

ra una serie de ensayos y reuniera sus resultados en ábacos, a los cuales pudieran acudir los constructores de obras que no dispusieran de laboratorio. En este caso, podría reducirse el material de ensayos en

las obras a un juego de tamices y una mesa de fluidez, elementos suficientes para determinar las mezclas convenientes y conservar sus características durante la construcción.

José NUÑEZ CASQUETE
Ingeniero de Caminos

Muro de hormigón armado para contención de terrenos corredizos

En el artículo publicado en esta misma REVISTA, en su número de 1.º de julio, por mi compañero don Juan José Santa Cruz, con el título «Los corrimientos de terrenos en la provincia de Granada en relación con sus obras públicas», al hablar de las obras que pueden ser soluciones para la contención de tales terrenos, cita el muro construido por mí en las obras del ferrocarril Granada-Sierra Nevada, con un resultado excelente hasta la fecha, según ya se dice en dicho artículo. Por si efectivamente pudiera ésta ser una solución, como yo creo, voy a describir dicha obra, por si puede aplicarse a algún otro caso análogo.

La presencia de terrenos corredizos es frecuentísima en la provincia de Granada, siendo el caso más importante, entre los presentados a lo largo del trazado del ferrocarril mencionado, el situado en las proximidades del pueblo de Pinos Genil. En dicho punto tiene emplazada la Compañía General de Electricidad de Granada una de sus casas de máquinas, casa que se halla ubicada entre el río Genil y un cerro de bastante altura, estribación de Sierra Nevada.



Fot. 1.ª Vista del desprendimiento y de la faja existente entre la fábrica y el cerro antes de la construcción del muro

Por necesidades del negocio, dicha Compañía tuvo que ampliar su casa de máquinas, haciéndole falta, por tanto, aumentar la explanación, para lo que desmontó el pie del cerro. Falto de la suje-

ción natural que le daban las tierras, el cerro empezó a andar hasta llegar a apoyarse en los muros de la fábrica, sobre los que llegaron las tierras a alcanzar una altura de 4 a 5 m. La Compañía General, sin atreverse a resolver el problema de frente, se limitaba a retirar durante el verano los desprendimientos caídos durante el invierno, dejando una faja de un par de metros entre el cerro y los muros de la fábrica, que, como es natural, se cegaba con los primeros temporales del invierno siguiente, con lo que quedaba más en peligro la fábrica, ya que la brecha se hacía cada vez mayor y más alta y el efecto dinámico de las tierras en su caída era cada vez más peligroso, llegando a alcanzar el corrido, pequeño al principio, las proporciones que aparecen en la fotografía 1.ª

El ferrocarril Granada-Sierra Nevada, obligado, por conveniencias ineludibles de su trazado, a pasar por encima del corrido, veía, por su parte, con gran inquietud, que el vértice del corrido, que al principio estaba a más de 100 m de su explanación, había avanzado, durante los inviernos de 1922 y 1923, tan rápidamente, que se encontraba a unos 25 m en la primavera del año 23.

En este estado las cosas, me fué encargada por entonces la dirección de las obras del ferrocarril, ocupándome en el acto de buscarle solución al problema, pues era indudable que, de seguir así, el corrido llegaría hasta lo alto del cerro, tragándose la explanación del ferrocarril en su marcha ascendente.

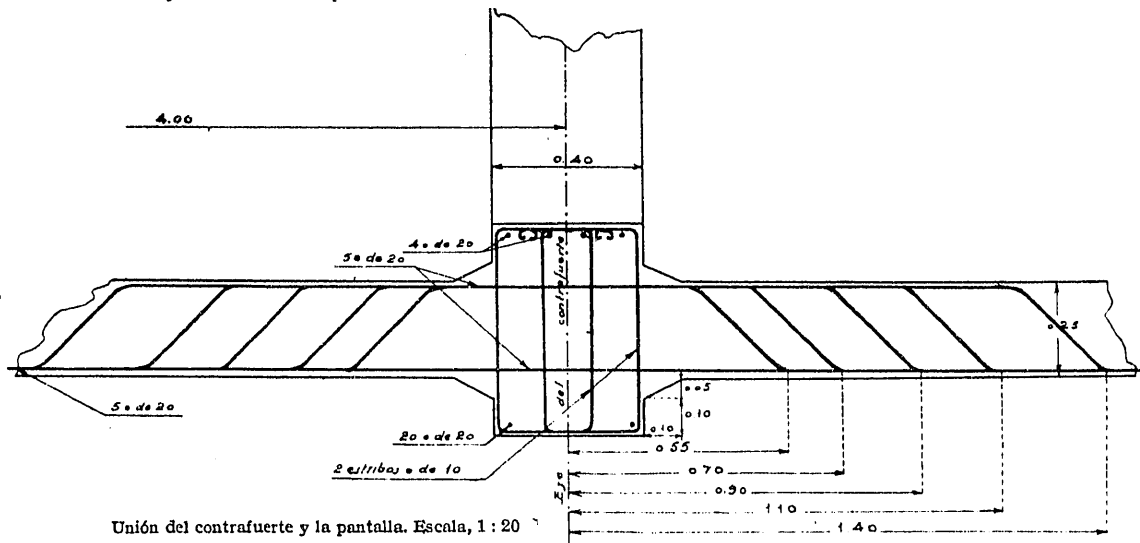
Hice, por de pronto, algunos sondeos, para ver la constitución del cerro, pudiendo comprobar que la capa de arcilla, tan plástica que apenas se mojaba era imposible andar sobre ella sin enterrarse hasta la rodilla, reposaba sobre otra capa de arcilla ya más dura y muy profunda, sobre la que resbalaba la primera en cuanto las primeras lluvias creaban entre las dos una vena de agua, que sólo desaparecía por completo en el rigor del verano. Saqué, pues, la consecuencia de que había, por lo menos, que atravesar la primera capa de arcilla, de 3,50 a 4 m de profundidad, y cimentar sobre la segunda, bien directamente o bien por pilotaje, y aun así, de modo a tener una presión unitaria muy reducida.

Con los datos recogidos, propuse a la Compañía General de Electricidad, con la que se convino hacer la obra a medias, una solución de muro de hormigón armado sobre pilotaje de madera, que tropezó con grandes dificultades para su aceptación, pues la citada Compañía General, fiel a la idea antigua de que la única manera de contrarrestar el empuje brutal de un terreno corredizo es el de oponerle una masa del mismo orden de materiales pétreos que resistan por su propio peso, proponía, a todo trance, un muro de mampostería de enorme espesor y peso. Me halaga hacer aquí constar cómo la experiencia y conocimientos de D. Juan José Santa Cruz, a cuyo juicio fueron sometidas ambas soluciones, se decidió desde el primer momento por la mía, comprendiendo que es más práctico aprovechar parte de la misma energía del corrimiento en vencerlo y equilibrarlo, transformando su acción por medio de un receptor adecuado, que oponerse a él por la fuerza.

La mayor seguridad del muro de hormigón armado sobre el de mampostería obedece a que un asiento desigual en la cimentación produce, por pequeño que sea, la ruina del muro de mampostería, ya que es un material que no presenta casi cohesión, mientras que el de hormigón armado, solidario todo él y capaz de trabajar a tracción, puede resistirlo en mejores condiciones. De la misma manera, un au-

que el muro de hormigón armado que reduce al mínimo los espesores, reduce también al mínimo los gastos de excavación y contención provisional de tie-

Justificadas ya a la ligera las ventajas del muro de hormigón armado, entraré en la descripción de la obra.

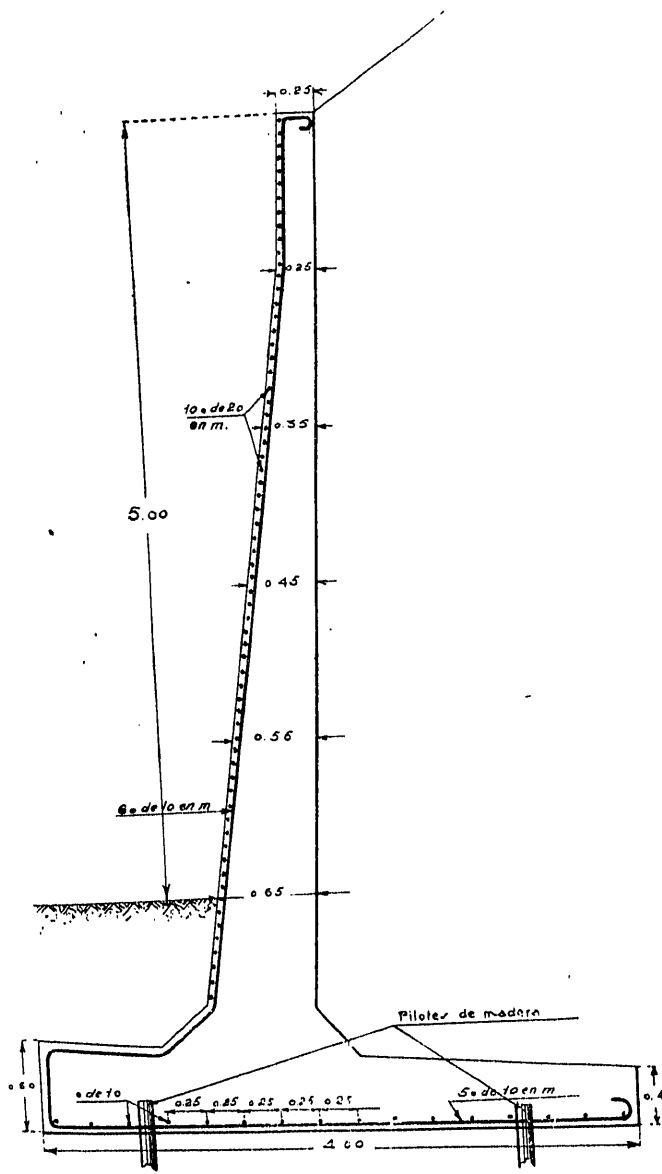


rras. Economía tan real e importante, que era ésta la partida que más pesaba en la solución del muro de mampostería.

Está formado el muro por una pantalla que recibe directamente el empuje del corrido y una superficie horizontal, constituida por basa y zarpa, que refiere la acción del muro al cimiento, unidas entre sí por contrafuertes, de modo a formar el todo un conjunto rígido. De este modo, el muro de hormigón armado resiste algo por su propio peso, pero su verdadero papel es el de un receptor, que de las dos componentes del empuje aprovecha la vertical (peso de la tierra sobre la basa) para formar un momento estabilizador que se oponga y equilibre el momento volcador debido a la componente horizontal del empuje de las tierras.

La pantalla se ha proyectado recta, para facilitar su construcción, y ligeramente inclinada sobre la basa, con lo que, si bien es cierto que se reduce algo el prisma de tierras estabilizador, se le da más rigidez al ángulo de unión con la basa. Su altura se ha fijado de modo a contener el terraplén de la vía del ferrocarril con su talud natural; empieza, como puede verse en el alzado, con una altura de 3 m y muere a cero, pasando por un máximo de 5 m.

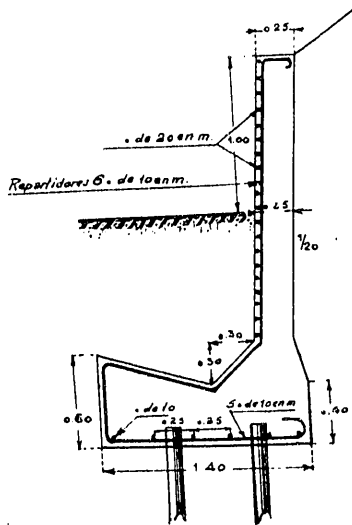
Teniendo en cuenta que la clase de tierras a contener es de tal naturaleza que pierden toda su consistencia en época de lluvias para convertirse en fango fluido, hemos supuesto cero al ángulo de rozamiento de tierras con tierras y calculada la pantalla como teniendo que resistir el empuje de un líquido de densidad igual a la de las tierras. Con esta hipótesis, que peca de prudente, y fijada una separación entre ejes de contrafuertes de 4 m, adopté, para todas las secciones de la pantalla, una armadura asimétrica constante, de 10 o de 20 en m, calculando los cantos de la pantalla por fajas de 1 m de profundidad, como vigas de 1 m de anchura, semiempotradas en los contrafuertes con coeficiente $\frac{1}{10}$ y sometidas a las cargas dadas por el triángulo de presiones. Los cantos así calculados varían de $c_1 = 22$ a $c_5 = 62$ cm, que implican peraltos de $p_1 = 25$ a $p_5 = 65$ cm. Las cuantías varían de $q_1 = 0,0142$ a $q_5 = 0,00303$. Y las cargas de trabajo oscilan entre 30 y 40 kg por cm^2 para el hormigón y 800 y 1 100 kg por cm^2 para las armaduras. Como armaduras de repartición se han dispuesto 6 de 10 en m. De los 10 longitudinales por m, 5 corren sin doblarse todo



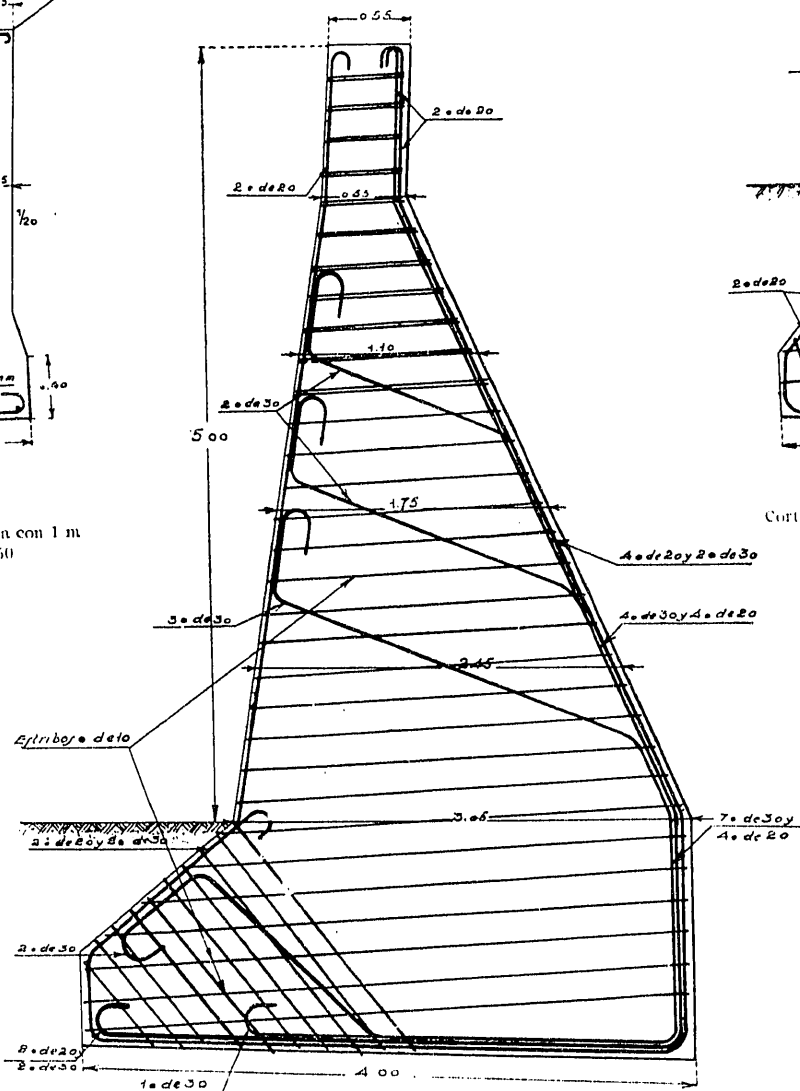
Corte transversal de la pantalla con 5 m de altura. Escala, 1 : 50

a lo largo del paramento exterior del muro, y los otros 5 pasan al paramento interior a las abscisas $\xi_1 = 1,40$; $\xi_2 = 1,10$; $\xi_3 = 0,90$; $\xi_4 = 0,70$ y $\xi_5 = 0,55$, contadas a partir de los ejes de los contrafuertes. Para espesor en la coronación, que teóricamente debía ser nulo, hemos adoptado el mismo de la sección a 1 m de altura. El paramento interior se ha construido con talud de $1/20$, y el exterior con el

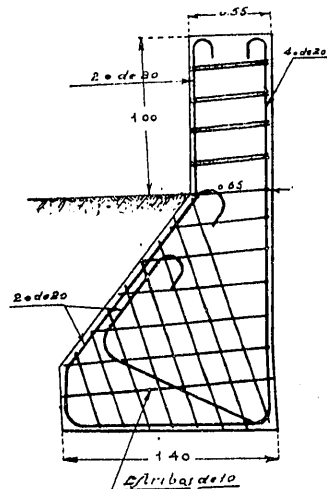
4 de 10 en m, calculándose los cantos, como vigas empotradas por un extremo en el muro, libres por el otro y sometidas a la reacción que le transmite el terreno; igual y contraria a la transmitida por el muro al suelo. Como armaduras transversales, he dispuesto 6 de 10 en m. La presión unitaria en el cimien-to, en la arista más cargada de la sección más desfa-vorable, ha resultado ser de 1,95 kg por cm^2 . La



Corte transversal de la pantalla con 1 m de altura. Escala, 1 : 50



Corte por el eje del 6.º contrafuerte. Escala 1 : 50



Corte por el eje del 9.º contrafuerte. Escala, 1 : 50

que resulta de la variación de peraltes, prolongándose, tanto uno como otro, con las mismas inclinaciones, hasta encontrar la basa y zarpa.

La basa tiene por objeto principal contrarrestar el empuje de las tierras con el peso que las mismas tierras ejercen sobre ella; por eso va aumentando desde 0,45 m, que tiene en la sección de 1 m de altura, a 2,20 m en la sección de 5 m. La zarpa tiene por objeto alejar la arista peligrosa al vuelco del centro de presiones. Y además, tanto una como otra, repartir la presión total sobre el terreno.

Para facilitar la construcción, se ha adoptado una zarpa constante de 1,10 m para todas las secciones y se ha dejado el cuidado de regular la presión unitaria sobre el terreno y el peligro al vuelco, modificando tan solo la basa, que se ha calculado de modo que para cada sección el peso del prisma de tierras que sobre ella insiste, compuesto con el propio de todo el muro, dé un momento estabilizador superior al volcador debido al empuje de las tierras, comprobando al mismo tiempo, que la presión unitaria en cada caso no excediera de unos 2 kg por cm^2 , que en este caso no era prudente superar.

Una y otra van armadas longitudinalmente con

carga del hormigón oscila entre 20 y 25 kg por cm^2 y la de las armaduras entre 800 y 900 kg por cm^2 .

Los contrafuertes se han colocado interiormente, para dejar libre el espacio entre la fábrica y el muro, sin tener que retirar éste hacia el corrido, así como para fraccionar el empuje del terreno sobre la pantalla, y adopté la separación de 4 m, después de dos o

tres tanteos, a fin de adoptar la separación más económica.

Los contrafuertes han sido calculados como vigas semiempotradas en su base y libres en su coronación y sometidas a la flexión producida por el empuje de las tierras, despreciando, por tanto, las componentes del empuje normales a las secciones de la pieza, ya que ésta, por tener su eje neutro inclinado con respecto a la dirección del empuje y tener que resistir a su propio peso, se halla sometida a flexión compuesta.

Adoptando un ancho uniforme de 0,40 m para todos los contrafuertes, a fin de facilitar la construcción, y con cantos de $c_1 = 0,52$ m; $c_2 = 1,07$; $c_3 = 1,72$; $c_4 = 2,42$ y $c_5 = 3$ m, que implican peraltes de $p_1 = 0,55$; $p_2 = 1,10$; $p_3 = 1,75$; $p_4 = 2,45$ y $p_5 = 3,05$ m, las secciones de armaduras neces-

rias son $a_1 = 6,48$; $a_2 = 11,4$; $a_3 = 25,4$; $a_4 = 40,2$ y $a_5 = 59,3$ cm, que las he formado combinando de 20 y 30 mm, como puede verse en las dos secciones que se acompañan de los contrafuertes 1 y 9. Formando los estribos con de 10 mm, hacen falta, adoptando una separación constante de 20 cm, dos órdenes de ellos en la región de las barras no dobladas, bastando uno solo en cuanto al doblarse las barras principales absorben parte de los esfuerzos tangenciales. Para facilitar la colocación de los estribos se han colocado en la parte anterior de los contrafuertes, dos de 20 mm. Exteriormente, y en las uniones con la zarpa, he dispuesto una fuerte cantonera, que refuerza considerablemente la unión y no estorba en absoluto, puesto que va debajo del piso. Esta cantonera va armada con las prolongaciones de las barras principales convenientemente dobladas y con estribos de 10 mm.

El muro va cimentado sobre pilotes de madera de 2,50 m de altura y 20 cm de diámetro, dispuestos en dos filas y al tresbolillo. Las cabezas de los pilotes van 20 cm encepadas en el hormigón de la basa y zarpa y ligadas a sus armaduras. De esta manera, la presión se transmite a la capa de arcilla más dura, a la vez que se aumenta considerablemente la resistencia al vuelco y se impide el corrimiento horizontal de todo el muro.

Completan la obra una zanja de saneamiento de piedra en seco que corre por detrás de todo el muro, que recoge las aguas subálveas y las hace salir al exterior por sus extremos y por mechinales hechos a través del muro, y una plantación de eucaliptus hecha en toda la quiebra, con objeto de fijar y sanear el terreno.

La excavación se empezó el 20 de agosto de 1923 y la obra quedó terminada el 14 de octubre del mis-

mo año. Las primeras lluvias invernales de noviembre y diciembre de aquel año las resistió, por tanto, al mes escaso de haberse terminado algunos entrepaños, y el temporal extraordinario de enero, febrero y marzo, que produjo el célebre corrimiento de Monachil, lo resistió con un éxito completo; el fango, formando una masa flúida, saltó por encima del muro, que resistió como una verdadera presa ahogada (fot. 2.^a). Es convicción mía, sacada de los destrozos que he visto de otras obras de mampostería, que si este muro se hubiera hecho de fábrica no hubiera resistido el fortísimo temporal de este año.

Se emplearon en la obra 8 650 kg de hierro y 40 toneladas de cemento. La excavación, contando la de emplazamiento, costó 3 180 pesetas; las armaduras, dobladas y colocadas, 7 093 pesetas; el cemento, 5 200 pesetas; la madera para moldes y entibaciones, 3 231 pesetas, y la mano de obra del conjunto, 6 976 pesetas, que hace un total para el coste de la obra de 25 680 pesetas.



Fot. 2.^a El muro construido. Vista tomada después de los temporales de enero, febrero y marzo

Carlos MORALES LAHUERTA
Ingeniero de Caminos

La Conferencia internacional de la Energía (World Power Conference)

Ha sucedido a la guerra un malestar general, que se revela en todos los órdenes de la vida, y muy especialmente en la esfera económica, en gran parte causa y siempre reflejo del entero conjunto de las actividades sociales. No se trata sólo de las pérdidas considerables de riqueza y de los enormes consumos improductivos, fatales consecuencias de la labor destructora; con ser tan cuantiosos, ceden tal vez en importancia a tantos valores morales como la terrible conmoción ha puesto en peligro al someter a prueba principios secularmente aceptados como insustituible fundamento de todo orden social, pues si por lo general la riqueza vincúlase especialmente en cosas materiales, su producción viene en gran parte condicionada por estímulos de orden psicológico, en relación estrecha con nuestras concepciones morales.

De aquí las dudas y vacilaciones de la hora presente y el general anhelo de reaccionar contra los males que se sufren y de buscar a los mismos un remedio eficaz.

Ahora bien: desde el punto de vista económico, es evidente que este remedio no puede encontrarse sino en un aumento de la producción, el cual parece a su vez exigir una intensificación del trabajo; pero al

mismo tiempo avasalladoras corrientes de opinión, que tienden cada vez más a traducirse en leyes con fuerza y carácter internacionales, parecen oponer un obstáculo a aquella intensificación, obstáculo tanto más formidable cuanto que viene reforzado por el estado de ánimo del obrero, poco propicio a compensar con una mayor eficacia las limitaciones impuestas por la legislación protectora del trabajo; de modo que el problema preséntase como insoluble, dentro de los términos en que se le plantea, y parece exigir cambios profundos de opinión, que habría de traer necesariamente el tiempo, de no estar destinada nuestra civilización a extinguirse y desaparecer por el agotamiento de los principios que hasta aquí le dieron vida y esplendor, y de cuya savia todavía se nutre.

Esta reacción salvadora podrá esperarse en parte del apaciguamiento de las pasiones y de un más íntimo y claro sentido de la solidaridad social, que, hasta cierto punto, podría ser la obra de moralistas y sociólogos; pero ni los efectos de la predicación ni los imperativos de la ley suelen bastar para calmar hondos anhelos de mejora, que sólo nuevos triunfos sobre la naturaleza conseguirían aliviar, mediante el equitativo reparto de las ventajas conquistadas por la