,9	482,8	1.229,5	34.760,9
	670,6	4.486,8	413,8	1.052,6	30.827,5
	660,5	4.593,0	493,0	1.032,0	29.919,3
	720,0	5.997,0	497,7	1.130,0	36.936,0
	774,8	5.378,4	494,9	1.215,9	33.489,9
	606,5	4.085,6	365,2	950,2	34.838,0
	699,6	4.592,4	386,4	1.098,1	32.311,9
	623,0	4.167,9	407,4	976,9	27.796,2

Realizado en base a la tabla Nº 1.

Tabla Nº 15

PAZ DEL RIO: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 12

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
162,9	720,0	4.998,0	459,9	1.130,0	31.121,0
	293,9	5.105,3	671,5	1.370,9	16.199,7
	287,2	4.906,5	877,7	1.287,4	21.311,4
	752,8	4.918,4	604,6	1.262,0	22.412,8
	584,1	3.764,2	285,8	965,4	17.805,4
	592.1	3.884,6	372,7	993,3	18.534,9
	589,7	3.665,1	286,6	881,4	22.306,1
	627,5	4.087,7	340,6	989,3	27.360,9
	735,8	4.865,5	448,6	1.142,5	32,302,0
	623,2	4.169,4	384,5	978,1	28.646,9
	613,7	4.268,1	459,1	926,4	27,802,9
	669,1	5.572,8	462,5	1.050,1	34,323,3
	720,0	4.998,0	459,9	1.130,0	31.121,0
	563,6	3.796,6	339,3	883,0	32.373,7
	650,1	4.266,6	359,1	1.029,4	30.026,3
	578,9	3.873,1	378,8	907,8	25.830,0

Realizado en base a la tabla Nº 1.

Tabla Nº 16

PAZ DEL RIO : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 13

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
208,1	720,0	4.850,0	433,5	1.128,0	44.356,0
	375,4	6.521,9	857,9	1.751,1	20.964,7
	366,9	6.267,9	1.121,2	1.644,6	27.224,7
	961,7	6.283,1	772,4	1.612,2	28.631,8
	746,2	4.808,7	365,1	1.233,3	22.745,9
	756,3	4.962,5	476,2	1.269,0	23.677,8
	711,8	4.682,0	366,2	1.126,9	28.495,4
	801,7	5.222,0	435,1	1.263,7	34.952,8
	940,0	6.215,6	773,1	1.459,6	41.264,9
	796,1	5.326,3	491,2	1.249,5	36.595,5
	784,1	5.452,4	585,2	1.225,1	35.517,5
	854,7	7.119,1	590,8	1.341,4	43.847,0
	919,8	6.384,8	587,5	1.443,4	39.756,2
	720,0	4.850,0	433,5	1.128,0	41.356,0
	830,5	5.450,5	458,8	1.303,5	38.357,8
	739,5	4.947,8	483,9	1.159,7	32.997,1

Realizado en base a la tabla Nº 1.

Tabla Nº 17

PAZ DEL RIO : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 14

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
180,4	720,0	4.725,0	397,7	1.130,0	33.252,0
	325,5	5.653,7	743,9	1.518,1	17.940,0
	318,1	5.433,6	971,9	1.425,7	23.600,8
	833,7	5.446,7	669,6	1.397,6	24.820,6
	646,8	4.168,6	316,5	1.069,1	19.718,2
	655,6	4.301,0	412,8	1.100,1	20.526,1
	617,0	4.058,8	317,4	976,1	24,702,4
	694,9	4.526,9	377,2	1.095,5	30,300,2
	814,8	5.388,2	496,8	1.265,3	35.772,2
	690,2	4.617,3	425,8	1.083,2	31.724,3
	679,7	4.726,6	507,3	1.062,0	30.789,8
	740,9	6.171,5	512,1	1.162,9	38,010,6
	793,3	5.534,9	509,3	1.251,3	34.464,3
	624,2	4.204,4	375,8	977,0	35.851,5
	720.0	4.725,0	397,7	1.130,0	33.252,0
	641,1	4.289,2	419,5	1.005,3	28.604,9

Realizado en base a la tabla Nº 1.

Tabla Nº 18

PAZ DEL RIO : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 15

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
2026	720,0	4.817,0	471,1	1.129,0	32.125,0
	365,5	6.349,5	835,2	1.704,9	20.147,7
	357,2	6.102,2	1.091,6	1.601,1	26.505,1
	936,3	6.117,0	752,0	1.569,6	27,875,0
	726,5	4.681,6	355,5	1.200,7	22.144,7
	736,3	4.831,3	463,6	1.235,4	23,052,0
	693,0	4.558,3	356,5	1.096,2	27.724,2
	780,5	5.084,0	423,6	1.230,3	34.029,0
	951,1	6.051,3	558,0	1.421,0	40.174,3
	775,1	5.185,6	478,2	1.216,5	35.628,3
	763,3	5.308,3	569,7	1.192,7	34.578,8
	832,1	6.931,0	575,2	1.306,0	42.688,2
	895,5	6.216,1	572,0	1.405,3	38,705,4
	701,0	4.721,8	422,0	1.098,2	40.263,4
	808,6	5.306,5	446,6	1.269,1	37,344,0
	720,0	4.817,0	471,1	1.129,0	32.125,0

Realizado en base a la tabla Nº 9.

Tabla Nº 19

SIDEMUÑA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 1

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
3,8	20,0	213,0	25,0	53,0	18.633,0
	20,0	213,0	25,0	53,0	18.633,0
	13,1	146,0	15,7	37,0	10.668,8
	9,2	101,0	12,0	20,0	7.746,0
	9,5	149,0	14,3	23,0	8.057,4
	9,9	156,0	11,6	24,0	8.642,8
	8,8	130,0	13,3	29,0	9.453,2
	11,9	93,0	7,1	25,0	8.854,7
	9,2	103,0	7,8	24,0	8.144,1
	8,9	56,0	9,8	17,0	7.916,6
	8,4	49,0	9,6	15,0	8.903,3
	5,9	37,0	7,4	8,0	5.417,5
	6,5	40,0	8,0	10,0	5.825,6
	5,8	37,0	7,1	10,0	5.539,3
	5,6	36,0	7,1	10,0	5.473,0
	4,9	32,0	6,5	8,0	5.448,2

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 20

SIDEMUÑA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 2

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
5,8	20,0	223,0	24,0	56,0	16.284,0
	32,0	325,1	38,2	80,9	28.439,8
	20,0	223,0	24,0	56,0	16.284,0
	14,0	154,2	18,4	31,1	11.822,8
	15,0	227,7	21,8	34,8	12,298,2
	15,0	238,0	25,3	36,2	13.191,6
	13,0	199,0	20,2	43,8	14.428,5
	18,0	142,1	10,8	38,7	13.515,0
	14,0	157,6	11,8	36,0	12,430,4
	14,0	85,1	15,0	26,7	12.083,3
	13,0	74,4	14,7	23,0	13.589,3
	9,0	56,2	11,3	12,8	8.268,8
	10,0	61,4	12,1	14,9	8.898,8
	9,0	56,2	11,3	12,8	8.454,8
	8,0	54,8	10,8	15,5	8.355,1
	8,0	48,3	9,9	22,5	8.315,6

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 21

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 3

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
8,2	20,0	218,0	26,0	44,0	16.715,0
	43,2	459,6	53,9	114,4	40.208,9
	28,3	315,3	33,9	79,2	23.222,0
	20,0	218,0	26,0	44,0	16.715,0
	20,5	321,9	30,8	49,2	17.387,1
	21,3	336,5	35,8	51,1	18.650,2
	19,1	281,3	28,6	62,0	20.398,9
	25,9	209,9	15,3	54,7	19.107,5
	19,8	222,8	16,7	50,9	17.574,0
	19,1	120,3	21,2	37,7	17.833,0
	18,1	105,2	20,7	32,5	19.212,4
	12,6	79,5	16,0	18,1	11.690,4
	14.1	86,8	17,2	21,o	12.571,1
	12,5	79,5	16,4	21,4	11.953,3
	12,0	77,5	15,3	22,0	11.812,4
	10,7	68,3	14,0	17,7	11.756,5

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 23

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 5

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
7,7	20,0	316,0	33,6	48,0	17.513,0
	40,5	431,6	50,7	107,4	37.756,3
	26,6	296,1	31,9	74,3	21.618,4
	18,8	204,7	24,4	41,3	15.625,8
	19,3	302,2	28,9	46,2	16.326,9
	20,0	316,0	33,6	48,0	17.513,0
	17,9	264,1	26,9	58,2	19.125,1
	24,3	188,7	14,4	51,4	17.942,4
	18,6	209,2	15,7	47,8	16.502,4
	18,0	112,9	19,8	35,4	16.041,6
	16,9	98,8	19,5	30,5	18.041,0
	11.9	74,6	15,0	17,0	10.977,6
	13,3	81,6	16,0	19,7	11.804,6
	11.7	74,7	14,5	20,1	11.224,4
	11,3	72,8	14,4	20,6	11.096,1
	10,0	64,1	13,2	16,6	11.039,7

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 22

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 4

Producción a	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
8,0	20,0	314,0	30,0	48,0	16.963,0
	42,1	448,4	52,6	111,6	39.227,2
	27,6	307,6	33,1	77,2	24.460,7
	19,5	212,7	25,4	42,9	16.307,0
	20,0	314,0	30,0	48,0	16.963,0
	20,8	328,3	34,9	50,0	18,195,0
	18,6	274,4	27,9	66,5	19,901,4
	25,2	196,0	14,9	53,3	18.641,4
	19,3	217,4	16,3	50,0	17.145,4
	18,7	117,3	20,6	36,8	16.666,6
	17,6	102,6	20,2	31,7	17.843,8
	12,3	77,5	15,6	17,6	11.405,4
	13,8	84,7	16,7	20,5	12.264,5
	12,2	77,6	15,0	20,9	11.661,7
	11,7	75,6	15,0	21,4	11.524,3
	10,4	66,6	13,7	17,2	11.469,8

Realizado en base ala tabla Nº 2.

Tabla Nº 24

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 6

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
8,6	20,0	295,0	30,0	65,0	21.394,0
	43,5	482,1	56,0	119,9	42.162,4
	30,0	330,7	35,6	83,0	24.145,2
	21,1	228,6	27,3	46,1	17.530,4
	21,5	337,6	32,3	51,6	18,235,2
	22,3	352,9	37,5	53,6	19.560,0
	20,0	295,0	30,0	65,0	21.394,0
	27,1	210,7	16,0	57,3	20.039,5
	20,8	233,7	17,6	53,4	18.431,3
	20,1	126,1	22,2	39,6	17.916,6
	18,9	110,3	21,7	34,1	20.149,6
	13,3	83,3	16,8	18,9	12.260,7
	14,8	91,1	18,0	22,0	13.184,4
	13,1	83,4	16,2	22,4	12.536,4
	12,6	81,3	16,1	23,0	12.388,6
	11,2	71,6	14,7	18,5	12.330,0

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 25

SIDEMUÑA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 7

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
11,1	35,0	272,0	20,7	74,0	25.865,0
	58,4	622,2	73,0	154,8	54.428,0
	38,3	426,8	45,9	105,2	31.164,2
	27,1	295,1	35,2	59,6	22.616,2
	27,8	435,7	41,6	66,6	23.516,2
	28,8	455,5	48,4	69,2	25,246,9
	25,8	380,8	38,7	83,9	27.612,2
	35,0	272,0	20,7	74,0	25.865,0
	26,8	301,6	22,7	68,9	23.789,2
	25,9	162,8	28,6	51,1	23.124,9
	24,4	142,4	28,1	44,0	26.007,1
	17,1	107,6	21,7	24,4	15.824,8
	19,1	117,6	23,2	28,4	17.017,7
	16,9	107,6	20,8	29,0	16.180,7
	16,3	105,0	20,8	29,7	15.989,9
	14,4	92,4	19,0	23,9	15,914,3

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 26

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 8

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
14,5	35,0	394,0	29,6	90,0	31.076,0
	76,3	812,8	95,4	202,2	71.099,6
	50,0	557,5	60,0	140,0	40.171,0
	35,4	385,5	46,0	77,8	29.557,0
	36,3	569,1	54,6	87,0	30.744,4
	37,7	595,1	63,1	90,4	32.799,0
	33,7	497,4	50,6	109,6	36.071,3
	45,7	355,3	27,0	96,7	33.783,6
	35,0	394,0	26,6	90,0	31.076,0
	33,8	212,7	37,4	66,7	30.208,2
	31,9	186,0	36,7	57,5	33.973,2
	22,4	140,5	28,3	32,9	20.672,1
	25,0	133,6	30,4	37,1	22.229,4
	22,1	140,6	27,2	37,8	21.136,9
	21,2	137,1	21,1	38,8	20.887,7
	18,9	120,7	24,8	31,3	20.789,0

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 27

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 9

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
15,0	35,0	220,0	38,7	69,0	31.249,9
	78,9	840,8	98,7	209,2	73.551,3
	51,7	576,7	61,1	144,8	42.123,8
	36,6	998,8	47,6	80,5	30.576,2
	37,5	578,8	56,3	90,0	31.805,6
	39,0	615,6	65,5	93,5	34.116,2
	34,9	524,5	52,3	103,5	37.315,1
	47,3	367,6	28,0	100,0	34.952,7
	36,2	407,5	30,6	93,1	32.147,5
	35,0	220,0	38,7	69,0	31.249,9
	33,0	192,5	37,9	59,4	35.144,7
	23,1	145,4	29,3	33,0	21.384,9
	25,9	158,9	31,4	38,4	22.996,0
	22,8	145,4	28,2	39,1	21.866,0
	22,0	141,8	28,1	40,0	21.608,0
	19,5	124,9	25,7	32,3	21.506,0

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 28

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 10

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
15,9	35,0	204,0	40,2	63,0	37.253,4
	83,7	891,2	104,6	221,8	77.964,4
	54,8	611,3	65,8	153,3	44.640,6
	38,8	432,7	50,4	85,3	32.410,8
	39,8	624,1	59,6	95,4	33.714,0
	41,3	652,5	69,4	99,1	36.163,2
	37,0	545,4	55,5	120,2	39.554,0
	50,1	389,6	29,7	106,0	37.049,9
	38,4	342,0	32,5	98,7	34.076,4
	37,1	232,2	41,0	73,1	33.124,9
	35,0	204,0	40,2	63,0	37.253,4
	24,5	154,1	31,0	35,0	22.668,0
	27,4	168,4	33,3	40,7	24,693,7
	24,2	154,2	29,9	41,5	23.177,6
	23,3	150,4	29,7	42,6	22.904,7
	20,7	132,4	27,2	34,3	22.796,2

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 29

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 11

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
22,7	35,0	220,0	44,3	50,0	32,362,5
	119,5	1.272,4	13,1	316,6	111.307,7
	78,3	872,8	93,9	219,2	63.732,2
	55,4	603,5	72,0	121,8	46.272,0
	56,8	891.0	85,1	136,2	48.132,5
	59,0	931,6	99,1	145,5	51.629,2
	52,8	778,5	79,2	171,6	56.470,2
	71,6	566,3	42,3	151,3	52.895,1
	54,8	616,8	46,4	140,9	48.650,0
	53,0	332,9	58,6	104,4	47.291,5
	50,0	291,2	57,4	89,9	53.185,7
	35,0	220,0	44,3	50,0	32.363,5
	39,1	240,4	47,5	58,1	34.800,6
	34,5	220,1	42,6	59,2	33.090,2
	33,2	814,7	42,5	60,8	32.700,1
	29,5	189,0	38,8	48,9	32.545,6

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 30

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 12

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
20,3	35,0	215,0	42,5	52,0	31.121,2
	106,8	1.137,9	11,8	283,1	99.539,4
	70,0	780,5	83,0	196,0	56.994,0
	49,5	539,7	64,4	108,9	41.379,8
	50,8	796,8	76,1	121,8	43,043,6
	52,7	833,1	88,6	126,5	46.170,6
	47,2	696,3	70,8	153,4	50.499,8
	64,0	497,4	37,9	135,3	47.302,7
	49,0	551,6	41,5	126,0	43,506,4
	47,4	297,7	52,4	93,4	42,921,5
	44,7	260,5	51,3	80,4	47.562,5
	31,3	196,7	39,6	44,7	28.940,9
	35,0	215,0	42,0	52,0	31,121,2
	30,9	196,8	38,1	53,0	29.591,7
	29,7	192,0	38,0	54,4	29,242,8
	26,4	169,0	34,0	43,8	29,104,6

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 31

SIDEMUÑA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 13

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
23,0	35,0	223,0	43,2	60,0	33.527,5
	121.1	1.289,2	13,3	320,8	112.788,7
	79,3	884,3	92,2	222,1	64.574,5
	56,1	611,5	72,9	123,4	46.863,5
	57,1	902,8	86,3	138,0	48.768,6
	59,7	943,9	100,4	143,4	52.311,6
	53,5	789,0	80,2	173,8	57.216,5
	72,5	563,6	42,9	153,3	53.594,1
	55,5	625,0	47,0	142,8	49.293,0
	53,7	333,3	59,3	105,8	47.916,5
	56,0	295,1	58,2	91,1	53.888,6
	35,5	222,9	44,9	50,7	32.790,2
	39,7	243,6	48,2	58,9	35.260,5
	35,0	223,0	43,2	60,0	33.527,5
	33,7	217,5	43,0	61,6	33.132,2
	29,9	191,5	39,3	49,6	32.975,7

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 32

SIDEMUÑA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 14

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
23,9	35,0	226,0	44,7	64,0	34.428,7
	125,6	1.339,7	13,8	333,3	117.191,8
	82,4	918,9	98,9	230,8	67.101,3
	58,3	635,4	75,8	128,2	48.718,1
	59,8	938,1	89,6	143,3	50.677,0
	62,1	980,8	104,3	149,0	54.358,5
	55,6	819,8	83,4	180,6	59.455,4
	75,4	585,7	44,6	159,3	55.651,3
	57,7	649,4	48,9	148,3	51.221,8
	55,8	350,5	61,7	109,9	39.791,5
	53,6	306,6	60,4	94,7	55.947,2
	36,9	231,6	46,6	52,6	34.073,3
	41,2	256,1	50,0	61,2	36.640,2
	36,4	231,6	44,9	62,3	34.839,4
	35,0	226,0	44,7	64,0	34.428,7
	31,1	199,0	40,9	51,5	34.266,0

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 33

SIDEMUÑA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 15

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
26,9	35,6	224,0	46,0	58,0	38.567,2
	141,6	1.507,8	15,6	375,2	131.902,9
	92,8	1.034,3	111,3	259,7	75.524,1
	65,6	715,1	85,3	144,3	54.833,4
	67,3	1.555,8	100,9	161,4	57.038,1
	69,9	1.103,9	117,4	167,7	61.118,8
	62,0	922,7	93,8	203,3	66.918,4
	84,8	659,2	50,2	179,3	62.681,8
	64,9	730,9	55,0	167,0	57,651,3
	62,8	394,5	69,4	123,7	56.046,5
	59,2	345,1	68,0	106,6	63.026,2
	41,5	260,7	52,5	59,3	38.350,3
	46,4	284,9	56,3	68,9	41.239,4
	40,9	260,8	50,5	70,2	39,212,6
	39,4	254,4	50,3	72,0	38,750,3
	35,0	224,0	46,0	58,0	38,567,2

Realizado en base a la tabla Nº 2.

Tabla Nº 34

SIDELPA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 1

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
13,3	30,0	345,0	15,0	75,0	15.434,0
	30,0	345,0	15,0	75,0	15.434,0
	23,3	342,2	16,6	83,2	16.147,7
	18,6	248,1	9,8	60,6	13,260,4
	15,2	209,7	8,8	44,7	11.141,5
	14,5	231,9	9,3	43,1	10.981,9
	19,1	251,7	8,9	59,1	17.730,5
	18,3	234,8	7,1	63,3	14.397,0
	18,1	259,2	9,6	62,9	14,347,6
	19,4	247,1	8,6	59,4	14.245,2
	19,1	261,3	9,6	54,6	13.815,1
	19,6	263,3	13,4	54,0	14,448,5
	18,3	248,4	14,0	51,7	14.013,4
	19,6	261,7	13,4	53,2	14.455,5
	18,9	253,1	13,9	54,2	14.367,5
	16,8	229,9	14,1	49,3	13.835,7

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 35

SIDELPA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 2

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
17,1	30,0	440,0	16,2	107,0	20.775,0
	38,6	443,6	19,3	96,4	19.843,7
	30,0	440,0	16,2	107,0	20.774,9
	23,9	318,9	12,6	77,9	17.049,0
	19,6	269,6	11,0	57,4	14.324,8
	18,6	398,1	11,9	55,7	14.118,4
	24,5	323,6	11,4	75,9	22.796,3
	23,6	301,9	9,0	81,4	18.510,4
	23,3	333,2	12,3	79,9	18.446,9
	24,9	317,7	11,1	76,3	18.315,3
	24,5	336,0	12,4	70,2	17.762,3
	25,1	336,5	17,2	69,4	18.576,6
	23,6	319,4	17,9	66,4	18.017,2
	25,1	336,5	17,3	68,4	18.585,6
	24,3	229,3	17,9	69,7	18.462,4
	21,7	295,6	18,1	63,4	17.788,8

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 36

SIDELPA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 3

Producción &	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
21,5	30,0	401,0	15,9	98,0	21,436,0
	48,5	557,7	24,2	121,2	24.949,7
	37,7	553,2	20,4	134,5	20.120,6
	30,0	401,0	15,9	98,0	21.436,0
	24,6	339,9	14,3	72,2	18.010,8
	23,4	374,9	15,0	70,1	17.751,3
	30,8	406,9	13,4	95,6	24.362,1
	29,7	379,6	11,3	102,3	23.273,3
	29,3	419,0	15,5	100,5	23.193,7
	31,3	399,4	13,9	96,0	23.028,0
	30,8	422,5	15,5	88,3	22.332,7
	31,6	425,6	21,7	87,3	23.356,5
	29,6	401,6	32,1	83,5	22.650,9
	31,6	423,0	21,7	86,0	23.367,9
	30,6	414,1	22,5	87,6	23.225,6
	27,3	369,5	22,8	79,7	22.366,0

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 37

SIDELPA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 4

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
26,2	30,0	413,0	17,4	88,0	22.540,0
	59,1	679,6	29,5	147,7	30.403,8
	46,0	674,2	24,8	163,9	31,809,7
	36,6	488,7	19,4	119,4	26.121,9
	30,0	143,0	17,4	88,0	22.540,0
	28,5	456,8	18,3	85,4	21.631,8
	37,6	495,8	17,5	116,4	34.927,7
	36,1	462,6	13,8	124,7	28.361,0
	35,7	510,6	18,9	122,5	28.262,5
	38,2	486,7	17,0	117,0	28.035,8
	37,4	510,6	19,0	107,6	27.214,7
	38,5	514,8	26,4	120,2	28.462,4
	36,1	489,4	27,5	101,8	27.605,4
	38,5	515,5	26,4	104,8	28.476,3
	37,3	504,6	27,4	106,7	28.302,8
	33,2	452,8	27,7	97,1	27.255,3

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 38

SIDELPA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 5

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
27,3	30,0	476,0	19,1	89,0	22.540,0
	61,6	708,2	30,8	154,0	31.680,3
	47,9	702,5	25,9	170,8	33.167,0
	38,0	509,2	20,2	124,8	27.218,6
	31,3	430,3	18,1	91,9	22.869,5
	29,7	476,0	19,1	89,0	22.540,0
	39,0	516,6	18,2	121,3	30.934,2
	37,7	482,0	14,4	129,9	29.551,7
	37,2	532,0	19,7	127,6	29.450,6
	39,8	507,1	17,7	121,9	29.240,2
	39,1	536,4	19,7	112,2	28.357,2
	40,1	540,4	27,5	110,8	29.657,4
	37,6	509,9	40,8	106,0	28.761,4
	40,1	537,2	27,5	109,2	29.771,8
	38,9	525,8	28,5	111,2	29.491,1
	34,6	469,1	28,0	101,2	28.399,6

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 39

SIDELPA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 6

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
27,9	40,0	528,0	18,6	124,0	28.824,0
	62,9	723,7	31,5	157,3	32.333,6
	48,9	717,9	26,4	174,6	33.896,0
	38,9	520,4	20,6	127,2	27.816,0
	31,9	439,8	18,5	93,7	23.372,1
	30,4	486,5	19,5	91,0	23.035,4
	40,0	528,0	18,6	124,0	28.824,0
	38,5	942,6	14,7	132,8	30,201,2
	38,0	543,7	20,1	130,5	30,097,9
	40,6	518,3	18,1	124,6	29.882,9
	40,0	548,2	20,2	114,6	28.980,6
	41,0	525,3	28,1	113,2	30.309,2
	38,4	521,1	42,7	108,4	29.393,5
	41,0	549,0	28,1	111,6	30.324,0
	39,7	537,3	29,2	113,7	30.139,3
	35,4	479,4	29,5	103,4	29.023,8

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 40

SIDELPA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 7

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
29,0	40,0	512,0	15,3	138,0	31.392,0
	64,4	752,3	32,7	163,5	33.653,1
	50,9	746,2	27,5	181,5	35.232,4
	40,4	540,9	21,4	132,2	28.913,6
	33,2	457,1	19,3	197,4	24.293,6
	31,6	505,6	20,3	94,7	23.943,6
	41,6	548,8	19,3	128,9	32.860,5
	40,0	512,0	15,3	138,0	31.392,0
	39,5	562,2	20,9	135,6	31.284,6
	42,2	538,7	18,8	129,5	31.061,0
	41,6	569,8	21,0	119,1	30.123,2
	42,6	574,0	29,3	117,7	31.504,2
	39,9	541,7	43,4	112,6	30.552,4
	42,6	570,6	29,3	160,0	31.519,5
	41,3	558,5	30,3	118,1	31.327,5
	36,8	498,3	30,7	107,5	30.168,1

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 41

SIDELPA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 8

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
29,3	40,0	571,0	21,1	137,0	31.608,0
	66,1	760,0	33,0	165,2	34.001,2
	51,4	753,9	27,6	183,3	35.594,9
	40,8	546,5	21,7	133,6	29.212,7
	35,4	461,9	19,5	98,4	24.544,9
	32,9	510,9	20,5	95,5	24.119,3
	42,0	544,5	19,5	130,2	33.200,4
	40,4	527,3	15,5	139,4	31.716,7
	40,0	571,0	21,1	137,0	31.608,0
	42,7	544,3	19,0	130,9	31.382,4
	41,9	575,7	21,2	120,4	30.434,8
	43,1	580,0	29,6	118,9	31.830,1
	40,4	547,3	43,8	113,8	30.868,4
	43,1	576,5	29,6	117,2	31.845,6
	41,7	564,3	30,6	119,4	31.651,6
	37,2	503,5	31,0	108,6	30.480,2

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 42

SIDELPA : Comparación de los diferents procesos, al nivel de producción 9

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
30,9	45,0	574,0	20,0	138,0	33.096,0
	69,7	801,5	34,8	174,2	35.857,9
	54,2	795,1	29,3	193,4	37.540,7
	43,1	576,3	22,9	140,8	30.807,9
	35,4	487,1	20,5	107,9	25.885,2
	33,7	538,8	21,6	100,7	25.512,3
	44,3	584,8	20,6	137,3	35.013,4
	42,6	545,5	16,3	147,0	33.448,6
	42,1	602,2	22,3	144,5	33.334,1
	45,0	574,0	20,0	138,0	33.096,0
	43,3	607,2	22,3	126,9	32.096,8
	45,4	611,6	31,2	125,4	33.568,2
	42,6	577,1	46,2	120,0	32.554,1
	45,4	608,0	31,2	123,6	33.584,0
	44,0	595,1	32,3	125,9	33.380,0
	39,2	531,0	32,7	114,5	32.144,7

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 43

SIDELPA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 10

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
31,4	45,0	617,0	22,7	129,0	32.616,0
	70,8	814,5	35,4	117,1	36.438,2
	55,1	808,0	29,7	196,5	38.148,2
	43,7	585,6	23,2	143,1	31.306,4
	36,0	495,0	20,9	105,5	26.304,1
	34,2	547,5	22,0	102,4	25.925,1
	45,0	594,2	20,9	139,6	35.580,0
	43,3	554,4	16,6	149,4	33.989,9
	42,8	611,9	22,6	146,8	33.873,6
	45,7	583,3	20,3	140,2	33.631,6
	45,0	617,0	22,7	129,0	32.616,0
	46,2	621,5	31,7	127,4	34.111,4
	43,3	586,5	46,9	122,0	33.080,8
	46,2	617,8	31,7	125,6	34.128,0
	44,7	604,7	32,8	127,9	33.920,2
	39,8	539,6	33,2	116,4	32.664,8

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 44

SIDELPA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 11

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
34,0	50,0	673,0	34,3	138,0	36.936,0
	76,7	882,0	38,3	191,7	39.455,3
	59,6	874,9	32,2	112,7	41.306,9
	47,4	634,1	25,1	155,0	33.998,7
	38,9	356,0	22,6	114,2	28.462,1
	37,0	592,8	23,8	110,8	28.071,8
	48,7	643,4	22,7	151,1	38.526,1
	46,9	600,3	17,9	161,8	36.804,3
	46,3	622,6	24,5	159,0	36.678,4
	48,7	680,1	25,6	139,7	35.316,8
	50,0	673,0	34,3	138,0	36.936,0
	46,8	635,0	50,8	132,1	35.820,0
	50,0	669,0	34,3	136,0	36.953,9
	48,4	654,8	35,6	138,5	36.728,8
	43,1	584,3	36,0	126,0	35.369,5
	49,5	631,6	22,0	151,8	36.416,4

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 45

SIDELPA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 12

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
36,3	50,0	678,0	38,1	141,0	38.247,0
	81,9	941,6	40,9	204,7	42.124,4
	83,3	934,0	34,4	227,1	44.101,2
	50,6	667,0	26,8	165,5	36.191,8
	41,6	572,0	24,0	121,9	30.408,9
	36,3	632,9	25,4	118,3	29.970,7
	56,7	687,0	24,2	161,3	41.132,3
	50,1	640,9	50,1	172,7	39.294,0
	49,5	707,4	26,1	169,7	39.159,6
	52,9	674,3	23,5	162,1	38.878,8
	52,0	713,3	26,2	149,1	37.705,9
	53,4	718,5	36,6	147,3	39.434,5
	50,0	678,0	38,1	141,0	38.247,0
	53,4	714,3	36,6	145,2	39.453,7
	51,7	698,1	37,9	147,9	39.213,4
	46,1	623,8	38,4	134,5	37.762,2

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 46

SIDELPA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 13

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
34,0	50,0	669,0	34,3	136,0	36.954,0
	76,7	882,0	38,3	191,7	39.455,3
	59,6	874,9	32,2	112,7	41,306,9
	47,4	634,1	25,1	155,0	33.998,7
	38,9	536,0	22,6	114,2	28.462,1
	37,0	592,8	23,8	110,8	28.078,8
	48,7	643,4	22,7	151,1	38.526,1
	46,9	600,3	17,9	161,8	36.804,3
	46,3	662,6	24,5	159,0	36.678,4
	49,5	631,6	22,0	151,8	36.416,4
	48,7	680,1	25,6	139,7	35.316,8
	50,0	673,0	34,3	138,0	36.936,0
	46,8	635,0	50,8	132,1	35.829,0
	50,0	669,0	34,3	136,0	36.954,0
	48,4	654,8	35,6	138,5	36.728,8
	43,1	684,3	36,0	126,0	35.369,5

REALIZADO EN BASE A LA TABLA Nº 3.

Tabla Nº 47

SIDELPA : Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 14

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
35,1	50,0	676,0	36,7	143,0	37.915,0
	89,7	910,5	39,6	197,9	40.741,8
	61,6	903,2	33,3	119,6	42.643,3
	49,0	654,7	26,0	160,0	34.995,4
	40,2	553,3	23,3	117,9	29.403,6
	38,2	612,0	24,6	114,4	28.980,0
	50,3	644,3	23,4	156,0	39.772,5
	48,4	619,9	18,5	167,0	37.795,0
	47,8	648,0	25,3	164,1	37.865,1
	51,1	652,0	22,7	156,8	37.594,6
	50,3	689,7	25,4	144,2	36.459,4
	51,6	694,8	35,4	142,5	38.130,9
	48,3	655,6	52,5	136,3	36.978,9
	51,6	690,6	35,4	140,4	38.149,5
	50,0	676,0	36,7	143,0	37.915,0
	44,0	603,5	37,1	130,1	36.513,8

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 48

SIDELPA: Comparación de los diferentes procesos, al nivel de producción 15

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
39,4	50,0	681,0	41,7	146,0	40.987,0
	100,7	1.022,0	44,4	222,2	45.721,8
	69,1	1.013,8	37,3	246,5	47.867,5
	55,0	734,8	29,1	179,6	39.282,6
	45,1	621,1	26,2	132,3	33.005,8
	42,9	687,0	26,8	128,4	32.530,2
	56,5	745,6	26,3	174,9	44.644,9
	54,3	695,6	20,8	187,5	42.649,7
	53,7	167,8	28,4	184,2	42.503,8
	57,4	731,9	25,5	176,0	42.200,2
	56,5	774,2	28,5	161,9	40.926,0
	57,9	779,9	39,7	159,9	42.802,2
	54,3	735,9	43,5	153,0	41.509,1
	57,9	775,3	39,7	157,6	42.823,1
	56,1	758,8	57,4	160,5	42.562,2
	50,0	681,0	41,7	146,0	40.987,0

Realizado en base a la tabla Nº 3.

Tabla Nº 49

PAZ DEL RIO :Procesos Eficientes

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Mineral de Hierro	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
210,5	720,0	4.736,0	370,4	1.139,0	28.824,0
155,2	280,0	4.864,0	639,8	1.306,0	15.434,0
158,8	280,0	4.783,0	885,6	1.255,0	20.775,0
208,1	711,8	4.682,0	366,2	1.126,0	28.495,4
200,8	720,0	4.640,0	352,3	1.190,0	21.948,0

Realizado en base a las tablas 4... 18.

Tabla Nº 50

SIDEMUÑA : Procesos Eficientes

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
22,7	35,0	220,0	44,3	50,0	32.362,5
20,3	35,0	215,0	42,5	52,0	31.121,2
23,0	35,0	223,0	43,0	60,0	33.527,5
23,9	35,0	226,0	44,7	64,0	34.428,7
26,9	35,0	224,0	46,0	58,0	38.567,2

Realizado en base a las tablas 19... 33.

Tabla Nº 51

SIDELPA : Procesos Eficientes

Producción	Capacidad Instalada	Número de Obreros	Chatarra	Número de Profesionales	Energía Eléctrica
13,3	30,0	345,0	15,0	75,0	15.434,0
26,2	30,0	401,0	15,9	98,0	21.436,0
27,3	30,0	476,0	19,1	89,0	22.540,0
29,0	40,0	512,0	15,3	138,0	31.392,0
30,9	45,0	574,0	20,0	138,0	33.096,0

Realizado en base a las tablas 34...48.

SIDELPA.

3. Función de Producción

Calculados los procesos eficientes se encuentra la función de producción haciendo uso del Programa ML 02 y utilizando la calculadora Texas Instrument TI Programmable 58 with Solid State Software Module.(1)

(1) Texas instruments Incorporated: "TI Programmable 58/59. MASTER LIBRARY. Using the power of your Solid State Software module". Dallas, Texas, U.S.A., Copyright, 1977. P. 10.

PROGRAMA ML 02

Steep	Procedure	Enter	Press	Display
1	Select program		2nd Pgm 02	
2	Enter order of matrix	n	A	n
3	Enter elements of matrix A by columns starting with column 1. (To correct an entry in column j, simply enter j and press B. Then reenter the entire column using the R/S key)	1	B	1.
		a_{11}	R/S	a_{11}
		a_{21}	R/S	a_{21}
		.	.	.
		.	.	.
		.	.	.
		a_{n1}	R/S	a_{n1}
		a_{12}	R/S	a_{12}
		a_{22}	R/S	a_{22}
		.	.	.
		.	.	.
		.	.	.
		a_{nn}	R/S	a_{nn}
			C	| A |
4	Calculate determinant If |A| ≠ 0: Solve Ax = b (Perform Steps 1–4 first)			
5	Enter elements of column vector b starting with b_1. (To correct an entry error for b_i, simply enter i and press D. Then reenter b_i using the R/S key.)	1	D	1.
		b_1	R/S	b_1
		.	.	.
		.	.	.
		.	.	.
		b_n	R/S	b_n
6	Calculate x		CLR E	1.
7	Display the elements of x, starting with x_1	1	2nd A'	1.
			R/S	x_1
			.	.
			.	.
			R/S	x_n
8	To display x_i only	i	2nd A'	i
			R/S	x_i
	To solve the system for a new vector b', repeat Steps 5–8 only.			

De esta manera se obtienen los valores de los parámetros a, b, c y d, de la función de producción. Estos valores son:

Paz del Río:

a = 0,912981282

b = 0,0095198761

c = -0,0082172293

d = 0,0482471904

e = 0,0016572761

SIDEMUÑA:

a = -1,442236849

b = 0,2607807255

c = 0,0105276895

d = -0,1247529152

e = 0,0006667532

SIDELPA:

a = -1,348808852

b = -0,060011186

c = 2,192224019

d = 0,3055286968

e = 0,0012096742

4. Producción Optima

Una vez conocidos los valores de los parámetros de la función de producción se procede a calcular la producción óptima para cada año.

Producción Optima = a CI + b NºO + c MH + d NºP + e EE

en donde a, b, c, d y e son los parámetros; CI la Capacidad Instalada; NºO es Número de Obreros; MH Mineral de Hierro o Chatarra; NºP es el núme

ro de Profesionales; EE es Energía Eléctrica.

La Producción Optima para las tres empresas se encuentra en la Tabla 52.

Calculados los valores de la producción óptima se desarrolla la fórmula de eficiencia, explicada anteriormente y que se expresa así:

$$E = \frac{P}{P \text{ óptima}}$$

Los valores obtenidos de la aplicación de la fórmula de eficiencia técnica relativa ya mencionada, para las empresas Siderúrgicas del país que se estudian, se puede apreciar de la siguiente manera; Para la Siderúrgica Integrada de Paz del Rio, en la tabla Nº 53; Para la siderúrgica del Muña (SIDEMUÑA) en la tabla Nº 54 y para la siderúrgica del Pacífico (SIDELPA) en la tabla Nº 55.

Tabla Nº 52

Producción Optima

Año	PAZ DEL RIO Miles de Ton.	SIDEMUÑA Miles de Ton.	SIDELPA Miles de Ton.
1.966	155,2	32,8	13,3
1.967	158,8	33,4	26,5
1.968	199,5	33,9	26,2
1.969	200,8	58,7	26,3
1,970	202,6	59,6	27,3
1,971	210,5	54,6	27,9
1.972	214,0	28,7	29,0
1.973	213,8	62,1	38,1
1.974	217,3	19,5	30,9
1.975	217,3	20,1	31,9
1.976	234,5	22,7	54,2
1.977	215,6	20,3	64,7
1.978	231.3	23,0	53,9
1.979	217,1	23,9	62,0
1.980	215,4	26,9	77,3

Realizado en base a la ecuación 3-5 .

Tabla Nº 53

PAZ DEL RIO: Cálculo de la Eficiencia

Año	Producción	Producción Optima	Eficiencia	Eficiencia%
1.966	155,2	155,2	1,0000	100,00
1.967	158,8	158,8	1,0000	100,00
1.968	155,8	199,5	0,7810	78,10
1.969	200,8	200,8	1,0000	100,00
1.970	198,1	202,6	0,9778	97,78
1.971	210,5	210,5	1,0000	100,00
1.972	186,9	214,0	0,8734	87,34
1.973	159,4	213,8	0,7456	74,56
1.974	188,2	217,3	0,8661	86,61
1.975	191,1	217,3	0,8794	87,94
1.976	175,3	234,5	0,7475	74,75
1.977	162,9	215,6	0,7556	75,56
1.978	208,1	231,3	0,8997	89,97
1.979	180,4	217,1	0,8310	83,10
1.980	202,6	215,4	0,9406	94,06

Realizado en base a la Fórmula Nº 1.

Tabla Nº 54

SIDEMUÑA : Cálculo de la eficiencia

Año	Producción	Producción Optima	Eficiencia	Eficiencia %
1.966	3,8	32,8	0,1159	11,59
1.967	5,8	33,4	0,1737	17,37
1.968	8,2	33,9	0,2419	24,19
1.969	8,0	58,7	0,1363	13,63
1.970	7,7	59,6	0,1292	12,92
1.971	8,6	54,6	0,1575	15,75
1.972	11,1	28,7	0,3868	38,68
1.973	14,5	62,1	0,2335	23,35
1.974	15,0	19,5	0,7692	76,92
1.975	15,9	20,1	0,7910	79,10
1.976	22,7	22,7	1,0000	100,00
1.977	20,3	20,3	1,0000	100,00
1.978	23,0	23,0	1,0000	100,00
1,979	23,9	23,9	1,0000	100,00
1.980	26,9	26,9		

Realizado en base a la Fórmula Nº 1.

Tabla Nº 55

SIDELPA: Cálculo de la Eficiencia

Año	Producción	Producción Optima	Eficiencia	Eficiencia %
1.966	13,3	13,3	1,0000	100,00
1.967	17,1	26,5	0,6453	64,53
1.968	21,5	26,2	0,8206	82,06
1.969	26,2	26,3	0,9962	99,62
1.970	27,3	27,2	1,0000	100,00
1.971	27,9	27,9	1,0000	100,00
1.972	29,0	29,0	1,0000	100,00
1.973	29,3	38,1	0,7690	76,90
1.974	30,9	30,9	1,0000	100,00
1.975	31,4	31,9	0,9962	99,62
1.976	34,0	54,2	0,6273	62,73
1.977	36,0	64,7	0,5611	56,11
1.978	34,0	53,9	0,6308	63,08
1.979	35,1	62,0	0,5661	56,61
1.980	39,4	77,3	0,5097	50,97

Realizado en base a la Fórmula Nº 1.

APENDICE 2

ESTIMATIVOS DE EFICIENCIA Y MINIMOS CUADRATICOS

En este Apéndice se describe el método que se siguió para obtener los estimativos de eficiencia y la manera como se escogió determinadas ecuaciones para basar en ellas el estudio propuesto; la forma como se calculó los estimadores mínimo-cuadráticos y las pruebas de bondad de ajuste Ji-cuadrado y varianza con respecto a los datos esperados. Además cómo se obtuvo las elasticidades de la variable dependiente con respecto a las variables independientes.

Estimación de Eficiencia:

Se estimaron las ecuaciones por mínimos cuadrados para los valores de eficiencia. Teniendo en cuenta que se realiza la estimación de un modelo uniecuacional con cuatro variables se recurre a una presentación matricial de la forma:

$$X'X\hat{\beta} = X'Y$$

donde:

$$X'X = \begin{bmatrix} X^2 & X_2X_1 & X_3X_1 & X_4X_1 \\ X_1X_2 & X_2^2 & X_3X_2 & X_4X_2 \\ X_1X_3 & X_2X_3 & X_3^2 & X_4X_3 \\ X_1X_4 & X_2X_4 & X_3X_4 & X_4^2 \end{bmatrix}$$

y

$$X'Y = \begin{bmatrix} X_1Y \\ X_2Y \\ X_3Y \\ X_4Y \end{bmatrix}$$

De acuerdo con las estadísticas obtenidas se elaboran tablas que ayuden a la aplicación de la anterior fórmula. De esta manera se encontrará el vector $\hat{\beta}$ que es el mejor estimador.

Las ecuaciones que se estiman para cada empresa son:

$$\text{Ln } E = a\ PMP + b/(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

$$\text{Ln } E = a\ PMP + b\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

$$E = a\ PMP + b/(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

$$E = a\ PMP + b\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

Teniendo en cuenta las tablas que se elaboran se aplica la fórmula matricial; una vez que se le asigne los valores a X'X y X'Y para encontrar el vector $\hat{\beta}$ se hace uso del programa ML 02 y utilizando la calculadora Texas Instruments TI Programmable 58/59 Solid State Software, se tiene la estructura estimada perteneciente al modelo.

Para las ecuaciones obtenidas se hacen pruebas de bondad de ajuste Ji-cuadrado y varianza con respecto a los datos esperados. Para este cálculo es necesario utilizar el programa Nº 2.

La ecuación que se escoge es aquella que presenta un Ji-cuadrado aceptable a un nivel de significación del 5 % y 95 % de confianza. Para esta ecuación se calcula los estimadores mínimo-cuadráticos: estimador de varianza, coeficiente de determinación y el coeficiente de correlación múltiple.

El estimador de varianza se define como: $\hat{\sigma}^2 = \dfrac{e'e}{n-k} = \dfrac{\sum_{t=1}^{n} e_t^2}{n-k}$

éste en el presente estudio se calcula con ayuda del programa Nº 2.

El coeficiente de determinación que es el cuadrado del coeficiente de correlación múltiple es por definición:

$$R^2_{1,2,3,\ldots,k} = \frac{\sum \hat{y}_t^2}{\sum y_t^2} = \frac{\hat{\beta} X'Y - \frac{1}{n}\left(\sum Y_t\right)^2}{Y'Y - \frac{1}{n}\left(\sum Y_t\right)^2}$$

Programa Nº 2:

```
LRN
2nd LBL A
STO 06 R/S
2nd LBL  B
STO 07  R/S
2nd LBL  C
STO 08  R/S
2nd LBL 2nd A'
STO 01 R/S
2nd LBL 2nd B'
STO 02 R/S
2nd LBL 2nd C'
STO 03 R/S
2nd LBL 2nd D'
STO 04 R/S
2nd LBL  E
RCL 07  SUM 09
```

RCL 01 × RCL 06 +

(RCL 02 × RCL 06 ÷ (RCL 09 × 100))

+ RCL 03 × RCL 08 +

((RCL 04 × RCL 07 × 100) ÷ RCL 06)

= STO 10 SUM 19 X^2 SUM 20

RCL 10 2nd Fix 5 R/S

INV 2nd Fix

STO 11 − RCL 10 = STO 13

X^2 SUM 14 ÷ RCL 10 = SUM 15

2nd Op 20 RCL 00 R/S

2nd LBL 2nd E'

RCL 13 R/S

÷ RCL 00 = R/S

RCL 14 ÷ (RCL 00 − 4) = R/S

RCL 15 2nd Pause R/S

2nd LBL D

RCL 19 R/S

RCL 20 R/S

LRN

Una vez se haya introducido el programa, se efectúa los siguientes pasos:

1. Introducir los coeficientes:

   a ——— 2nd A'

   -b ——— 2nd B'

   c ——— 2nd C'

   d ——— 2nd D'

2. De cada siderúrgica, introducir las variables:

PMP ------- A

P ------- B

Año ------- C

3. Para efectuar los cálculos:

E muestra el dato esperado en cinco decimales,

introducir aquí el dato observado y presionar R/S.

Aparece el número contador.

Se continúa nuevamente desde 2.

Cuando aparezca el número 15 en el contador, presionar R/S cada vez y aparecerán, en su orden:

$$\sum \text{de errores}$$

$$\sum (\text{errores})^2$$

$$\frac{\sum (\text{errores})^2}{n}$$

$$\sigma^2$$

$$\chi^2$$

$$\sum \text{esperados}$$

$$\sum (\text{esperados})^2$$

Para el estimador de varianza se calcula un intervalo de confianza, dado un nivel de significación del 5 % y recurriendo a la distribución Ji-cuadrado, para 11 grados de libertad.

$$\chi^2_{0,025} = 21,9200$$

$$\chi^2_{0,975} = 3,81575$$

El intervalo de confianza es:

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

Por último se calcula la varianza de cada uno de los parámetros: a, b, c y d; para ello es necesario

$$\sigma^2 (X'X)^{-1}$$

Para calcular $(X'X)^{-1}$ se hace uso del Programa ML 02 cuya primera parte fue descrita en el Apéndice 1, y para encontrar la inversa se utiliza la segunda parte de ese mismo programa:

Step	Procedure	Enter	Press	Display
	If $\|A\| \neq 0$: Find A^{-1} (Perform Steps 1-4 first)			
			CLR 2nd B'	1.
9	Calculate A^{-1}			
10	Display the elements of A^{-1} by columns starting with column 1: (To display the elements of A^{-1} starting with column j, enter j before pressing 2nd C'). Due to pivoting, A^{-1} may be stored with its columns permuted even though it is displayed in the correct order. Therefore, A^{-1} must be reentered for use in subsequent calculations. Note: A is lost once A^{-1} is calculated.	1	2nd C'	1.
			R/S	a^{-1}_{11}
			R/S	a^{-1}_{21}
			⋮	⋮
			R/S	a^{-1}_{n1}
			R/S	a^{-1}_{12}
			⋮	⋮
			R/S	a^{-1}_{nn}
11	To compute $\|A\|$ and A^{-1} simultaneously, perform Steps 1-3, then perform this step and continue with Step 10 to display A^{-1} if $\|A\| \neq 0$.		2nd E'	$\|A\|$

Tabla Nº 56

PAZ DEL RIO : Valores de las Variables Independientes

PMP	100 (PA/PMP)	$\frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )}$	M	U
280,0	55,43	0,0180412371	1.955	55,43
280,0	112,14	0,0089171975	1.955	56,71
720,0	65,25	0,0153256705	1.955	21,64
720,0	93,14	0,0107366535	1.955	27,89
720,0	120,65	0,0082882468	1.955	27,51
720,0	149,89	0,0066716086	1.955	29,24
720,0	175,85	0,0056867546	1.955	25,96
720,0	197,99	0,0050508593	1.955	22,14
720,0	224,13	0,0044616959	1.955	26,14
720,0	250,67	0,0039893617	1.955	26,54
720,0	275,01	0,0036361800	1.955	24,35
720,0	297,64	0,0033597760	1.955	22,63
720,0	326,54	0,0030623963	1.955	28,90
720,0	351,60	0,0028441635	1.955	25,06
720,0	379,74	0,0026334077	1.955	28,14

Realizado en base al anexo Nº 1.

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 3-9

$$\ln E = aPMP - b \frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )} + cM + dU$$

En base a la tabla Nº 56 $X^tX\hat{\beta} \triangleq X^tY$

$$X^tX = \begin{bmatrix} 689600,00000000 & -62,0861114900 & 19363600,0000000 & 274310,00000000 \\ -62,08611149 & -0,0010109452 & -200,7888797 & -3,44026072 \\ 19393600,00000000 & -200,7888797000 & 57330375,0000000 & 876363,66070000 \\ 273410,00000000 & -3,4402607200 & 876363,6607000 & 15057,92605000 \end{bmatrix}$$

$$X^tY = \begin{bmatrix} 44319,5009300000 \\ -0,4625833009 \\ 131343,5543000000 \\ 2018,3593100000 \end{bmatrix}$$

a = 0,0022192390

b = 0,9706244758

c = 0,0009707625

d = 0,0374195860

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 3-9 Pag. 2

$$\ln E = aPMP - b \frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )} + cM + dU$$

Ln Eficiencia (Observada)	Ln Eficiencia (Esperada)
4,60517	4,575883993
4,60517	4,632637079
4,35799	4,290577138
4,60517	4,528903762
4,58272	4,517060803
4,60517	4,583365836
4,86981	4,461585517
4,31160	4,319259914
4,46142	4,469510017
4,47665	4,484936408
4,31415	4,403330321
4,32493	4,339236918
4,49948	4,524146366
4,92004	4,430696780
4,54393	4,546112368

$$\sum (\text{errores})^2 = 0,0308708138$$

$$\sum \text{errores} = 0,0261722800$$

$$\sum \frac{(\text{errores})^2}{n} = 0,0020580543$$

$$\sigma^2 = 0,0028064376$$

$$\chi^2 = 0,0093354841$$

PAZ DEL RIO

Ecuación 3-9 Pag. 3

Coeficientes de Determinación y de Correlación

$$R^2_{1.23\ldots k} \triangleq \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta}' X' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y'Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}' X' Y = \begin{pmatrix} 6,0022192 & 0,9706245 & 0,00097 & 0,037419 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 44319,5009300000 \\ -0,4625833009 \\ 131343,5543000000 \\ 2018,3593100000 \end{bmatrix} = 300,7947311$$

$$\sum Y = 67,15722772 \qquad \sum Y^2 = 300,8232555 \qquad \left(\sum Y\right)^2 = 4510,093235$$

$$R^2 = \frac{300,7947311 - \frac{1}{15} 4510,09325}{300,8232555 - \frac{1}{15} 4510,09325} = \frac{0,1218487456}{0,1503731677} = 0,81309105$$

$R = 0,9001717086.$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 3-9 Pág. 4

INTERVALO DE CONFIANZA PARA σ^2

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} \quad \sigma^2 \quad \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,0308708138}{21,9200} \quad \sigma^2 \quad \frac{0,0308708138}{3,81575}$$

$$0,00140834 \quad \sigma^2 \quad 0,0080903659$$

0,00140834 0,0028064376 0,0080903659

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 3-9 Pág. 5

MATRIZ DE VARIANZA COVARIANZA

$$\sigma^2 (X'X)^{-1}$$

$$(X'X)^{-1} \begin{Bmatrix} 0,0000615393 & 0,023687661 & -0,0000338613 & 0,0008587399 \\ 0,0236876610 & -547,369203800 & -0,0130837751 & 0,2063105418 \\ -0,0000338613 & -0,0130837751 & 0,0000187899 & -0,0004817222 \\ 0,0008587399 & 0,2063105416 & -0,0004817222 & 0,0125572097 \end{Bmatrix}$$

$$\sigma^2 (X'X)^{-1} \begin{Bmatrix} \underline{0,0000001727} & 0,0000664779 & -0,000000095 & 0,000000241 \\ 0,0000627765 & \underline{-1,5361575150} & -0,0000367188 & 0,0005789977 \\ -0,0000000095 & -0,0000367188 & \underline{0,0000000527} & -0,0000013519 \\ 0,0000024100 & 0,0005789977 & -0,0000013519 & \underline{0,0000352410} \end{Bmatrix}$$

Tabla Nº 57

PAZ DEL RIO; Valores de las Variables Independientes

PMP	Ln (100 (PA/PMP))	M	U
280,0	4,01510	1.955	55,43
280,0	4,71977	1.955	56,71
720,0	4,71823	1.955	21,64
720,0	4,53409	1.955	27,89
720,0	4,74292	1.955	27,51
720,0	5,00989	1.955	29,24
720,0	5,16962	1.955	25,96
720,0	5,28820	1,955	22,14
720,0	5,41220	1.955	26,14
720,0	5,52412	1.955	26,54
720,0	5,61682	1.955	24,35
720,0	5,69588	1.955	22,63
720,0	5,78856	1.955	28,90
720,0	5,86249	1.955	25,06
720,0	5,93948	1.955	28,14

Realizado en base al Anexo Nº 1.

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 3-10

$$Ln\ E = a\ PMP + b\ Ln(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

En base a la Tabla Nº 57. $X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{Bmatrix} 6896000,00000 & 51990,7577200 & 19393600,0000 & 273410,000000 \\ 51990,75772 & 406,1270253 & 151605,0909 & 2271,738824 \\ 19393600,00000 & 151605,0909000 & 57330375,0000 & 876363,660700 \\ 273410,00000 & 2271,7488240 & 876363,6607 & 15057,926050 \end{Bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{Bmatrix} 44319,5009300 \\ 34619465778 \\ 131343,5543000 \\ 2018,3593100 \end{Bmatrix}$$

a = 0,0025675177

b = -0,0687405111

c = 0,0007874051

d = 0,0401040148

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 3-10 P. 2

$$\ln E = 0{,}0025675177\ PMP - 0{,}0687405111\ \ln(100(PA/PMP)) + 0{,}0007874051\ M + 0{,}0401040148\ U$$

Ln Eficiencia (observada)	Ln Eficiencia (esperada)
4,60517	4,60361
4,60517	4,60673
4,35799	4,36700
4,60517	4,59319
4,58272	4,56036
4,60517	4,61451
4,46981	4,47208
4,31160	4,31075
4,46142	4,46265
4,47665	4,47110
4,31415	4,37673
4,32493	4,30222
4,49948	4,54762
4,42004	4,38825
4,54393	4,59661

$\sum$ errores = -0,000005867

$\sum(\text{errores})^2$ = 0,0100083148

$\frac{\sum(\text{errores})^2}{n}$ = 0,000667221

x^2 = 0,0102532000

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
BIBLIOTECA Y DOCUMENTACION
PROCESOS TECNICOS

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 3-11

$$E = a\,PMP + b/(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U$$

En base a la Tabla 56 $\quad X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{bmatrix} 689600,00000000 & 62,0861114900 & 19363600,0000000 & 273410,00000000 \\ 62,08611149 & 0,0010109452 & 200,7888797 & 3,44026072 \\ 19393600,00000000 & 200,7888797000 & 57330375,0000000 & 876363,66070000 \\ 273410,00000000 & 3,4402607200 & 876363,6607000 & 15057,92605000 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 869434,400000000 \\ 9,339804404 \\ 2599700,350000000 \\ 40681,674050000 \end{bmatrix}$$

a = 0,22765171910

b = 809,13929820000

c = 0,01365497572

d = 3,54507170000

$\sum$ errores = -0,0001101161 $\quad \sum(\text{errores})^2 = 86,27792629 \quad \frac{\sum(\text{errores})^2}{n} = 5,751862425 \quad X^2 = 0,9839749769$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 3-12

$$E = a\,PMP + b\,Ln(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U$$

En base a la Tabla 57. $X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{Bmatrix} 6896000,00000 & 51990,7577200 & 19393600,0000 & 273410,000000 \\ 51990,75772 & 406,1270253 & 151606,0909 & 2271,738824 \\ 19393600,00000 & 151606,0909000 & 57330375,0000 & 876363,660700 \\ 273410,00000 & 2271,7388240 & 876363,6607 & 15057,926059 \end{Bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{Bmatrix} 876634,400000 \\ 6891,771612 \\ 2619250,350000 \\ 40941,257380 \end{Bmatrix}$$

a = 0,2247210498

b = -6,5424346720

c = 0,0163822028

d = 3,4798326000

$\sum$ errores = -10,00008885 $\quad \sum(\text{errores})^2 = 82,531600417 \quad \frac{\sum(\text{errores})^2}{n} = 5,502106944 \quad X^2 = 0,9585853799$

Tabla Nº 58

SIDEMUÑA: Valores de las Variables Independientes

PMP	100 (PA/PMP)	$\frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )}$	M	U
20,0	19,00	0,0526315789	1.964	19,00
20,0	48,00	0,0208333333	1.964	20,00
20,0	89,00	0,0112359551	1.964	41,00
20,0	129,00	0,0077519380	1.964	40,00
20,0	167,50	0,0059701493	1.964	38,50
20,0	210,50	0,0047505938	1.964	43,00
35,0	152,00	0,0065789474	1.964	31,71
35,0	193,43	0,0051698671	1.964	41,43
35,0	236,29	0,0042321644	1.964	42,86
35,0	281,71	0,0035496957	1.964	45,43
35,0	346,57	0,0028854081	1.964	64,86
35,0	404,57	0.0024711751	1.964	58,00
35,0	470,29	0,0021263670	1.964	65,71
35,0	538,57	0,0018567639	1.964	68,29
35,0	615,43	0,0016248839	1.964	76,86

Realizado en base al Anexo Nº 2.

S I D E M U Ñ A

Ecuación 3-13

$$\ln E = a\,PMP - b/(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U$$

En base a la Tabla Nº 58. $X'X = X'Y$

$$\begin{pmatrix} 13425,00000000 & -3,130825680 & 854340,0000000 & 21540,000000000 \\ -3,13082568 & -0,003574227 & -262,5266963 & -4,296415509 \\ 854340,00000000 & -262,526696300 & 57859440,0000000 & 1385882,571000000 \\ 21540,00000000 & -4,296415509 & 1385882,5710000 & 36895,637760000 \end{pmatrix}$$

$$X'Y = \begin{pmatrix} 1677,458062000 \\ -0,397575717 \\ 107949,229300000 \\ 2749,447317000 \end{pmatrix}$$

a = 0,0717159380

b = 1,3462146160

c = 0,0002696894

d = 0,0226780400

S I D E M U Ñ A

Ecuación 3-13 P. 2

$$Ln\ E = a\ PMP + b/(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

Ln Eficiencia (observada)	Ln Eficiencia (esperada)
2,45014	2,3240136320
2,85474	2,5935989441
3,18594	2,8786527250
2,61227	2,8606651550
2,55878	2,8290471190
2,75684	2,9327390220
3,65532	3,7499843280
3,15060	3,9723095120
4,34277	4,0060011210
4,37071	4,0652018280
4,60517	4,5067258430
4,60517	4,3517129750
4,60517	4,5270238090
4,60517	4,5858954890
4,60517	4,7805564340

$\Sigma errores = 1,346299745$

$\frac{\Sigma(errores)^2}{n} = 0,0897533163$

$\sigma^2 = 0,3722937006$

$X^2 = 0,1223908859$

S I D E M U Ñ A

Ecuación 3-13 Pág. 3

COEFICIENTES DE DETERMINACION Y DE CORRELACION

$$R^2_{1,2,3,\ldots,k} = \frac{\sum \hat{y}_t^2}{\sum y_t^2} = \frac{\hat{\beta} X'Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y'Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$\hat{\beta} X'y =$ (0,0717159383 1,346214616 0,0002696894 0,022678045) $X'Y = \begin{pmatrix} 1677,458062000 \\ 0,397575717 \\ 107949,229300000 \\ 2749,447317000 \end{pmatrix}$

$\hat{\beta}' X'Y = 211,2301095$

$\sum Y = 54,96412793$ $(\sum Y)^2 = 3021,055359$ $\sum Y^2 = 211,2439289$

$$R^2 = \frac{211,2301095 - \frac{1}{15} 3021,055359}{211,2439289 - \frac{1}{15} 3021,055359} = \frac{9,826418894}{9,840238271} = 0,9985956258$$

$R^2 = 0,9985956258$ $R = 0,9992975662$

S I D E M U Ñ A

Ecuación 3-13 Pág. 4

INTERVALO DE CONFIANZA PARA σ^2

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} \quad \sigma^2 \quad \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{1,346299745}{21,92} \quad \sigma^2 \quad \frac{1,346299745}{3,81575}$$

$$0,061418784 \quad \sigma^2 \quad 0,3528270314$$

$$0,061418784 \quad 0,12223908859 \quad 0,3528270314$$

S I D E M U Ñ A

Ecuación 3-13 Pág. 4

MATRIZ DE VARIANZA-COVARIANZA $\sigma^2(X'X)^{-1}$

$$(X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,0019935145 & 0,0566547945 & -0,0000146564 & -0,0006104501 \\ 0,0560547945 & -169,6889831000 & -0,0034003929 & 0,0748324936 \\ -0,0000145564 & -0,0034003929 & 0,0748324936 & -0,0000004086 \\ -0,0006104501 & 0,0748324936 & 0,0004075510 & 0,0004075510 \end{pmatrix}$$

$$\sigma^2 (X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} \underline{0,0002439880} & 0,0069340305 & -0,0000017938 & -0,0000747135 \\ 0,0069340305 & \underline{-20,7683849700} & -0,0004161771 & 0,0091598152 \\ -0,0000017816 & -0,0004161771 & \underline{0,0000000277} & -0,0000000500 \\ -0,0000747135 & 0,0091588152 & 0,0000000500 & \underline{0,0000498805} \end{pmatrix}$$

Tabla Nº 59

SIDEMUÑA : Valores de las Variables Independientes

PMP	Ln (100 (PA/PMP))	M	U
20,0	2,94444	1.964	19,00
20,0	3,87120	1,964	29,00
20,0	4,48864	1,964	41,00
20,0	4,84981	1,964	40,00
20,0	5,12098	1.964	38,50
20,0	5,34948	1.964	43,00
35,0	5,02388	1.964	31,71
35,0	5,26491	1.964	41,43
35,0	5,46514	1.964	42,86
35,0	5,64089	1.964	45,43
35,0	5,84809	1.964	64,86
35,0	5,00283	1.964	58,00
35,0	5,15334	1.964	65,71
35,0	6,28892	1.964	68,29
35,0	6,42232	1.964	76,86

Realizado en base al Anexo Nº 2.

S I D E M U Ñ A

Ecuación 3-14

$$Ln\ E = a\ PMP + b\ Ln(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

En base a la Tabla Nº 59. $X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{bmatrix} 13425,000000 & 2356,5488770 & 854340,0000 & 21540,000000 \\ 2356,548877 & 425,8023992 & 154654,7447 & 3896602949 \\ 854340,000000 & 154654,7447000 & 57859440,0000 & 1385882,571000 \\ 21540,000000 & 3896,6029490 & 1385882,5710 & 36895,637760 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 1677,458062 \\ 297,902117 \\ 107949,229300 \\ 2749,447317 \end{bmatrix}$$

a = 0,07959722100

b = -0,20401595554

c = 0,00117697280

d = 0,03183586400

S I D E M U Ñ A

Ecuación 3-14 Pág. 2

$$\ln E = 0,079597221\ PMP - 0,20401595554\ \ln(100(PA/PMP)) + 0,0011769728\ M + 0,03135864\ U$$

Ln Eficiencia (observada)	Ln Eficiencia (esperada)
2,45014	2,52936
2,85474	2,65864
3,18594	2,91471
2,61227	2,80715
2,55878	2,70611
2,75684	2,80275
3,65532	3,69729
3,15060	3,95738
4,34277	3,96202
4,27071	4,00801
4,60517	4,58426
4,60517	4,33439
4,60517	4,54928
4,60517	4,60348
4,60517	4,84914

$$\sum \text{errores} = -0,0000062968$$

$$\sum (\text{errores})^2 = 1,24566284$$

$$\frac{\sum (\text{errores})^2}{n} = 0,0830441893$$

$$x^2 = 0,3888226665$$

$$\sigma^2 = 0,12223908859$$

Ecuación 3-15

$$E = a\,PMP + b/(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U$$

En base a la Tabla Nº 58 X'X V= X'Y

$$X'X = \begin{bmatrix} 13425,00000000 & 3,130825680 & 854340,0000000 & 21540,000000000 \\ 3,13082568 & 0,003574227 & 262,5266963 & 4,296415509 \\ 854,34000000 & 262,526696300 & 57859440,0000000 & 1385882,000000000 \\ 21540,00000000 & 4,296415509 & 1385882,5710000 & 36895,637760000 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 27040,75000000000 \\ 3,57931438200 \\ 1597714,00000000000 \\ 45891,06571000000 \end{bmatrix}$$

a = 2,704783533

b = 672,957407900

c = -0,02859331221

d = 1,6352597590

Σ errores = 0,0001402185 $\Sigma(\text{errores})^2$ = 2394,828063 $\frac{\Sigma(\text{errores})^2}{n}$ = 159,6552042 X^2 = 47,22212398

Ecuación 3-16

$$E = a\,PMP + b\,Ln(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U$$

En base a la Tabla Nº 59 $\qquad X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{bmatrix} 13425,000000 & 2356,5488770 & 854340,00000 & 21540,000000 \\ 2356,548877 & 425,8023992 & 154654,74470 & 3896,602949 \\ 854340,000000 & 154654,7447000 & 57859440,00000 & 1385882,571000 \\ 21540,000000 & 3896,6029490 & 1385882,57100 & 36895,637760 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 27040,750000 \\ 4681,980322 \\ 1597714,000000 \\ 45891,065710 \end{bmatrix}$$

a = 3,571976635

b = -31,863284810

c = 0,047124669

d = 2,676049719

$\sum$ errores = 0,0001103885 $\qquad \sum (\text{errores})^2 = 3133,798931 \qquad \frac{\sum (\text{errores})^2}{n} = 208,9199288 \qquad X^2 = 8\,3\,9208002$

Tabla Nº 60

SIDELPA :Valores de las Variables Independientes

PMP	100 (PA/PMP)	$\frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )}$	M	U
30,0	44,33	0,0225563910	1.963	44,33
30,0	101,33	0,0098684211	1.963	57,00
30,0	173,00	0,0057803468	1.963	71,67
30,0	260,33	0,0038412292	1.963	87,33
30,0	351,33	0,0028462998	1.963	91,00
40,0	333,25	0,0030007502	1.963	69,75
40,0	405,75	0,0024645718	1.963	72,50
40,0	479,00	0,0029876827	1.963	73,25
45,0	494,44	0,0020224719	1.963	68,67
45,0	564,22	0,0017723513	1.963	69,78
50,0	575,80	0,0017367141	1.963	68,00
50,0	648,40	0,0015422579	1.963	72,60
50,0	716,40	0,0013958682	1.963	68,00
50,0	786,60	0,0012712942	1.963	70,20
50,0	865,40	0,0011555350	1.963	78,80

Realizado en base al Anexo Nº 3.

S I D E L P A

Ecuación 3-17

$$Ln\ E = a\ PMP + b/(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

En base a la Tabla Nº 60 $\quad X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{bmatrix} 25850,000000000 & -2,1747513380 & 1197430,0000000 & 43270,000000000 \\ -2,174751338 & -0,0006994087 & -124,3407094 & -3,897997703 \\ 1197430,000000000 & -124,3407094000 & 57800535,0000000 & 2086429,078000000 \\ 43270,000000000 & -3,8979977030 & 2086429,0780000 & 76985,831050000 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 2642,7898760000 \\ -0,2818550356 \\ 128465,6328000000 \\ 4639,0999990000 \end{bmatrix}.$$

$a = -0,017687940$

$b = -0,520387830$

$c = 0,002523012$

$d = 0,001797135$

Ecuación 3-17 Pág.2

$$\ln E = -0,01768794\ PMP - 0,52038783/(100(PA/PMP)) + 0,002523012\ M + 0,0017971352\ U$$

Ln Eficiencia (observada)	Ln Eficiencia (esperada)
4,60517	4,513438411
4,16713	4,529605449
4,40745	4,553842038
4,60517	4,580976082
4,60517	4,587053819
4,60517	4,372065330
4,34251	4,376728431
4,60517	4,377880514
4,62124	4,281175470
4,13884	4,283040130
4,02731	4,191382814
4,14440	4,191205442
4,03619	4,195094313
3,93124	4,210489436

$$\frac{\Sigma (errores)^2}{n} = 0,0414512387$$

$$x^2 = 0,1431442576$$

$$\theta^2 = 0,0565244164$$

Ecuación 3-17 Pág. 3

COEFICIENTES DE DETERMINACION Y DE CORRELACION

$$R^2_{1,2,3,\ldots,k} = \frac{\sum \hat{y}_t^2}{\sum y_t^2} = \frac{\hat{\beta}' X'Y - \frac{1}{n}(\sum Y_t)^2}{Y'Y - \frac{1}{n}(\sum Y_t)^2}$$

$\hat{\beta}' X'y =$ (-0,017687974 -0,52038783 0,002523012 0,0017971352) $X'Y = \begin{bmatrix} 2462,7898760000 \\ -0,2818550356 \\ 128465,6328000000 \\ 4639,0999999999 \end{bmatrix}$

$\hat{\beta}' X'Y = 285,8510192$

$\sum Y = 65,44352576$ $(\sum Y_t)^2 = 4282,855064$ $\sum Y^2 = 285,8589092$

$$R^2 = \frac{285,8510192 - \frac{1}{15}\,4282,855064}{285,8589092 - \frac{1}{15}\,4282,855064} = \frac{0,3273482320}{0,3352382667}$$

$R^2 = 0,9764643972$ $R = 0,988162131$

S I D E L P A

Ecuación 3-17 Pág. 4

INTERVALO DE CONFIANZA PARA σ^2

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} \quad \sigma^2 \quad \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,6217685805}{21,9200} \quad \sigma^2 \quad \frac{0,6217685805}{3,81575}$$

$$0,0283653549 \quad \sigma^2 \quad 0,1629479344$$

$$0,0283653549 \quad 0,0565244164 \quad 0,1629479344$$

S I D E L P A

Ecuación 3-17 Pág. 5

MATRIZ DE VARIANZA-COVARIANZA

$$\sigma^2 (X'X)^{-1}$$

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0008573760 & 0,2772995478 & -0,0000126660 & -0,0001246476 \\ 0,2772925478 & -751,8829619000 & -0,0169607545 & 0,2659108960 \\ -0,0000126666 & -0,0169607545 & 0,0000007871 & -0,0000150682 \\ -0,0001246476 & 0,2659108960 & -0,0000150682 & 0,0005048208 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0,0000484627 & 0,1567379940 & -0,0000007159 & -0,0000070456 \\ 0,1567379940 & -42,4997456200 & -0,0009586967 & 0,0150304582 \\ -0,0000007159 & -0,0009586967 & 0,0000000445 & 0,0000008517 \\ -0,0000070456 & 0,0150304582 & -0,0000008517 & 0,0000285347 \end{bmatrix}$$

Tabla Nº 61

SIDELPA : Valores de las Variables Independientes

PMP	Ln (100 (PA/PMP))	M	U
30,0	3,79174	1.963	44,33
30,0	4,61842	1.963	57,00
30,0	5,15329	1.963	71,67
30,0	5,56196	1.963	87,33
30,0	5,86174	1.963	91,00
40,0	5,80889	1.963	69,75
40,0	6,00574	1.963	72,50
40,0	6,17170	1.963	73,25
45,0	6,20343	1.963	68,67
45,0	6,33545	1.963	69,78
50,0	6,35576	1.963	68,00
50,0	6,47451	1.963	72,60
50,0	6,57424	1.963	68,00
50,0	6,66772	1.963	70,20
50,0	6,76319	1.963	78,80

Realizado en base al Anexo Nº 3.

S I D E L P A

Ecuación 3-18

$$Ln\ E = a\ PMP + b\ Ln(100(PA/PMP)) + c\ M + d\ U$$

En base a la Tabla Nº 61 $\qquad X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{bmatrix} 25850,000000 & 3675,0881550 & 1197430,0000 & 43270,00000 \\ 3675,088155 & 529,8161358 & 173426,6812 & 6330,84056 \\ 1197430,000000 & 173426,6812000 & 57800535,0000 & 2086429,07800 \\ 43270,000000 & 6330,8405600 & 2086429,0780 & 76985,83105 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 2642,7898760 \\ 384,1879566 \\ 128465,6328000 \\ 4639,0999999 \end{bmatrix}$$

a = −0,0429734220

b = 0,3255490858

c = −0,0050212770

d = −0,0114487012

Ecuación 3-18 Pág. 2

$$\text{Ln } E = -0,042973422\ PMP + 0,3255490858\ \text{Ln}(100(PA/PMP)) - 0,005021277\ M - 0,0114487012\ U$$

Ln Eficiencia (observada)	Ln Eficiencia (esperada)
4,60517	4,44193
4,16713	4,56603
4,40745	4,57225
4,60136	4,52593
4,60517	4,58154
4,60517	4,37789
4,60517	4,41048
4,34251	4,45593
4,60517	4,30386
4,62124	4,33412
4,13884	4,14622
4,02731	4,13221
4,14440	4,21734
4,03619	4,22259
3,93124	4,15521

$$\sum \text{errores} = -0,0000120885$$

$$\sum (\text{errores})^2 = 0,596116938$$

$$\frac{\sum (\text{errores})^2}{n} = 0,0397411276$$

$$X^2 = 0,1558027147$$

S I D E L P A

Ecuación 3-19

$$E = a\,PMP + b/(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U$$

En base a la Tabla Nº 60 $X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{bmatrix} 25850,000000000 & 2,1747513380 & 1197430,0000000 & 43270,00000000 \\ 2,174751338 & 0,0006994087 & 124,3407094 & 3,87997703 \\ 1197430,000000000 & 124,3407094000 & 57800535,0000000 & 2086429,07800000 \\ 43270,000000000 & 3,8799770300 & 2086429,0780000 & 76985,83105000 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 48010,000000000 \\ 5,537902446 \\ 2383533,490000000 \\ 86227,190110000 \end{bmatrix}$$

a = −1,4659203170

b = −400,32784950

c = −0,0008221792

d = 0,0077675767

Σ errores = −0,2546727214 $\quad \Sigma (\text{errores})^2 = 3798,814796 \quad \frac{\Sigma(\text{errores})^2}{n} = 253,2543197 \quad X^2 = 47,32680417$

S I D E L P A

Ecuación 3-20

$$E = a\,PMP + b\,Ln(100(PA/PMP)) + c\,M + d\,U$$

En base a la Tabla Nº 61 $\quad X'X = X'Y$

$$X'X = \begin{bmatrix} 25850,000000 & 3675,0881550 & 1197430,0000 & 43270,00000 \\ 3675,088155 & 529,8161358 & 173426,6812 & 6330,84056 \\ 1197430,000000 & 173426,6812000 & 57800535,0000 & 20864429,07800 \\ 43270,000000 & 6330,8405600 & 20864429,0780 & 76985,83105 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 48010,230000 \\ -7059,417905 \\ 2383533,490000 \\ 86227,190110 \end{bmatrix}$$

a = -2,8634893650

b = 20,0466822900

c = 0,0212894510

d = -0,6549578901

Σ errores = 0,0001338672 $\quad \Sigma (\text{errores})^2 = 3690,688587 \quad \frac{\Sigma(\text{errores})^2}{n} = 246,0459058 \quad x^2 = 45,03653678$

ELASTICIDAD

Se calculan las elasticidades de las variables dependientes con respecto a las variables independientes, calculadas en los valores medios de las variables independientes, de acuerdo a las ecuaciones que se escogieron para cada empresa en estudio.

El punto medio de las variables se lo va a entender como la mediana de los datos observados en cada variable.

En el cálculo de las elasticidades se utiliza la expresión matemática:

$$\eta = \frac{\frac{\Delta \text{ Variable Dependiente}}{\text{Valor Variable Dependiente}}}{\frac{\Delta \text{ Variable Independiente}}{\text{Valor Variable Independiente}}}$$

$$\text{Ln } E = a\,PMP - b\,\frac{1}{100\,(\,PA/PMP\,)} + cM + dU$$

$$\eta = \frac{\Delta \text{Ln } E \,/\, \text{Ln } E}{\Delta PMP \,/\, PMP} = \frac{\Delta \text{Ln } E}{\Delta PMP} \cdot \frac{PMP}{\text{Ln } E} = \frac{\partial \text{Ln } E}{\partial PMP} \cdot \frac{PMP}{\text{Ln } E}$$

$$\eta = a \cdot \frac{PMP}{\text{Ln } E}$$

PA/PMP

$$\eta = \frac{\partial \text{ Ln } E}{\partial (PA/PMP)} \cdot \frac{(PA/PMP)}{\text{Ln } E}$$

$$\eta = \frac{-b}{(PA / PMP)^2} \cdot \frac{(PA / PMP)}{\text{Ln } E}$$

$$\eta = \frac{-b}{(PA / PMP)} \cdot \frac{1}{\text{Ln } E}$$

$$\eta = \frac{\Delta \text{Ln } E / \text{Ln } E}{\Delta M / M} = \frac{\Delta \text{Ln } E}{\Delta M} \cdot \frac{M}{\text{Ln } E} = \frac{\partial \text{Ln } E}{\partial M} \cdot \frac{M}{\text{Ln } E}$$

$$\eta = c \cdot \frac{M}{\text{Ln } E}$$

$$\eta = \frac{\Delta \text{Ln } E / \text{Ln } E}{\Delta U / U} = \frac{\Delta \text{Ln } E}{\Delta U} \cdot \frac{U}{\text{Ln } E} = \frac{\partial \text{Ln } E}{\partial U} \cdot \frac{U}{\text{Ln } E}$$

$$\eta = d \cdot \frac{U}{\text{Ln } E}$$

Acerias Paz del Rio

$$\text{Ln } E = 0,002219239 \text{ PMP} - 0,9706244758 \frac{1}{(PA/PMP) \times 100} +$$

$+ 0,0009707625\ M + 0,037419586\ U.$

$$\eta - a \cdot \frac{PMP}{Ln\ E} = 0,002219239 \cdot \frac{720}{4,319259914}$$

$$\eta = 0,369936542$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{0,970624475}{197,99} \cdot \frac{1}{4,319259914} = 0,0011350073$$

M

$$\eta = 0,0009707625 \cdot \frac{1.955}{4,319259914}$$

U

$$\eta = 0,037919586 \cdot \frac{26,54}{4,484936408} = 0,2214336341$$

SIDEMUÑA

$$Ln\ E = 0,071715938\ PMP - 1,346214616 \frac{1}{100\ (\ PA\ /\ PMP\ )} +$$

$+ 0,000269689\ M + 0,022877804\ U$

PA / PMP

$$\eta = \frac{1,346214616}{210,5} \cdot \frac{1}{2,932739022} = 0,0021806410$$

PMP

$$\eta = 0,071715938 \cdot \frac{35}{3,972309512} = 0,6308128917$$

M

$$\eta = 0,000269689 \cdot \frac{1.964}{3,972309512} = 0,1333405617$$

U

$$\eta = 0,022877804 \cdot \frac{42,86}{4,006001121} = 0,2426290975$$

SIDELPA

$$\text{Ln } E = -0,1768794 \text{ PMP} + 0,52038783 \cdot \frac{1}{100 (\text{PA} / \text{PMP})} +$$

$$0,002523012 \text{ M} + 0,0017971352 \text{ U}$$

PMP

$$\eta = -0,017687974 \cdot \frac{40}{4,377880154} = -0,1616122267$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{0,52038783}{479} \cdot \frac{1}{4,377880154} = 0,0002425868$$

M

$$\eta = 0,002523022 \cdot \frac{1.963}{4,377880154} = 1,131294686$$

$$\underline{U}$$

$$\eta = 0,0017971352 \cdot \frac{70,20}{4,195094313} = 0,0300729557$$

APENDICE 3

DEMANDA DE FACTORES

Se trata en éste apéndice de expresar detalladamente la estima - ción de las función de producción :

$$\text{Ln } K/Q = aPMP - b/(PA/PMP)\ 100 + cM \neq dU$$

$$\text{Ln } E/Q = aPMP - b/(PA/PMP)\ 100 + cM + dU$$

$$\text{Ln } L/Q = aPMP - b/(PA/PMP)\ 100 + cM + dU$$

$$\text{Ln } H/Q = aPMP - b/(PA/PMP)\ 100 + cM \neq dU$$

Donde Q es la cantidad producida, K la cantidad de maquinaria , L la de trabajo, E cantidad de energía eléctrica y H la de hierro o chatarra.

En base a los anexos Nº 1,2 y 3 se encuentran los valores de las variables dependientes, para las empresas: Acerias Paz del Rio, SIDEMUÑA y SIDELPA, los que se expresan en las tablas 62,63 y 64 respectivamente. Se estiman las funciones de producción para cada empresa utilizando el programa ML-02 , como también se presenta cómo se calculó los estimadores mínimo cuadráticos , la prueba de bondad de Ajuste X^2 y varianza con respecto a los datos esperados; la elasticidad de la variable de - pendiente con respecto a las variables independientes y la matríz de varianza covarianza. Para lograr éstos cálculos se sigue el sistema descrito enel apéndice Nº 2 .

Tabla Nº 62

PAZ DEL RIO : Valores de las Variables Dependientes

Año	K/Q	L/Q	E/Q	H/Q
1.966	0,092762	3,682738	4,599614	1,416441
1.967	0,078719	3,654981	4,873860	1,718620
1.968	1,530676	3,635998	4,924233	1,311520
1.969	1,276226	3,368464	4,694122	0,562174
1.970	1,290452	3,399342	4,734275	0,827782
1.971	1,229757	3,328465	4,919478	0,565098
1.972	1,348670	3,439340	5,123735	0,737622
1.973	1,507826	3,608236	5,289745	1,013083
1.974	1,341741	3,454138	5,169663	0,858770
1.975	1,326465	3,468479	5,139761	1,033946
1.976	1,422741	3,705146	5,350443	1,043499
1.977	1,486117	3,627488	5,252501	1,037872
1.978	1,241240	3,752833	5,291954	0,733873
1.979	1,484046	3,479873	5,216693	0,790521
1.980	1,268017	3,379241	5,066156	0,721853

Realizado en base al Anexo Nº 1.

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 4-11

$$\ln \frac{K}{Q} = aPMP - b \frac{1}{(PA/PMP) \times 100} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{bmatrix} 689600,00000000 & -62,0861114900 & 19363600,0000000 & 274310,00000000 \\ -62,08611149 & -0,0010109452 & -200,7888797 & -3,44026072 \\ 19393600,00000000 & -200,7888797000 & 57330375,0000000 & 876363,66070000 \\ 273410,000000000 & -3,4402607200 & 876363,6607000 & 15057,92605000 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 12758,8903600000 \\ 0,1062436202 \\ 34848,8030000000 \\ 462,87477 \end{bmatrix}$$

a= 0,0001206280

b=-0,0909736531

c= 0,0011838785

d=-0,0403724759

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 4-11 Pag.2

$$LnK/Q = 0.0001206280\ PMP + 0,0909736531\ \frac{1}{(PA/PMP)\ x100} + 0,0011838785M$$

$$-0,0403724759\ U$$

Ln K/Q Observado	Ln K/Q Esperado
0,092762	o,11204
0,078719	o,05944
1,530676	1,52899
1,276226	1,27628
1,290472	1,29123
1,229757	1,22157
1,348670	1,35385
1,507826	1,50802
1,341741	1,34647
1,326465	1,33017
1,422741	1,41875
1,486117	1,48827
1,241240	1,23476
1,384046	1,39009
1,268017	1,26557

Σ errores = 0,0000003202

$\Sigma (errores)^2 = 0,0009817066$

$\Sigma \frac{(errores)^2}{n} = 0,0000654471$

$\sigma = 0,0000892461$

$X^2 = 0,097536104$

Σ esperados= 17,82547532

$\Sigma (esperados)^2 = 24,11805187$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-11 Pag. 3

$$R^2_{1.23\ldots k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta} X'Y - \frac{1}{n}(\sum Y_t)^2}{Y'Y - \frac{1}{n}(\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}'X'Y = \begin{pmatrix} 0,000120628 & -0,0909736531 & 0,0011838785 & -0,0403724759 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 12758,89036000 \\ -0,10621482 \\ 34848,80300000 \\ 462,87477000 \end{bmatrix}$$

$\hat{\beta}'X'Y = 24,11802872$ $\qquad (\Sigma Y)^2 = 317,7475704$

$$R^2 = \frac{24,11802872 - 1/15 \cdot 317,7475704}{24,11805187 - 1/15 \cdot 317,7475704} = \frac{2,934857361}{2,934880511}$$

$R^2 = 0,999992112$ $\qquad R = 0,9999960056$

ACERIAS PAZ DEL RIO

INTERVALO DE CONFIANZA PARA σ^2

Ecuación 4-11 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,0009817066}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,0009817066}{3,81575}$$

$$\frac{0,00004478\ 59}{} < \sigma^2 < \frac{0,0002572809}{}$$

0,00004478 59 0,0000892461 0,0002572809

ACERIAS PAZ DEL RIO

MATRIZ DE VARIANZA COVARIANZA

Ecuación 4-11 Pag.5

$\sigma (X'X)^{-1}$

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0000615393 & 0,0236876610 & -0,0000338613 & 0,0008587399 \\ 0,0236876610 & -547,369208000 & -0,0130837751 & 0,2063105416 \\ -0,0000338613 & -0,0130837751 & 0,0000187899 & -0,0004817222 \\ 0,0008587399 & 0,2063105416 & -0,0004817222 & 0,0125572097 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{0,0000000054} & 0,0000020733 & -0,0000000030 & 0,0000000752 \\ 0,0000020733 & \underline{-0,0479095843} & -0,0000011452 & 0,0000184520 \\ -0,0000000030 & -0,00000114520 & \underline{0,0000000016} & -0,0000000422 \\ 0,0000000752 & 0,0000180577 & -0,0000000422 & \underline{0,0000010991} \end{bmatrix}$$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 4.12

$$\text{Ln } E/Q = a\,PMP - b\,\frac{1}{(PA/PMP)\times 100} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{vmatrix} 6896000,00000000 & -62,0861114900 & 19363600,000000 & 273410,00000000 \\ -62,08611149 & -0,0010109452 & -200,7888797 & -3,44026072 \\ 19393600,00000000 & -200,7888797000 & 57330375,000000 & 876363,66070000 \\ 273410,00000000 & -3,4402607200 & 876363,6607000 & 15057,92605000 \end{vmatrix}$$

$$X'Y = \begin{vmatrix} 50296,9592000000 \\ -0,5068505242 \\ 147888,538550000 \\ 2239,966286000 \end{vmatrix}$$

a=-0,0008433675

b=-5.6284454270

c= o,0032334760

d=-0,0254027529

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 4-12 Pag.2

$$\text{Ln } E/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (PA/PMP)} + cM + dU$$

Ln E/Q Observado	Ln E/Q Esperado
4,599614	4,77881
4,873860	4,69479
4,924233	5,25079
4,694122	5,06620
4,734275	5,06194
4,919478	5,00909
5,123735	5,08682
5,289745	5,18026
5,169663	5,07533
5,139761	5,06244
5,350443	5,11620
5,252501	5,15839
5,291954	4,99725
5,216693	5,09375
5,066156	5,01424

Σ errores = -0,0000787205

$\Sigma(\text{errores})^2$ = 0,6212803440

$\frac{\Sigma(\text{errores})^2}{n}$ = 0,0414178690

σ^2 = 0,0564789122

χ^2 = 0,1228411288

ΣEsperados = 75,6463117200

$\Sigma(\text{Esperados})^2$ = 381,7735884000

ACERIAS PAZ DEL RIO

COEFICIENTES DE DETERMINACION Y CORRELACION

Ecuación 4-12 Pag.3

$$R^2_{1,23\ldots K} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\beta' X' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}' X' Y = (-0,0008433675 \quad -5,628445427 \quad 0,003233476 \quad -0,0254027529) \quad X'Y = \begin{pmatrix} 50296,9592000000 \\ -0,5068505242 \\ 147888,538550000 \\ 2239,966286000 \end{pmatrix}$$

$$\hat{\beta} X' Y = 381,7266896 \qquad (\sum Y)^2 = 5722,364477$$

$$R^2 = \frac{381,7266896 - \frac{1}{15} \quad 5722,364477}{381,7735884 - \frac{1}{15} \quad 5722,364477} = \frac{0,2357245011}{0,2826232774}$$

$$R^2 = 0,834059048 \qquad R^2 = 0,913268333$$

ACERIAS PAZ DEL RIO

INTERVALO DE CONFIANZA PARA σ^2

Ecuación 4-12 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,6212680344}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,6212680344}{3,8157}$$

$$0,028425199 < \sigma^2 < 0,01628188889$$

$$0,028425199 < 0,0564789122 < 0,162818889$$

ACERIAS PAZ DEL RIO

MATRIZ DE VARIANZA COVARIANZA -
Ecuación 4-12 Pag.5

$\sigma (X' X)^{-1}$

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0000615393 & 0,0236876610 & -0,0000338613 & 0,0008587399 \\ 0,0236876610 & -547,369208000 & -0,0130837751 & 0,2063105416 \\ -0,0000338613 & -0,0130837751 & 0,0000187899 & -0,0004817222 \\ 0,0008587399 & 0,2063105416 & -0,0004817222 & 0,0125572097 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \underline{0,0000034757} & 0,0013378533 & -0,0000019124 & 0,0000485007 \\ 0,0013378533 & \underline{-30,9148172000} & -0,0007389574 & 0,0116521950 \\ -0,0000019124 & 0,0007389574 & \underline{0,0000010612} & -0,0000272071 \\ 0,0000485007 & 0,011652195 & -0,0000272071 & \underline{0,0007092175} \end{bmatrix}$$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 4-13

$$\ln L/Q = aPMP - b\,\frac{1}{100(PA/PMP)} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{bmatrix} 6876000,00000000 & -62,0861114900 & 19393600,0000000 & 273410,00000000 \\ -62,08611149 & 0,0010109452 & -200,7888797 & -3,44026072 \\ 19393600,00000000 & -200,7888797000 & 57330375,0000000 & 876363,66070000 \\ 273410,00000000 & -3,4402607200 & 876363,6607000 & 15057,92605000 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 34920,4322800000 \\ -0,3642853615 \\ 103585,2097000000 \\ 1589,4587150000 \end{bmatrix}$$

a= -0,0022479336
b= -0,7815492416
c= -0,0029882068
d= -0,0277181808

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 4-13 Pag.2

$$\text{Ln } L/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )} + cM + bU$$

Ln L/Q Observado	Ln L/Q Esperado
3,682738	3,69024
3,654981	3,64748
3,635998	3,63562
3,368464	3,45879
3,399342	3,46727
3,328465	3,41827
3,439340	3,50836
3,608236	3,61373
3,454138	3,50240
3,468479	3,49086
3,705146	3,55141
3,627488	3,59893
3,752833	3,44469
3,479873	3,53116
3,379241	3,44553

$\sum$ errores = 0,0000609645

$\sum(\text{errores})^2$ = 0,1677255475

$\sum \frac{(\text{errores})^2}{n}$ = 0,0111817032

σ^2 = 0,0152477777

χ^2 = 0,0485974092

$\sum$ Esperados = 52,9847390400

$\sum(\text{Esperados})^2$ = 187,2640883000

ACERIAS PAZ DEL RIO

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-13 Pag.3

$$R^2_{1.23...k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta} X'Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y'Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}' X'Y = \begin{pmatrix} -0,0022479336 & -0,7815492416 & 0,0029882068 & -0,0277181808 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 34920,4322800000 \\ -0,3642853616 \\ 103585,2097000000 \\ 1589,4587150000 \end{bmatrix}$$

$\beta' X'Y = 187,2630179$ $\qquad (\sum Y)^2 = 317,0817149$

$$R^2 = \frac{187,2630179 - 1/15 \cdot 317,0817149}{187,2648883 - 1/15 \cdot 317,0817149} = \frac{166,1242369}{166,1253073}$$

$R^2 = 0,9999935566$ $\qquad R = 0,9999967783$

ACERIA S PAZ DEL RIO

Intervalo de Confianza para σ^2

Ecuación 4-13 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,1677255475}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,1677255475}{3,81575}$$

$$0,0076517129 < \sigma^2 < 0,0439566914$$

$$0,0076517129 < 0,01524777 < 0,0439556914$$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Matriz de Varianza Covarianza

Ecuación 4-13 Pag.5

$\sigma^2 \left(X'X \right)^{-1}$

$$(X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,0000615393 & 0,0236876610 & -0,0000338613 & 0,0008587399 \\ 0,0236876610 & -547,3692080000 & -0,0130837751 & 0,2063105416 \\ -0,0000338613 & -0,0130837751 & 0,0000187899 & -0,0004817222 \\ 0,0008587399 & 0,2063105416 & -0,0004817222 & 0,0125572097 \end{pmatrix}$$

$$\sigma^2(X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,0000009383 & 0,0003611842 & -0,0000005163 & 0,0000130939 \\ 0,0003611842 & -8,3461635560 & -0,0001994985 & 0,0031457771 \\ -0,0000005163 & -0,0001994985 & 0,0000002865 & -0,0000073452 \\ 0,0000130939 & 0,0031457771 & -0,0000073452 & -0,0001914695 \end{pmatrix}$$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 4-14

$$\text{Ln } H/Q = aPMP - b \frac{1}{100(PA/PMP)} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{pmatrix} 6896000,000000000 & -62,0861114900 & 19393600,0000000 & 273410,00000000 \\ -62,086111490 & -0,0010109452 & -200,7888797 & -3,44026072 \\ 19393600,000000000 & -200,7888797000 & 57330375,0000000 & 876363,66070000 \\ 273410,000000000 & -3,4402607200 & 876363,6607000 & 15057,92605000 \end{pmatrix}$$

$$X'Y = \begin{pmatrix} 8968,8977180000 \\ -0,1085925138 \\ 28098,5755300000 \\ 461,0283778400 \end{pmatrix}$$

a = - 0,0061833553

b = -0, 6280220995

c = 0,0036027403

d = - 0,0669316380

ACERIAS PAZ DEL RIO

Ecuación 4-14 Bag.2

$$\text{Ln } H/Q = aPMP - b \frac{1}{100\,(PA/PMP)} + cM + dU$$

Ln H/Q Observado	Ln H/Q Esperado
1,416441	1,61342
1,718620	1,52164
1,311520	1,15264
0,562174	0,73144
0,827782	0,75500
0,565098	0,63871
0,737622	0,85748
1,013083	1,11272
0,858770	0,84462
1,033946	0,81737
1,043499	0,96403
1,037872	1,07912
0,733873	0,65875
0,790521	0,91612
0,721853	0,70961

$\sum$ errores = 0,0000000158

$\sum(\text{errores})^2$ = 0,2431964373

$\frac{\sum(\text{errores})^2}{n}$ = 0,0162130958

o^2 = 0,0221087670

χ^2 = 0,2435417960

$\sum$ Esperados = 14,3726739800

$\sum(\text{Esperados})^2$ = 14,9856016700

ACERIAS PAZ DEL RIO

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-14 Pag. 3

$$R^2_{1.23\ldots k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta}' X' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta} X' Y = \begin{pmatrix} -0,0061833553 & -0,6280220995 & 0,0036027403 & -0,066931638 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 8968,8977180000 \\ -0,1085935138 \\ 28098,5755300000 \\ 461,0283778400 \end{pmatrix}$$

$\hat{\beta} X' Y = 14,9848032$ $\qquad (\sum Y)^2 = 206,5737573$

$$R^2 = \frac{14,9848032 - 1/15 \cdot 206,5737573}{14,98560167 - 1/15 \cdot 206,5737573} = \frac{1,21321938}{1,214017848}$$

$R^2 = 0,9993422933$ $\qquad R = 0,9996710926$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Intervalo de Confianza para σ^2

Ecuación 4-14 Pag.4

$$\frac{e'e}{\chi^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{\chi^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,2431964373}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,2431964373}{3,81575}$$

$$0,011094728 < \sigma^2 < 0,0637357332$$

$$0,011094728 < 0,02210876 < 0,0637357332$$

ACERIAS PAZ DEL RIO

Matriz de Varianza Covarianza

Ecuación 4-14 Pag.5

$$\sigma^2 (X'X)^{-1}$$

$$(X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,0000615393 & 0,0236866100 & -0,0000338613 & 0,0008587399 \\ 0,0236876610 & -547,3692080000 & -0,0130837751 & 0,2063105416 \\ -0,0000338613 & -0,0130837751 & 0,0000187899 & -0,0004817222 \\ 0,0008785399 & 0,2063105416 & -0,0004817222 & 0,0125572097 \end{pmatrix}$$

$$\sigma(X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} \underline{0,0000013606} & 0,0005237050 & -0,0000007486 & 0,0000189858 \\ 0,0005237050 & \underline{-12,1016581900} & 0,0002892661 & 0,0045612717 \\ -0,0000007486 & 0,0002892660 & \underline{0,0000004154} & -0,0000106503 \\ 0,0000189857 & 0,0045612717 & 0,0000106503 & \underline{0,0002762440} \end{pmatrix}$$

Tabla Nº 63

SIDEMUÑA : Valores de las Variables Dependientes

Año	K/Q	L/Q	E/Q	Ch/Q
1.966	1,660731	4,248495	8,497688	1,883875
1.967	1,237874	3,873354	7,940080	1,420196
1.968	0,891598	3,464210	7,619928	1,153962
1,969	0,901629	3,812203	7,659348	1,321756
1.970	0,954512	3,855934	7,729478	1,473306
1,971	0,843970	3,538597	7,819103	1,249435
1.972	0,148403	3,439494	7,753701	0,623188
1.973	0,881199	3,507936	7,670042	0,713626
1.974	0,847298	2,958376	7,641621	0,947789
1.975	0,789029	2,820925	7,759179	0,927548
1.976	0,432983	2,476057	7,262391	0,668626
1.977	0,544727	2,576628	7,355024	0,738883
1.978	0,419854	2,509953	7,284627	0,630346
1.979	0,381470	2,496002	7,272767	0,626095
1.980	0,233222	2,349781	7,268031	0,536515

Realizado en base al Anexo Nº 2.

SIDEMUÑA

Ecuación 4-15

$$Ln\ K/Q = aPMP - b\ \frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{pmatrix} 13425,00000000 & -3,130825680 & 854340,0000000 & 21540,0000000000 \\ -3,13082568 & -0,003574227 & -262,5266963 & -4,296415509 \\ 854340,00000000 & -262,526696300 & 57859440,0000000 & 1385882,571000000 \\ 21540,00000000 & -4,296415509 & 1385882,5710000 & 36895,637677600 \end{pmatrix}$$

$$X'Y = \begin{pmatrix} 284,12129961900 \\ -0,14743960400 \\ 20417,86341000000 \\ 427,13496120000 \end{pmatrix}$$

a= 0,0000933449

b= 3,6794309320

c= 0,0008171599

d=-0,0187435425

SIDEMUÑA

Ecuación 4-15 Pag.2

$$\text{Ln } K/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (PA/PMP)} + cM + dU$$

Ln K/Q Observado	Ln K/Q Esperado
1,660731	1,05699
1,237874	0,98655
o,891598	0,79694
0,901629	o,82850
0,954512	0,86318
0,843970	0,78332
1,148403	0,98952
o,881199	0,81263
0,847298	0,78930
0,789029	0,74362
0,432983	0,38190
0,544727	0,51195
0,419854	0,36863
o,381470	0,32142
0,263222	0,16162

Σ Errores = 1,7984455120

$\Sigma(\text{errores})^2$ = 0,5091590298

$\Sigma\frac{(\text{errores})^2}{n}$ = 0,0339439353

o^2 = 0,0462871845

χ^2 = 0,5698490625

Σ Esperados = 10,3960614900

$\Sigma(\text{Esperados})^2$ = 8,2594429180

SIDEMUÑA

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-15 Pag.3

$$R^2_{1.23...k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta}' X' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta} X' Y = \begin{pmatrix} 0,0000933449 & 3,679430932 & 0,0008171599 & -0,0187435425 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 248,129961900 \\ -0,147439604 \\ 20417,863410000 \\ 427,134961200 \end{bmatrix}$$

$\hat{\beta} X' Y = 8,159304751$ $\qquad (\sum Y)^2 = 108,080945$

$$R^2 = \frac{8,15930475 - 1/15 . 108,0780945}{8,259442918 - 1/15 . 108,0780945} = \frac{0,954098481}{1,054236618}$$

$R^2 = 0,9050136039$ $\qquad R = 0,9513220295$

SIDEMUÑA

Intervalo de Confianza para σ^2

Ecuación 4-15 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,5091590298}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,5091590298}{3,81575}$$

$$0,0232280579 < \sigma^2 < 0,1334361606$$

$$0,0232280579 < 0,0462871845 < 0,1334361606$$

SIDEMUÑA

Matriz de Varianza Covarianza

Ecuación 4-15 Pag.5

$$\sigma^2 (X'X)^{-1}$$

$$(X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,0019935145 & 0,0567547945 & -0,0000146564 & -0,0006104501 \\ 0,0566547945 & -1169,6889831000 & -0,0034003929 & 0,0748324936 \\ -0,0000145564 & -0,0034003929 & 0,0000002266 & -0,0000004086 \\ -0,0006104501 & 0,0748324936 & 0,0000004086 & 0,0004075510 \end{pmatrix}$$

$$\sigma^2(X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,00092274170 & 0,0026273909 & -0,0000006738 & -0,0000282560 \\ 0,00026223909 & -7,8544252680 & -0,0001573946 & -0,0034637854 \\ -0,00000067380 & -0,0001573946 & 0,00000000105 & 0,0000000189 \\ 0,00002825600 & 0,0034637854 & 0,0000000189 & 0,0000188644 \end{pmatrix}$$

SIDEMUÑA

Ecuación 4-16 Pag.1

$$\text{Ln } E/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )} + cM + dU$$

$$\begin{vmatrix} 13425,00000000 & -3,130825680 & 854340,0000000 & 21540,000000000 \\ -3,13082568 & -0,003574227 & -262,5266963 & -4,296415509 \\ 854340,00000000 & -262,526696300 & 57859440,0000000 & 1385882,571000000 \\ 21540,00000000 & -4,296415590 & 1385882,5710000 & 36895,637760000 \end{vmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 3298,974469000 \\ 1,050426649 \\ 224903,749100000 \\ 5318,400187000 \end{bmatrix}$$

a = -0,0034788066

b = -1,2935130370

c = 0,0043358776

d = -0,0168377912

SIDEMUÑA

Ecuación 4-16 Pag.2

$$\text{Ln } E/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (PA/PMP)} + cM + dU$$

Ln E/Q Observado	Ln E/Q Esperado
8,497688	8,19425
7,940080	7,98474
7,619928	7,77027
7,659348	7,78260
7,729478	7,80550
7,819103	7,72821
7,753701	7,86842
7,670042	7,70303
7,641621	7,67776
7,759179	7,63358
7,262391	7,30559
7,335024	7,42051
7,284627	7,29017
7,272767	7,24653
7,268031	7,10190

Σ errores = -0,0001012428

$\Sigma(\text{errores})^2$ = 0,2147351019

$\frac{\Sigma(\text{errores})^2}{n}$ = 0,0143156735

σ^2 = 0,0195213729

χ^2 = 0,0274337972

Σ Esperados = 114 ,5131092000

$\Sigma(\text{Esperados})^2$ = 875,4992131000

SIDEMUÑA

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-16 Pag.3

$$R^2_{1.23...k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta}'X'Y - \frac{1}{n}(\sum Y_t)^2}{Y'Y - \frac{1}{n}(\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}'X'Y = \begin{pmatrix} -0,0034788066 & -1,293513037 & 0,0043358776 & -0,0168377912 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3298,974469000 \\ 1,050426649 \\ 224903,749100000 \\ 5318,400187000 \end{pmatrix}$$

$\hat{\beta}'X'Y = 873,2956143$ $\qquad (\sum Y)^2 = 13113,25218$

$$R^2 = \frac{873,2956143 - 1/15 \cdot 13113,25218}{873,4992131 - 1/15 \cdot 13113,25218} = \frac{0,92119761}{1,2824119}$$

$R^2 = 0,7183380811$ $\qquad R = -0,8475482766$

SIDEMUÑA

Intervalo de Confianza para σ^2

Ecuación 4-16 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,2147351019}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,2147351019}{3,81575}$$

$$0,0097963094 < \sigma^2 < 0,0562759882$$

$$0,0097963094 < 0,0195213727 < 0,0562759882$$

SIDEMUÑA

Matriz dde Varianza Covarianza

Ecuación 4-16 Pag.5

$$\sigma^2 \, (X'X)^{-1}$$

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0019935145 & 0,0567547945 & -0,0000146564 & -0,0006104501 \\ 0,0566547945 & -169,6889831000 & -0,0034003929 & 0,0748324936 \\ -0,0000145564 & -0,0034003929 & 0,0000002266 & -0,0000004086 \\ -0,0006104501 & 0,0748324936 & 0,0000004086 & 0,0004075510 \end{bmatrix}$$

$$\sigma^2(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0003891614 & 0,0011059794 & -0,0000002842 & -0,0000119168 \\ 0,0011059794 & -3,3125619160 & -0,0000663803 & 0,0014608330 \\ -0,0000002842 & -0,0000663803 & 0,0000000044 & 0,0000000080 \\ -0,0000119168 & 0,0014608330 & 0,0000000080 & 0,0000079560 \end{bmatrix}$$

SIDEMUÑA

Ecuación 4-17

$$\ln L/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{bmatrix} 13425,00000000 & -3,130825680 & 854340,0000000 & 21540,000000000 \\ -3,13082568 & -0,003574227 & -262,5266963 & -4,296415159 \\ 854340,00000000 & -262,526696300 & 57859440,0000000 & 1385882,571000000 \\ 21540,00000000 & -4,296415509 & 1385882,5710000 & 36895,637760000 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 1335,5881800000 \\ 0,5032111066 \\ 94130,4839800000 \\ 2122,1399090000 \end{bmatrix}$$

a = -0,0317103490

b = -0,0851928163

c = -0,0027305764

d = -0,0265463221

SIDEMUÑA

Ecuación 4-17 Pag,2

$$\text{Ln } L/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (PA/PMP)} + cM + dU$$

Ln L/Q Observado	Ln L/Q Esperado
4,248495	4,22875
3,873354	3,96058
3,464210	3,64120
3,812203	3,66745
3,855934	3,70712
3,538597	3,58756
3,439494	3,41165
3,507936	3,15365
2,958376	3,11565
2,476057	2,54669
2,576628	2,71351
2,509953	2,50870
2,496002	2,44041
2,349781	2,21285

Σ errores = -0,0151695759

$\Sigma(\text{errores})^2$ = 0,3326724106

$\frac{\Sigma(\text{errores})^2}{n}$ = 0,0221781607

σ^2 = 0,0302429464

χ^2 = 0,1063628593

Σ Esperados = 47,9431145800

$\Sigma(\text{esperados})^2$ = 158,4634590000

SIDEMUÑA

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-17 Pag.3

$$R^2_{1.23...k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta} X'Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y'Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta} X'Y = (-0,031710349 \quad -0,0851928163 \quad 0,0027305764 \quad -0,0265463221) \begin{bmatrix} 1335,5881800000 \\ 0,5032111066 \\ 94130,4839800000 \\ 2122,1399090000 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\beta} X'Y - 158,3863712 \qquad (\sum Y)^2 = 2298,542231$$

$$R^2 = \frac{158,386317 - 1/15 \cdot 2298,542231}{158,463459 - 1/15 \cdot 2298,542231} = \frac{5,147563267}{5,225310267}$$

$$R^2 = 0,9847441617 \qquad R = 0,9923427642$$

SIDEMUÑA

Intervalo de Confianza Para σ^2

Ecuación 4-17 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,3326724106}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,3326724106}{3,81575}$$

$$0,0151766611 < \sigma^2 < 0,0871840164$$

$$0,0151766611 < 0,0302429464 < 0,0871840164$$

SIDEMUÑA

Matriz de Varianza Covarianza

Ecuación 4-17 Pag.5

$$\sigma^2 (X'X)^{-1}$$

$$\sigma(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0019935145 & 0,0567547945 & -0,0000146564 & -0,0006104501 \\ 0,0566547945 & -169,6889831000 & -0,0034003929 & 0,0748324936 \\ -0,0000145564 & -0,0034003929 & 0,0000002266 & -0,0000004086 \\ -0,0006104501 & 0,0748324936 & 0,0000004086 & 0,0004075510 \end{bmatrix}$$

$$\sigma^2 (X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0006028975 & 0,0017134079 & -0,0000004402 & -0,0000184618 \\ -0,0017134079 & -5,1318948210 & -0,0001028379 & 0,0022631551 \\ -0,0000004402 & -0,0001028379 & 0,0000000069 & -0,0000000124 \\ -0,0000184618 & 0,0022631551 & 0,0000000124 & 0,0000123255 \end{bmatrix}$$

SIDEMUÑA

Ecuación 4-18

$$\text{Ln } Ch/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (PA/PMP)} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{bmatrix} 13425,00000000 & -3,130825680 & 854340,0000000 & 21540,000000000 \\ -3,13082568 & -0,003574227 & -262,5266963 & -4,296415509 \\ 854340,00000000 & -262,526696300 & 57859440,0000000 & 1385882,571000000 \\ 21540,00000000 & -4,296415509 & 1385882,5710000 & 36895,637760000 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 394,4919799000 \\ -0,1573887129 \\ 29293,3364800000 \\ 631,3320924000 \end{bmatrix}$$

a = -0,0343104671
b = -3,2682561740
c = 0,0011720722
d = -0,0072741831

SIDEMUÑA

Ecuación 4-18 Pag.2

$$\text{Ln } Ch/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (PA/PMP)} + cM + dU$$

Ln Ch/Q Observada	Ln Ch/Q Esperada
1,883875	1,64973
1,420196	1,47317
1,153962	1,35463
1,321756	1,35051
1,473306	1,35558
1,249435	1,31891
0,623188	0,89221
0,713626	0,81704
0,947789	0,80359
o,927548	0,78268
0,668626	0,63938
0,738883	0,68784
0,630346	0,63067
0,626095	0,61111
0,536515	0,54809

Σ errores =	0,0000052609
$\Sigma(\text{errores})^2$ =	0,2460701200
$\frac{\Sigma(\text{errores})^2}{n}$ =	0,0164046747
o^2 =	0,0223700109
χ^2 =	0,2319842671
Σ Esperados =	14,9151407400
$\Sigma(\text{Esperados})^2$ =	16,8033321100

SIDEMUÑA

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-18 Pag.3

$$R^2_{1.23....k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta} X' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y'Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}' X' Y = \begin{pmatrix} -0,034104671 & -3,268256174 & 0,0011720722 & -0,00722641831 \end{pmatrix} \begin{vmatrix} 394,4919799000 \\ -0,1573887129 \\ 29293,3364800000 \\ 631,3320924000 \end{vmatrix}$$

$\hat{\beta} X' Y = 16,72711155$ $\qquad (\sum Y)^2 = 222,4614233$

$$R^2 = \frac{16,72711155 - 1/15 \cdot 222,4614233}{16,80333211 - 1/15 \cdot 222,4614233} = \frac{1,896349996}{1,972570557}$$

$R^2 = 0,9613597801$ $\qquad R = 0,9804895615$

SIDEMUÑA

Intervalo de Confianza para σ^2

Ecuación 4-18 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,24607012}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,24607012}{3,81575}$$

$$0,0112258266 < \sigma^2 < 0,0644880089$$

$$0,0112258266 < 0,0223700109 < 0,0644880089$$

SIDEMUÑA

Matriz de Varianza Covarianza

Ecuación 4-18 Pag.5

$$\sigma^2 (X'X)^{-1}$$

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0019935145 & 0,0567547945 & -0,0000146564 & -0,0006104501 \\ 0,0566547945 & -169,6889831000 & -0,0034003929 & -0,7483249360 \\ -0,0000145564 & -0,0034003929 & 0,0000002226 & -0,0000004086 \\ -0,0006104601 & 0,0748324936 & 0,0000004086 & 0,0004075510 \end{bmatrix}$$

$$\sigma^2 (X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} \underline{0,0199351450} & 0,0126736837 & -0,0000032563 & -0,0001365578 \\ 0,0126736837 & \underline{-37,9594440200} & -0,0007606683 & -0,1674003700 \\ -0,0000032563 & -0,0007606683 & \underline{0,0000000507} & -0,0000000914 \\ -0,0001365578 & +0,0167400370 & 0,0000000914 & \underline{0,0000911692} \end{bmatrix}$$

Tabla Nº 64

SIDELPA : Valores de las Variables Dependientes

Año	K/Q	L/Q	E/Q	Ch/Q
1.966	0,813433	3,452491	7,056564	0,120286
1.967	0,562119	3,465370	7,102427	-0,054067
1.968	0,333144	3,144553	6,904774	-0,301734
1.969	0,135438	2,950847	6,730672	-0,409289
1.970	0,094311	3,029939	6,716166	-0,357198
1.971	0,360253	3,151418	6,940337	-0,405465
1.972	0,321584	3,109676	6,987012	-0,639443
1.973	0,311292	3,184856	6,983578	-0,328214
1.974	0,375906	3,137322	6,976411	-0,435024
1.975	0,359854	3,167918	6,945750	-0,324443
1.976	0,385662	3,171907	6,990581	-0,008785
1.977	0,320205	3,120966	6,960003	0,048397
1.978	0,385662	3,164482	6,991068	0,008785
1.979	0,353822	3,149883	6,984901	0,044576
1.980	0,238257	3,044039	6,947244	0,056735

Realizado en base al Anexo Nº 3.

SIDELPA

Ecuación 4- 19

$$\text{Ln } k/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (PA/PMP)} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{bmatrix} 25850,000000000 & -2,1747513380 & 1197430,000000000 & 43270,00000000 \\ -2,174751338 & -0,0006994087 & -124,340709400 & -3,87997703 \\ 1197430,000000000 & -124,34o7094000 & 57800535,00000000 & 2086429,07800000 \\ 43270,000000000 & -3,8799770300 & 2086429,078000000 & 76985,83105000 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 215,1681999000 \\ -0,0329583289 \\ 10503,9029000000 \\ 353,8649250000 \end{bmatrix}$$

a=-0,0001809864

b= 0,3894223072

c= 0,0007694874

d=-0,1502208732

SIDELPA

Ecuación 4-19 P2

$$\text{Ln } k/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (\ PA/\ PMP\ )} + cM + dU$$

Ln K/Q Observado	Ln K/Q Esperado
0,813433	0,77263
0,562119	0,58478
0,333140	0,36313
0,135438	0,12542
0,019431	0,07000
0,360253	0,37528
0,321584	0,33364
0,311392	0,32237
0,375906	0,38311
0,359854	0,36629
0,385662	0,38431
0,320205	0,31437
0,385662	0,38445
0,383822	0,35101
0,238257	0,22016

$\sum$ errores = -0,0001434500

$\sum (\text{errores})^2$ = 0,0047286824

$\sum \frac{(\text{errores})^2}{n}$ = 0,0003152455

σ^2 = 0,0004298802

X^2 = 0,0180462466

$\sum$ esperados = 5.350944344

$\sum (\text{esperados})^2$ = 2.294431413

SIDELPA

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-19 Pag.3

$$R^2_{1.23\ldots k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta}' X' Y - \frac{1}{n}\left(\sum Y_t\right)^2}{Y'Y - \frac{1}{n}\left(\sum Y_t\right)^2}$$

$$\hat{\beta}' X' Y = (-0,0018098646 \quad 0,3894223072 \quad 0,0007694874 \quad -0,0152208732) \; X'Y = \begin{bmatrix} 215,1681999 \\ 0,0329583 \\ 10503,90290 \\ 353,8654925 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\beta}' X' Y = 2,294219125 \qquad \left(\sum X\right)^2 = 28,63260537$$

$$R^2 = \frac{2,294219125 - 1/15 \;\; 28,63260537}{2.294431413 - 1/15 \;\; 28.63260537} = \frac{0,3853787668}{0,3855910548}$$

$$R^2 = 0,9994494479 \qquad R = 0,999724686$$

SIDELPA

Intervalo de Confianza para σ^2

Ecuación 4-19 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0.025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0.975}}$$

$$\frac{0,0047286824}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,0047286824}{3,81575}$$

$$0,0002157246 < \sigma^2 < 0,00123927$$

$$0,0002157246 < 0,000429802 < 0,00123927$$

SIDELPA

Matriz de Varianza Covarianza

Ecuación 4-19 Pag.5

$\sigma^2 (X'X)^{-1}$

$$(X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,0008573760 & 0,2772925478 & -0,0000126660 & -0,0001246476 \\ 0,2772925478 & -751,8829619000 & -0,0169607545 & 0,2659108960 \\ -0,0000126660 & -0,0169607545 & 0,0000007871 & -0,0000150682 \\ 0,0001246476 & 0,2659108960 & -0,0000150682 & 0,0005048208 \end{bmatrix}$$

$$\sigma^2 (X'X)^{-1} = \begin{bmatrix} \underline{0,0000003686} & 0,0001192026 & -0,0000000054 & 0,0000000536 \\ 0,0001192026 & \underline{-0,3232195979} & 0,0000072911 & 0,0001143098 \\ -0,0000000054 & -0,0000072911 & \underline{0,0000000003} & -0,0000000065 \\ -0,0000000536 & 0,0001143098 & 0,0000000065 & \underline{0,0000000217} \end{bmatrix}$$

SIDELPA

Ecuación 4-20

$$\text{Ln } E/Q = aPMP - b \frac{1}{(PA/PMP)\ 100} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{bmatrix} 25850,000000000 & -2,1747513386 & 1197430,0000 & 43270,00000 \\ -2,174751338 & -0,0006994087 & -124,3407094 & -3,87997703 \\ 1197430,000000000 & -124,340709400 & 57800535,0000000 & 2086429,07800000 \\ 43270,000000000 & -3,87997703 & 2086429,0780000 & 76985,831050 \end{bmatrix}$$

$$X'Y = \begin{bmatrix} 4241,94216 \\ 0,4616701545 \\ 204578,9208 \\ 7271,251011 \end{bmatrix}$$

a= -0,0010803968

b= 13,69367586

c= 0,004060315

d= -0,012994967

SIDELPA

Ecuación 4-20 Pag. 2

$$\text{Ln } E/Q = aPMP - b \frac{1}{100\ (\ PA/PMP\ )} \neq cM + dU$$

Ln E/Q observado	Ln E/Q Esperado
7,056564	7,05300
7,102427	7,06214
6,904774	6,92753
6,730672	6,75049
6,716166	6,71647
6,940337	6,97969
6,987012	6,95130
6,983578	6,94671
6,976411	7,00176
6,945750	6,99075
6,990581	7,00894
6,960003	6,95182
6,991068	7,01361
6,984901	6,98672
6,947244	6,87655

$\sum$ Errores = 0,0000038719

$\sum$ (Errores)^2 = 0,0153102607

$\frac{\sum (\text{ Errores})^2}{n}$ = 0,0102078400

σ^2 = 0,0013918419

X^2 = 0,0022044251

$\sum$ Esperados = 104,2174841000

$\sum$(Esperados)^2 = 724,2230586000

SIDELPA

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-20 Pag. 3

$$R^2_{1.2,3...k} = \frac{\sum \hat{Y}_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta}' X' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}' X' y = \begin{pmatrix} -0,0010803968 & 13,69367586 & 0,004060315 & -0,012994967 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4241,9416000000 \\ -0,4616701545 \\ 204578,9208000000 \\ 7371,2510110000 \end{pmatrix}$$

$\beta' X' y$ = 723,960755 $\qquad$ (x^2) = 10861,28399

$$R^2 = \frac{723,960755 - 1/15 \cdot 10861,28399}{724,2230586 - 1/15 \cdot 10861,28399} = \frac{-0,12484444893}{0,1374591247}$$

R^2 = 0,9082299161 $\qquad$ R = -0,9530109738

SIDELPA

Intervalo de confianza para σ^2

Ecuación 4-20 Pag.21

$$\frac{e'e}{\chi^2_{0.025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{\chi^2_{0.975}}$$

$$\frac{0.0153102607}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0.0153102607}{3,81575}$$

$$0,0006984608 < \sigma^2 < 0,0040123857$$

$$0,0006984608 < 0,0013918419 < 0,0040123857$$

SIDELPA

Matriz de Varianza Covarianza

Ecuación 4-20 Pag. 5

$\sigma^2 (X'X)^{-1}$

$$(X'Y)^{-1} = \begin{matrix} 0,00085737600 & 0,2772925478 & -0,0000126660 & -0,0001246476 \\ 0,27729254780 & -751,8829619000 & -0,0169607545 & 0,2659108960 \\ -0,00001266600 & -0,0169607545 & 0,0000007871 & -0,0000150682 \\ 0,00012464760 & 0,2659108960 & -0,0000150682 & 0,0005048208 \end{matrix}$$

$$\sigma^2(X'X)^{-1} = \begin{matrix} \underline{0,00000119330} & 0,0003859474 & 0,0000000176 & -0,0000001735 \\ 0,00038594740 & \underline{-1,0465022100} & -0,0000236067 & 0,0003701059 \\ -0,00000000166 & 0,0000236067 & \underline{0,0000000011} & -0,0000000210 \\ 0,00000001735 & 0,0003701059 & -0,0000000210 & \underline{0,0000007026} \end{matrix}$$

SIDELPA

Ecuación 4 - 21

$$\text{Ln } L/Q = a\,PMP - b\,\frac{1}{(PA/PMP)\times 100} + cM + dU$$

$$X^{*}X = \begin{bmatrix} 25850,000000000 & -2,1747513380 & 1197430,0000000 & 43270,00000000 \\ -2,174751338 & -0,0006994087 & -124,3407094 & -3,87997703 \\ 1197430,000000000 & -124,3407094000 & 57800535,0000000 & 2086429,07800000 \\ 43270,000000000 & -3,8799770300 & 2086429,0780000 & 76985,83105000 \end{bmatrix}$$

$$X^{*}Y = \begin{bmatrix} 1925,4336500000 \\ -0,2081996360 \\ 93135,8443200000 \\ 3342,8665280000 \end{bmatrix}$$

a= -0,0032490055

b= -0,2859,173177

c= -0,0020626066

d= -0,0112081576

SIDELPA

Ecuación 4 - 21 Pag.2

$$\text{Ln } L/Q = a\,PMP - b\,\frac{1}{100\,(PA/PMP)} + cM + dU$$

Ln L/Q Observado	Ln L/Q Esperado
3,452491	3,50024
3,4653700	3,35464
3,144553	3,18909
2,950847	3,01294
3,029939	2,97156
3,151418	3,17729
3,109676	3,14631
3,184856	3,13780
3,137322	3,17290
3,167918	3,16038
3,171907	3,16405
3,120966	3,11244
3,164482	3,16395
3,149883	3,13926
3,044039	3,04283

$\sum$ errores = 0,0000000332

$\sum$ errores^2 = 0,0295854567

$\frac{\sum \text{errores}^2}{n}$ = 0,0019723638

σ^2 = 0,0026895870

X^2 = 0,0091940608

$\sum$ esperados = 47,44566697

$\sum(\text{esperados})^2$ = 150,3018468

SIDELPA

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4 - 21 Pag.3-

$$R^2_{1.2.3...k} = \frac{\sum \hat{Y}^2_t}{\sum Y^2_t} = \frac{\hat{\beta}' X' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}' X' y = (-0,003249055 \quad -0,2859173177 \quad -0,0020826066 \quad -0,0112081576) \begin{pmatrix} 1925,433650000 \\ -0,208199636 \\ 93135,844320000 \\ 3342,866528000 \end{pmatrix}$$

$\hat{\beta}' X' Y = 150,3016372$ $\qquad (\sum Y)^2 = 2251,091314$

$$R^2 = \frac{150,3016372 - 1/15 \quad 2251,091314}{150,3018488 - 1/15 \quad 2251,091314} = \frac{0,2288829831}{0,2290925334}$$

$R^2 = 0,9990853028$ $\qquad \sqrt{R^2} = 0,9995425468$

SIDELPA

Intervalo de Confianza para σ^2

Ecuación 4-21 Pag.4

$$\frac{e'e}{X^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{X^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,0295854567}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,0295854567}{3,81575}$$

$$0,0013497015 < \sigma^2 < 0,0077536118$$

$$0,0013497015 < 0,002689587000 < 0,0077536118$$

SIDELPA

Matriz de Varianza Covarianza

Ecuación 4-21 Pag.5

$\sigma^2(X'X)^{-1}$

$$(X'X)^{-1} = \begin{pmatrix} 0,0008573760 & 0,2772925478 & -0,0000126660 & -0,0001246476 \\ 0,2772925478 & -751,88296190000 & -0,0169607545 & 0,2659108960 \\ -0,0000126660 & -0,0169607545 & 0,0000007871 & -0,0000150682 \\ 0,0001246476 & 0,2659108960 & -0,0000150682 & 0,0005048208 \end{pmatrix}$$

$$\sigma^2(X'X)^{-1} \begin{pmatrix} \underline{0,0000023060} & 0,0007458024 & 0,0000000341 & -0,0000003353 \\ 0,0007458024 & \underline{-2,0225463900} & -0,0000456174 & 0,0007151905 \\ -0,0000000341 & -0,0000456174 & \underline{0,0000000021} & -0,0000000405 \\ -0,0000003353 & 0,0007151905 & -0,0000000405 & \underline{0,0000013578} \end{pmatrix}$$

SIDELPA

Ecuación 4 - 22

$$\text{Ln } CH/Q = a\,PMP - b\,\frac{1}{(PA/PMP)100} + cM + dU$$

$$X'X = \begin{pmatrix} 25850,000000000 & -2,1747513380 & 1197430,0000000 & 43270,00000000 \\ -2,174751338 & -0,0006994087 & -124,3407094 & -3,87997703 \\ 1197430,000000000 & -124,3407094000 & 57800535,0000000 & 2086429,07800000 \\ 43270,000000000 & -3,879977 0300 & 2086429,0780000 & 76985,83105000 \end{pmatrix}$$

$$X'Y = \begin{pmatrix} -110,8010550000 \\ 0,0068618602 \\ -5825,0317190000 \\ -226,5172397000 \end{pmatrix}$$

a= 0,0089191232

b=-2,6791325400

c= 0,0001151816

d=-0,0109418960

SIDELPA

Ecuación 4-22 Pag.2

$$Ln\ CH/Q = a\ PMP - b\frac{1}{100\ (PA/PMP)} + cM + dU$$

Ln CH/Q Observado	Ln CH/Q Esperado
0,1202860	-0,05185
-0,054069	-0,15645
-0,301734	-0,30598
-0,409289	-0,47221
-0,357198	-0,50966
-0,405465	-0,18837
-0,639443	-0,21702
-0,328314	-0,22422
-0,435024	-0,12930
-0,324443	-0,14079
0,008785	-0,07664
0,048397	-0,12646
0,008785	-0,07573
0,044576	-0,09947
0,056735	-0,19326

Σ errores = -0,0010001495

$\Sigma (errores)^2$ = 0,5596309917

$\Sigma \frac{(errores)^2}{n}$ = 0,0373087328

σ^2 = 0,0508755447

X^2 = -3,7413202290

Σ esperados = -2,9674128510

$\Sigma (esperados)^2$ = 0,8477675121

SIDELPA

Coeficientes de Determinación y Correlación

Ecuación 4-22 Pag. 3

$$R^2_{1\ 2\ 3\ \ldots k} = \frac{\sum Y_t^2}{\sum Y_t^2} = \frac{\hat{\beta}' X' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}{Y' Y - \frac{1}{n} (\sum Y_t)^2}$$

$$\hat{\beta}' X' y = (0,0089191232 \quad -2,67913254 \quad 0,0001151816 \quad -0,010941896)$$

$$\begin{pmatrix} -110,8010550000 \\ 0,0068618602 \\ -5825,0317190000 \\ -226,5172397000 \end{pmatrix}$$

$$\hat{\beta}' X' Y = 0,8377271783 \qquad (\sum Y)^2 = 8,805539025$$

$$R^2 = \frac{0,8377271783 - 1/15 \quad 8,805539025}{0,8477675121 - 1/15 \quad 8,805539025} = \frac{0,2506912433}{0,2607315771}$$

$$R^2 = 0,9614916846 \qquad \sqrt{R^2} = 0,9805568238$$

SIDELPA

Intervalo de Confianza para σ^2

Ecuación 4-22 Pag.4

$$\frac{e'e}{\chi^2_{0,025}} < \sigma^2 < \frac{e'e}{\chi^2_{0,975}}$$

$$\frac{0,5596309917}{21,92} < \sigma^2 < \frac{0,5596309917}{3,81575}$$

$$0,0255306109 < 0,0508755447 < 0,1466653541$$

SIDELPA

MATRIZ DE VARIANZA COVARIANZA

Ecuación 4-22 Pag.5

$\sigma^2 (X'X)^{-1}$

$$(X'X)^{-1} \begin{pmatrix} 0,0008573760 & 0,2772925478 & -0,0000126660 & 0,0001246476 \\ 0,2772925478 & 751,8829619000 & -0,0169607545 & 0,2659108960 \\ -0,0000126660 & -0,0169607545 & 0,0000007871 & 0,0000150682 \\ 0,0001246476 & 0,2659108960 & -0,0000150682 & 0,0005048208 \end{pmatrix}$$

$$\sigma^2 (X'X)^{-1} \begin{pmatrix} \underline{0,0000941437} & 0,0304479528 & -0,0000013908 & -0,0000136869 \\ 0,0304479528 & \underline{-82,5600873500} & -0,0018623661 & 0,0291981969 \\ -0,0000013908 & -0,0018623661 & \underline{0,0000000864} & -0,0000016546 \\ 0,0000136869 & 0,0291981969 & -0,0000016546 & \underline{0,0000554316} \end{pmatrix}$$

ELASTICIDAD

Aceriás Paz del Río

4-11 $\ln K / Q = 0,0001206280\ PMP + 0,0909736531 \frac{1}{100(PA/PMP)} +$

$+ 0,0011838785\ M - 0,0403724759\ U$

$$\eta_{PMP} = 0,0001206280 \cdot \frac{720}{1,507826} = 0,0575984338$$

$$\eta_{PA/PMP} = \frac{-0,0909736531}{197,99} \cdot \frac{1}{1,507826} = -0,0003047342$$

$$\eta_{M} = 0,0011838785 \cdot \frac{1.955}{1,507826} = 1,53497981$$

$$\eta_{U} = -0,0403724759 \cdot \frac{26,54}{1,326465} = -0,8077751847$$

4-12 $\ln E / Q = -0,0008433675 PMP + 5,628445427 \frac{1}{100(PA/PMP)} +$

$+ 0,003233476\ M - 0,0254027529\ U$

PMP

$$\eta = -0,0008433675 \cdot \frac{720}{5,289745} = -0,1147927925$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{-5,628435427}{197,99} \cdot \frac{1}{5,289745} = -0,0053741585$$

M

$$\eta = 0,003233476 \cdot \frac{1.955}{5,289745} = 1,195037867$$

U

$$\eta = -0,066931638 \cdot \frac{26,54}{1,033946} = -0,131712864$$

5-13 $\text{Ln } L/Q = -0,0022479336 PMP + 0,7815492416 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} -$

$- 0,0029882068\ M - 0,0277181808\ U$

PMP

$$\eta = -0,0022479336 \cdot \frac{720}{3,608236} = -0,4485605132$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{-0,7815492416}{197,99} \cdot \frac{1}{3,608236} = -0,0010940021$$

$$\eta_{M} = -0,0029882068 \cdot \frac{1.955}{3,608236} = -1,619058258$$

$$\eta_{U} = -0,0277181808 \cdot \frac{26,54}{3,468479} = -0,2120931159$$

4-14 $\underline{Ln}\ H / Q = -0,0061833553\ PMP + 0,6280220995 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} +$

$+ 0,0036027403M - 0,066931638\ U.$

$$\eta_{PMP} = -0,0061833557 \cdot \frac{720}{1,0103083} = -4,40659135$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{-0,6280220995}{197,99} \cdot \frac{1}{1,0103083} = 0,0063436505$$

$$\eta_{M} = 0,0036027403 \cdot \frac{1.955}{1,0103083} = 6,97149305$$

$$\eta_{U} = 0,0036027403 \cdot \frac{26,44}{1,033946} = -1,71804492$$

SIDEMUÑA

$$4\text{-}15 \quad \text{Ln } K/Q = 0,0000933449\,PMP - 3,679430932 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} +$$

$$+ 0,0008171599\,M - 0,0187435425\,U$$

PMP

$$\eta = 0,0000933449 \cdot \frac{35}{0,881199} = 0,0037075297$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{3,679430932}{210,5} \cdot \frac{1}{0,843970} = 0,0207110227$$

M

$$\eta = 0,0008171599 \cdot \frac{1.964}{0,881199} = 1,821270841$$

U

$$\eta = -0,0187435425 \cdot \frac{42,86}{0,847298} = -0,9481295029$$

$$4\text{-}16 \quad \text{Ln } E/Q = -0,0034788066\,PMP + 1,293513037 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} +$$

$$+ 0,0043358776\,M - 0,0168379912\,U.$$

PMP

$$\eta = -0,0034788066 \cdot \frac{35}{7,670042} = -0,0158745195$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{-1,293513037}{210,5} \cdot \frac{1}{7,819103} = -0,00078589$$

M

$$\eta = 0,0043358776 \cdot \frac{1.964}{7,670042} = 1,110249932$$

U

$$\eta = -0,0168377912 \cdot \frac{42,86}{7,641621} = -0,0944390897$$

4-17 $$\text{Ln } L/Q = -0,031710349 PMP + 0,0851928163 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} +$$

$$+ 0,0027305764\ M - 0,0265463221\ U.$$

PMP

$$\eta = -0,031710349 \cdot \frac{35}{3,507936} = -0,3163381071$$

PA / PMP

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
BIBLIOTECA Y DOCUMENTACION
PROCESOS TECNICOS

$$\eta = \frac{-0,0851928163}{210,5} \cdot \frac{1}{3,538597} = -0,000114372$$

M

$$\eta = -0,0027305764 \cdot \frac{1.964}{3,507936} = -1,52877705$$

U

$$\eta = -0,0265463221 \cdot \frac{42,86}{2,958376} = -3,3845945766$$

4-18 $\text{Ln } Ch/Q = -0,0343104671 PMP + 3,268256174 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} +$

$+ 0,0011720722\ M + 0,0072641831\ U.$

PMP

$$\eta = -0,0343104671 \cdot \frac{35}{0,713626} = -1,682767092$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{-3,268256174}{210,5} \cdot \frac{1}{1,249435} = -0,0124265429$$

M

$$\eta = 0,0011720722 \cdot \frac{1.964}{0,713626} = 3,225708986$$

U

$$\eta = -0,0072641831 \cdot \frac{42,86}{0,947789} = -0,3284938817$$

SIDELPA

$$4\text{-}19 \quad \text{Ln } K/Q = -0,0018098646 PMP - 0,3894223072 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} +$$

$$+ 0,0007694874\ M - 0,0152208732\ U.$$

PMP

$$\eta = \frac{0,3894223072}{479} \cdot \frac{1}{0,311292} = 0,0026116643$$

M

$$\eta = 0,0007694874 \cdot \frac{1.963}{0,311292} = 4,852369371$$

U

$$\eta = -0,0152208732 \cdot \frac{70,20}{0,353822} = -3,019895028$$

$$4\text{-}20 \quad \text{Ln } E/Q = -0,0010803968 PMP - 13,69367586 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} +$$

$$+ 0,00406031M - 0,012994967\ U$$

PMP

$$\eta = -0,0010803968 \cdot \frac{40}{6,983578} = -0,0061802141$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{13,69367586}{479} \cdot \frac{1}{6,983578} = 0,0040936107$$

M

$$\eta = 0,004060415 \cdot \frac{1.963}{6,983578} = 1,141305838$$

U

$$\eta = -0,012994967 \cdot \frac{70,20}{6,984901} = -0,1306026647$$

4-21 $$\text{Ln } L/Q = -0,0032490055PMP + 0,2859173177 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} -$$

$$- 0,0020826066\ M - 0,0112081576\ U.$$

PMP

$$\eta = -0,0032490055 \cdot \frac{40}{3,184856} = -0,0408063033$$

PA / PMP

$$\eta = \frac{-0,2859173177}{479} \cdot \frac{1}{3,184856} = -0,0001874197$$

$$\eta = -0,0020826066 \cdot \frac{1.963}{3,184856} = -1,283623736 \qquad \text{(M)}$$

$$\eta = -0,0112081576 \cdot \frac{70,20}{3,149883} = -0,2497910759 \qquad \text{(U)}$$

4-22 $\quad Ln\ Ch/Q = 0,0089191232 PMP + 2,67913254 \cdot \frac{1}{100(PA/PMP)} +$

$+ 0,0001151816\ M - 0,010941896\ U.$

$$\eta = 0,0089191232 \cdot \frac{40}{-0,328314} = -1,086657675 \qquad \text{(PMP)}$$

$$\eta = \frac{-2,67913254}{479} \cdot \frac{1}{-0,328314} = 0,0170360648 \qquad \text{(PA / PMP)}$$

$$\eta = 0,0001151816 \cdot \frac{1.963}{-0,328314} = -0,6886745031 \qquad \text{(M)}$$

$$\eta = -0,010941896 \cdot \frac{70,20}{0,044516} = -17,25494427 \qquad \text{(U)}$$

Anexo Nº 1

PAZ DEL RIO: Producción e Insumos Históricos

Año	Producción Miles de Ton.	Cap. Inst. Miles de Ton.	Número de Obreros	M. de Hierro Miles de Ton.	Número de Profesionales	E. Eléctrica MWH.
1.966	155,2	280,0	4.864,0	639,8	1.306,0	15.434,0
1.967	158,8	280,0	4,783,0	885,6	1.255,0	20.775,0
1.968	155,8	720,0	4.704,0	578,3	1.207,0	21.436,0
1.969	200,8	720,0	4.640,0	352,3	1.190,0	21.948,0
1.970	198,1	720,0	4.724,0	453,3	1.208,0	22.540,0
1.971	210,5	720,0	4.736,0	370,4	1.139,0	28.824,0
1.972	186,9	720,0	4.690,0	390,8	1.135,0	31,392,0
1.973	159,4	720,0	4.764,0	439,0	1.118,0	31.608,0
1.974	188,2	720,0	4.817,0	444,2	1.130,0	33.096,0
1.975	191,1	720,0	5.007,0	537,4	1.125,0	32.616,0
1.976	175,3	720,0	5.997,0	497,7	1.130,0	36.936,0
1.977	162,9	720,0	4.998,0	459,9	1.130,0	31.121,0
1.978	208,1	720,0	4.850,0	433,5	1.128,0	41.356,0
1.979	180,4	720,0	4.725,0	397,7	1.130,0	33.252,0
1.980	202,6	720,0	4.817,0	471,1	1.129,0	32.125,0

FUENTE: Paz del Rio, Archivo Estadístico 1966-1980.

Anexo Nº 2

SIDEMUÑA : Producción e Insumos Históricos

Año	Producción Miles de Ton.	Cap. Inst. Miles de Ton.	Número de Obreros	Chatarra Miles de Ton.	Número de Profesionales	E. Eléctrica MWH.
1.966	3,8	20,0	213,0	25,0	53,0	18.633,0
1.967	5,8	20,0	223,0	24,0	56,0	16.284,0
1.968	8,2	20,0	218,0	26,0	44,0	16.715,0
1.969	8,0	20,0	314,0	30,0	48,0	16.963,0
1.970	7,7	20,0	316,0	33,6	48,0	17.513,0
1.971	8,6	20,0	295,0	30,0	65,0	21.394,0
1.972	11,1	35,0	272,0	20,7	74,0	25.865,0
1.973	14,5	35,0	394,0	29,6	90,0	31.076,0
1.974	15,0	35,0	220,0	38,7	69,0	31.249,9
1.975	15,9	35,0	204,0	40,2	63,0	37.253,4
1.976	22,7	35,0	220,0	44,3	50,0	32.362,5
1.977	20,3	35,0	215,0	42,5	52,0	31.121,2
1.978	23,0	35,0	223,0	43,2	60,0	33.527,5
1.979	23,9	35,0	226,0	44,7	64,0	34.428,7
1.980	26,9	35,0	224,0	46,0	58,0	38.567,2

FUENTE: SIDEMUÑA, Archivo Estadístico, 1.966 - 1.980.

Anexo Nº 3

SIDELPA : Producción e Insumos Históricos

6

Año	Producción Miles de Ton.	Cap. Ins. Miles de Ton.	Número de Obreros	Chatarra Miles de Ton.	Número de Profesionales	E. Eléctrica MWH.
1.966	13,3	30,0	345,0	15,0	75,0	15.434,0
1.967	17,1	30,0	440,0	16,2	107,0	20.775,0
1.968	21,5	30,0	401,0	15,9	98,0	21.436,0
1.969	26,2	30,0	413,0	17,4	88,0	21.948,0
1.970	27,3	30,0	476,0	19,1	89,0	22.540,0
1.971	27,9	40,0	528,0	18,6	124,0	28.824,0
1.972	29,0	40,0	512,0	15,3	138,0	31.392,0
1.973	29,3	40,0	571,0	21,1	137,0	31.608,0
1.974	30,0	45,0	574,0	20,0	138,0	33.096,0
1.975	31,4	45,0	617,0	22,7	129,0	32.616,0
1.976	34,0	50,0	673,0	34,3	138,0	36.936,0
1.977	36,3	50,0	678,0	38,1	141,0	38.247,0
1.978	34,0	50,0	669,0	34,3	136,0	36.954,0
1.979	35,1	50,0	676,0	36,7	143,0	37.915,0
1.980	39,4	50,0	681,0	41,7	146,0	40.987,0

FUENTE: SIDELPA, Archivo estadístico, 1.966 - 1.980.