Introductory report

Objekttyp: **Group**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **6 (1970)**

PDF erstellt am: **29.04.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

II

RAPPORT INTRODUCTIF / EINFÜHRUNGSBERICHT / INTRODUCTORY REPORT

C.F. CASADO
Professor de Puentes
E.T.S.I.C.C.P. Madrid
Espagne

INTRODUCTION

Les trois phénomènes qui nous occupent: changement de température, retrait et fluage, se caractérisent par des variations de volume, c'est-á-dire par des variations de dimension et de forme des éléments estructuraux. Leur reconnaissance, d'abord, et l'étude des conditions dans lesquelles ils affectent nos structures, - après, se sont développés dans le même ordre dans lequel nous les avons énumérés, car l'ingénieur avait été instruit des variations de température par les structures métalliques, et le retrait se - manifeste vigoureusement dans les premiers jours de vie du béton, tandis qu'il est difficile d'observer le fluage lent sous des -- charges, lorsque celui-ci se produit peu à peu et reste masqué -- par le retrait ayant lieu simultanément.

L'héritage des structures métalliques a été très effectif -- pour les variations de température, car, bien que les coefficients de dilatation thermique de l'acier et du béton soient presque -- égaux (ce qui a été une condition sine qua non pour la réalisation du béton armé), la moindre inertie thermique des structures métalliques fait que celles-ci accusent le phénomène avec plus de virulence. Il a été nécessaire de modifier les points de vue en ce qui concerne le rapport rigidité-résistance des éléments verticaux (comme c'est le cas des piliers élancés) et l'énergie thermique mise en jeu particulièrement dans le cas des couvertures.

Le retrait, quoiqu'il s'avère spontanément, n'était pas dans l'idée des ingénieurs, habitués à l'imperturbabilité des maçonneries, car le béton, bien qu'il soit employé depuis les temps des Romains, était élaboré à base de liants à faible activité chimique et réduit en dimensions, ou confiné entre des maçonneries de moellons ou en pierre de taille.

Par contre, le fluage lent sous des charges est un phénoméne qui est passé inaperçu au début, et a été, en collaboration avec le retrait, la cause pour laquelle les premières tentatives de réaliser la précontrainte ont complétement échoué . Il a fallu s'habituer á l'idée que tout élément en béton soumis à des actions externes permanentes, non seulement il subit une déformation initiale, qui met quelques heures à se produire, mais aussi, pour le simple fait que les charges persistent, il continue à se déformer lentement, pendant des années, jusqu'à ce que le béton ait un certain âge (environ cinq années, pouvant se réduire à deux ou trois pour les applications pratiques). L'observation du phénomène etait difficile du aux conditiones de présentation, et dans l'analyse experimental il faut tenir compte a deux cas extremes: réalisation a longeur de pieçe constant, et réalisation a effort total constant.

Les résultats correspondant à l'intervention des caractéristiques objet de notre étude se traduisent, comme nous l'avons dit, par des variations de volume qui, d'abord, n'auront pas une importance structurale pour les variations thermiques ou le retrait, si elles ne sont pas limitées par les supports, tandis que les choses sont plus complexes pour le fluage, même dans des conditions d'isostatisme, puisque il'y a touyours une redistribution d'efforts entre le béton et l'acier quand il s'agit du béton armé, lequelle est beaucoup plus compliqué, par le fait des pertes de prècontrait dans les piéces avec armatures actives. Mais ce en quoi les deux autres différent, c'est de donner lieu à des efforts complémentaires si la structure est hyperstatique. Dans le fluage ces efforts n'ont pas lieu, a moins qu'il se produise un changement dans le type structural, ou bien, qu'on ait a considérer les efforts de second ordre dûs au changément de forme.

Bien que le développement des phénomènes n'aie pas importance structurale directe dans le cas des structures isostatiques, c'est précisément le fait d'assurer que cet isostatisme soit

effectif, qui revêt une grande importance, et des dispositions convenables seront à prendre afin d'en rendre le fonctionnement approprié aux suppositions du calcul. C'est là le probléme de réalisation des joints et des articulations qui, d'ailleurs, ne doivent pas perturber les conditions d'emploi de l'ouvrage.

Dans le cas du fluage, face à l'activité qui caractérise l'intervention des deux autres causes, il existe une passivité qui se manifeste par le fait de céder à l'action des charges. Les déformations augmentent progressivement et se maintiennent entre elles dans les mêmes proportions si le fluage linéaire est admis, arrivant même à quintupler avec le temps. Ces déformations peuvent, par elles-mêmes, annuler l'ouvrage, ou en perturber le fonctionnement, et enlaidissent en tout cas son aspect si les précautions opportunes ne sont pas prises.

Pour analyser les problèmes de fluage, nous pouvons envisager ces déformations dans le cas général de piéces courbe comme un reccourcissement de la directrice en ce qui concerne la compression longitudinale et comme une redistribution de rotations qui augmente fléches dans les sollicitations de flexion. Ces augmentations successives des flèches sont très dangereuses s'il existe une compressión longitudinal simultanée et si nous sommes près de l'instabilité élastique, du fait qu'elles peuvent provoquer le flambement des pièces. C'est le cas des arcs et piliers tres élançés.

Un cas intéressant pour notre thème est celui du réajustement des flexions dues à un état de déformations produites par des tassements différentiels des appuis, ou provoquées par l'ingénieur visant à améliorer les conditions de travail définitives de la structure. Comme, dans les deux cas, le développement du fluage donne lieu à une relaxement de l'état tensionnel initial, il sera favorable dans le second cas produit naturellement, et défavorable dans le premier cas, car, alors, il s'opposera à nos fins.

Le fluage devienne aussi favorable dans le cas de pièçes en béton armé chargés en compressión, puisque si l'acier est dans sa phase elastique, le cédiment du béton par fluage, entrainne une augmentation de la partie de charge correspondante a l'acier, du fait de l'egalité de la deformation d'ensemble. Cette redistribution des efforts, conduite a une meilleur utilisation de lacapacité resistant de l'acier, puisque, si le mechanisme esquissé continue celui-ci atteindra son limite elastique.

Quant aux problémes de fluage de l'acier, nous attirons --- l'attention sur l'importance des étriers y cercos et des enrobages aux pièces fortement chargées pour éviter le flambement local des barres dans le béton. Pour ce qui est du fluage en traction - ou relâchement, il importe seulement lorsque l'acier travaille -- près de sa limite élastique, comme c'est le cas des éléments précontraints. Comme la durée effective de ce phénomène est beaucoup plus réduite que celle du fluage du béton, son importance est -- moins grande, et il est très effectif, pour la réduire au minimum, de procéder à la remise en tension des armatures si le systéme -- appliqué le permet, dans l'instant le plus éloigné possible de la mise en tensión initiale; c'est ainsi donc que les pertes tant de l'aceir que du béton produites jusqu'à ce moment sont éliminées.

Les effets hyperstatiques sont toujours défavorables dans -- les deux premières actions, parce que s'ils sont favorables dans certaines zones, il n'est pas alors possible de compter toujours sur eux et il existe, en plus, une polarité de sens dans les variations thermiques, tendis que ceux de fluage peuvent, comme -- nous l'avons vu, être favorables dans le cas de tassement différentiel des appuis.

Leur importance relative dans l'ensemble des actions sollicitant une structure a été la pierre de touche dans la premiére décisión à prendre par tout projeteur de structures: isostatisme ou hyperstatisme. Dans une première optique lorsque le calcul -- était peu développé ainsi que la techique des fondations, la préférence pour les structures isostatiques était très marquée. Des effets désastreux s'y manifestaient à cause des fissurations et - du mauvais entretien des structures continues construites dans la premiére époque d'aprés une mentalité de monolithisme uni à la -- continuité. Il a fallu passer à une autre mentalité de subdivisión en parties et de limitation des dimensions, favorisée par la préfabrication, et qui a donné lieu à l'apparition du joint. Mais ce lui-ci est un élément faible qui compense en partie les avantages positits de l'isostatisme en bon nombre de cas. D'autre part, -- l'effet favorable du fluage en tout état des déformations, produit dans la structure d'une manière naturelle, comme c'est le -- cas des tassements des appuis, a posé à nouveau le problème des - derniers temps, lorsqu'il a éprouvé, par surcroit, une notable -- amélioration la technique des fondations. D'ailleurs il n'existe

pas aujourd'hui l'autre obstacle que était la difficulté du calcul des structures hyperstatiques, car, si compliquées qu'elles soient, elles sont résolues grâce aux ordinateurs électroniques.

Nous allons passer reviste aux dispositions de project et - precautions qu'il faut prendre dans les types de structures plus usuelles, mais en avant nous ferons quelques remarques generales au point de vue de la construction.

La prefabrication a une grosse avantage, du a la reduction des effects de retrait et du fluage, puisque le developement de ces phenomens dans une premiere phase (la plus active) ne produit pas des contraintes apreciables.

La disposition de joints temporaires, pour obtenir une premiere étape de comportement isostatique c'est tres interesant -- pour notre probleme de reduction des effects. Dans les archs des ponts on de converture, c'est classique commancer par un système a trois articulationes, que sont bouclés au dernier moment.

Dans un grand nombre de cas il s'agit d'une structure evolutive que començe isostatique avec des elements prefabriqués de - moindre poids et resistance, que devienne en differents etapes,- par adition d'autres parties construites "in situ", arrivant au - final a une structure composite hyperstatique.

Il faut estudier la redistribution des contraintes dûes au retrait et fluage, entre les differents elements.

Un cas examplaire de la difference de comportement d'une même structure construite par deux systèmes diferents, correspond - aux ponts precontraintes construits par encorbellements successives, avec char et betonnage "in situ", ou par voussoirs prefabriqués. Dans le premier cas le béton est mis en charge a moins d'une semaine d'age, par son poid propie et une precontrainte partielle Dans le second case l'age de mise en charge des voussoirs est -- presque toujours superieur au mois. L'evolution des deformationes et de la redistribution des contraintes doivent être tres differents dans les deux cas. Dans certaines ocassions il'y'a aussi un changement dans le type structural.

REVETEMENTS

Les structures que nous pouvons considérer comme étant les plus simples sont les revêtements rutiers et ceux des aéroports. Les premiers revêtements mis au point ont été en béton, suivis -

par ceus réalisés en béton armé, et complétés, en dernier lieu, par ceux exécutés en béton précontraint. Les premières applications effectuées vers le milieu de la deuxième décennie de ce -- siècle ont mis en relief les conséquences du retrait, en donnant cours á ce phénomène dans une disposition structurales ayant une surface importante en contact avec l'atmosphère. L'apparition de fissures orientées principalemente en direction transversale, -- avec quelqu'une presque continue en direction longitudinale et - d'autres en directions irrégulières, ont imposé leur classement préalable suivant un modèle comportant des joints transversaux, auquel s'ést ajouté après un joint longitudinal qui était conforme à la division du trafic.

Dans les années successives, on a étudié des distances entre les joints transversaux et leur disposition pour éviter, autant que possible, les troubles dans le trafic et pour en assurer l'étanchéité, permettant l'ouverture et la fermeture correspondantes au retrait et au cycle thermique. Plus tard, des joints spéciaux ont été créés pour la dilatation, la contraction et même le voilement. L'introduction d'armatures, sous forme, de grille de barres a amélioré les solutions permettant d'augmenter -- les distances et de parvenir même à des revêtements presque continus. L'effet le plus important est celui du retrait et de la - baisse de tempétature que est résolu en disposant de joints de - coupe incomplètes, introduits dans un bétonnage continu par interposition préalable d'un élément séparateur, ou bien en les -- sciant lors du premier durcissement. C'est ainsi qu'est établie la condition de bords nivelés et d'étanchéité par l'existence -- d'ouvertures très faibles sur une partie de l'épaisseur.

Finalement, nous avons les revêtements avec des unités actives, dans lesquels la précompression du béton résout presque -- tous les problèmes de fissuration et d'élimination de joints, -- mais dans certaines cas la fluage et la disminution de temperature, peuvent reduire extraordinairement la efficacité du systeme.

Les effects de dilatation que produisent des compressions - tout au long du revêtement ne pourraient donnerlieu qu'à un flambement de celui-ci tout en relevant ses bords, comme c'est le -- cas courant des revêtements des trottoirs urbains. Mais, étant - donné l'épaisseur et, par conséquent, le poids d'un revêtement routier ou d'aéroport, ce phénomène est à peine probable, du -- fait, d'ailleurs, que l'augmentation de longueur propre à l'in-

curvation ascendante de la dalle freine automatiquement la pro-- duction de ce phénomène.

PONTS

Ce sont les ponts que ont soulevé un débat plus important à propos de l'isostatisme ou hyperstatisme des structures. Les problèmes se posent avec le maximun d'ampleur de dimensions et de - charges, mais, en plus, avec la caractéristique spéciale du passage de véhicules rapides et lourdes, dont les roues agissent - directement sur le tablier en battant toutes les discontinuités qui altèrent la surface du revêtement.

Les points clé on été les suivants: du côté du calcul les - tassements différentiels des appuis, et du côté de la construction, les joints du tablier. Les décisions dans une ou outre direction on été affectées par l'évolution tant des processus de - calcul que des processus technologiques et, très particulièrement, de ceux que correspondent à l'exécution des fondations. En fin de compte, el s'agit, comme toujours, d'un problème économique, dans lequel il faut tenir compte des frais d'entretien et - évaluer les améliorations effectives dans le service.

Du point de vue contructif, comme le processus d'un pont important dure quelques mois et que le béton perd, au cours de cette période, son activité rétractive, ainsi que la capacité de - fluage, il est très important de créer des structures évolutives qui commencent à fonctionner isostatiquement et qui, seulement - au moment le plus proche possible de leur mise en service, deviennent hyperstatiques. On y parvient donc en laissant des articulations provisoires qui sont fermées à ce moment.

Nous allons analyser ensuite les modalités que se présentent lors de la consideration des ponts en arc et à travées droites.

PONTS A TRAVEES DROITES

Pour ce type de ponts, nous avons, face à la solution isostatique des travées simplement appuyées à travée indépendante -- par portée, les structures hyperstatiques à travées continues, - le portique simple d'une portée et les solutions dégénérées du portique multiple. Cést precisément l'inadaptation de ce dernier type structural qui est due au fait que les variations thermiques de la traverse introduisent, dans les piles et culées solidaires, des flexions tellement importantes qu'elles dépassent d'une

manière ecrasante l économie qui pourraient être réalisée par - la solidarité des élements. Les structures de ce type de ponts que nous appelons dégénérées sont: Le portique en π, la cellule en T appuyée simplement sur les extrémités et la succession de cellules en T unies par des articulations glissantes. Ces -- deux dernières variations ne seront pas affectées, dans leur - comportement structural, par les changements thermiques, pourvu que des articulations et des joints soient disposés afin que - les dilatations et les contractions se réalisent librement. La traverse continue jouit également de la même immunité.

Toutes les solutions hyperstatiques que nous avons énoncées ont été entravées par la menace des tassements différentiels des appuis et il a fallu, comme nous l'avons déjà indiqué procéder à l'étude du fluage tant dans le béton que dans les argiles, afin de réduire les choses à leur propre limite.Lorsqu'il s'agit de terrains sableux, dans lesquels les tassements se produisent presque d'un seul coup lorsque le terrain est chargé -- quand a la construction, les contraintes qui en résultent ne dépassent pas la dixième du valeur initial, la réduction étant - plus petite, de 50 à 60%, quand le terrain est fondamentalement argileux et que le tassement se développe graduellement á cause du fluage des argiles.

Nous avons déjà signalé que ce mécanisme d'adaptation conduit à des résultats défavorables lorsque l'état de déformation est introduit par nous, par exemple, en élevant à l'aide de vérins une série d'appuis, la neutralisation s'opposant á notre - but. C'est là un procédé qui a été parfois employé pour améliorer les conditions de flexion etablies, ou bien pour ramener - les conditions de continuité à charge permanente, lorsque les - tabliers ont été constuits à l'aide de poutres préfabriquées - ayant la même longueur que la portée et qu'ils son solidarisés après leur mise en place.

L'avantage de la travée continue sur les travées simples - isolées a toujours résidé dans l'économie réalisée par la réduction de poids et par la compensation de flexions. Mais au fur - et à mesure que l'importance du trafic s'accroît un nouveau facteur s'y est ajouté: c'est l'économie dans le nombre de joints, de deux seulement pour la travée continue, à deux par portée -- pour la travée isostatique. D'autre part, un avantage, celui de permattre la construction par prefabrication, qui était attri-

bué à ces dernières en portées moyennes, peut être utilisé, comme nous l'avons déjà indiqué, pour les travées hyperstatiques en assurant leur continuité après leur mise en oeuvre.

Une autre des exigences de deux phénomènes, retrait et variations thermiques, est celle d'articuler les pieds au portique simple surles portées importantes obtenues grâce à l'utilisation de la précontrainte. Cela, en plus, annule les effets de tassements différentiels lorsqu'ils se produisent verticalement. Ces deux avantages ont donné lieu à un nouveau type dans cette structure, car la silhoutte triangulaire qui correspond aux piliers - articulés, décomposée en deux cordons, l'un vertical à la compression et l'autre incliné à la traction (celui-ci réalisé en unités actives), a donné naissance à la traverse appuyée sur des cellules triangulaires. Ce type, conçu par Finsterwalder avec la - cellule en équerre que nous avons décrite, s'est généralisé pour des triangles dont les cotés ont les inclinaisons les plus appropriées aux conditions d'appui. Ces éléments avec une rigidité si faible, pratiquement nulle dans celui de traction, et avec la -- possibilité d'obtenir le même pour celui de compressión en disposant des articulations à leurs extrémités, réduisent extraordinairement les effets thermiques. conservant l'immunité déjà signalée pour les tassements verticaux.

La réalisation de joints et d'articulations a considérablement évolué avec l'application des produits élastomériques, résines synthétiques et chlorures de polyvinyle. Pour les joints extrêmes, nous avons les solutions des ponts métalliques, où le -- jeu de dilatations et de contractions est beaucoup plus important, parmi lequelles la plus utilisée étant le joint à double - peigne, et les solutions proprement dites de ponts en béton à -- éléments tubulaires souples entre des réglettes métalliques dont le nombre s'adapte à l'ouverture à réaliser. La plus simple consiste a interposer un produit élastique qui, mis en plaçe a l'état visqueux, se durcisse après et reste parfaitement adhéré aux surfaces du béton.

La mise au point de joints efficaces pour des tabliers de - ponts a été résolue au cours de ces dernières années à cause de la pressión du trafic aux autoroutes des divers pays, dont l'entretien posait des problèmes importants. Ce sont des éléments -- coûteux, bien qu'ils ne représentent pas un enchérissement pour

le total du budget, mais l'amélioration du service impose la réduction du nombre de joints qui marquera un nouveau point favorable aux structures hyperstatiques.

Les articulations qui ont également hérité des solutions développées aux ponts métalliques, comme celles à rouleau types -- glissants, ont eu, en seconde étape, des solutions propres au béton armé, comme celles d'étranglement de la section dans celles à rotation et les bielles par double étranglement, ou des piliers à béquille, dans celles glissantes.

Actuellement, les systèmes d'articulationes d'une traverse continue répondent, soit à la disposition classique d'une articulation de rotation et les autres de glissement, soit à celles de toutes homogènes permettant des rotations et des glissements en toute direction. Dans le premier systéme classique, l'articulation fixe transmet toute la poussée du freinage et des actiones sysmiques et tous les autres piliers restent libres d'effets dus à la température. Dans cet cas pour y parvenir d'une manière presque parfaite, nous avons les articulations mixtes en néoprène -- pour les rotations et en tefflón pour les glissements. Par contre, les articulations homogènes en néoprène facilitent la rotation parfaite et ont une capacité limitée pour les glissements. C'est ainsi qu'à elles toutes, elles absorbent les efforts de -- freinage, mais elles sont affectées par des variations thermiques et résistent aux efforts de tous les deux par distorsion en fonction de leur épaisseur. Mais il est très important de souligner que dans les deux cas tant les rotations que les glissements peuvent s'effectuer suivant n importe quel axe ou quelle direction sur le plan de l'articulation, ce que est fondamental pour les ponts courbes ou de grande largeur.

Dans les solutions structurales de portiques dégénérés avec des piliers solidaires de la traverse, les pieds de ceux-ci sont encastrés dans des fondations dans la plupart des cas, mais ils peuvent être également articulés de diverses façons. L'une d'elles est l'articulation de rotation assuré par étranglement de la section que se prolonge transversalement, avec des goujons ou avec une plaque de néoprène et, quand les charges transmises sont -- très fortes, l'extrêmité du pilier est garnie d'une recouvrement en tôle d'acier inoxydable. On peut également procéder à l'articulation glissante avec rotation, grâce au systême de bielle in-

tercalée, ou bien glissante avec encastrement à l'aide de jeux - de rouleaux permettant le déplacement de toute la section inférieure, mais non la rotation.

Bien des fois, quand la rigidité du pilier est réduite à-- cause de sa grande hauteur, il peut être encastré en traverse et semelles, car, pour cette cause, il ne prendra pas de flexión -- appréciable de la traverse, ni les déplacements de celle-ci ne - lui en produiront, non plus pour variations thermiques.

Pour la construction de ponts précontraints de grandes portées, cas extrême ceux à éléments en T realisés par encorbellements successifs, il est nécessaire d'étudier très soigneusement l'évolution des flèches tant au cours de l'exécution que jusqu'à la disparition du fluage afin d'adapter progressivement la directrice pour arranger la situation définitive. Cela exige des calculs iteratives compliqués, pour lesquels soit pris en compte - tout l'historique des sections successives bétonnées tant en ce qui concerne l'évolution du module de deformation que l'introduction successive des charges. Ces calculs peuvent être effectués avec toute la précision nécessaire grâce à l'ordinateur électronique.

PONTS EN ARC

En ce qui concerne les variations thermiques, cette structure fut l'objet d'une grande attention de la part des ingénieurs nord-américains qui se sont vivement occupés de l'interdépendance arc-tablier (années 1930-1934). On a étudié, du point de vue théorique et profitant des expériences en modèle réduit, d'arcs simples et composés de ponts à l'Université d'Illinois, et même de quelque expérience directe sur des ponts à être démolis, quel était le comportement optimal de cette structure complexe lors - de la considération des variations de longeur de tous ses éléments. On a essayé divers systèmes de joints tant en traverse -- qu'en piliers, types d'union d'arc et traverse dans la zone centrale et influence des rigidités relatives des deux éléments. On n'en est pas arrivé à des conclusions définitives, mais, vu à la lumière des connaissances actualles, la faible rigidité de piliers relativement à arc et traverse, fait que ces éléments prennent peu de flexión pour toutes les sollicitations, y compris - les variations de longeur d'eux tous, et que la collaboration --

d'arc et traverse ayant une continuité totale est la meilleu solution dans tous les cas. Les seules prévisions consistent à - assurer des piliers à béquille immédiats à la clêf si la rigidité correspondant à leur courte longueur peut y produire la cisaillement.

Quant au retrait, le programme constructif peut diminuer -- grandement ses effets. La construction se fait toujours par -- voussoirs longs et une solution intéressante sous cet aspect consiste à mettre en place des voussoirs courts préfabriques comme au pont de Parramata.

La disposition de joints pour fermer lors de la derniére -- phase de construction de l'arc est traditionnelle. Sont toujours classiques les joints de clé et de naissances pour commencer la structure avec isostatisme d'origine qui neutralise les effets - de retrait jusqu'au moment du décintrement. Cela permet, d'ailleurs, le décintrement à l'aide de vérins sur la clé qui séparent graduellement du cintre les deux moitiés de l'arc, déjà en mesure de fonctionner en tant que tel.

L'autre intervention sur l'arc lors du décintrement est celle de l'utilisation des mêmes vérins pour l'introduction de déformations sytématiques provoquant un état tensionnel pour améliocer les conditions de travail dans l'usage de la structure. - Comme nous l'avons déjà averti au cours de l'introduction, les - effets de cette intervention restent extraordinairement réduits en raison du développement du fluage. Par conséquent, si nous désirons obtenir le résultat recherché avec une seule action en -- origine, il faudrait augmenter considérablement la quantité des déformations initiales, ce qui produirait la sollicitation de la structure à l'origine d'une manière incompatible avec sa modalité définitive de travail. Ce que convient est d'agir par phases successives au delai de plusieurs mois afin de restaurer les -- pertes qui se succèdent au cours du processus de fluage. C'est - là le cas du pont de Parramata.

Pour le fonctionnement de l'arc en tant que structure soumise à des compressions importantes et avec des déformations transversales que le fluage augmente, la précision la plus importante est de vérifier les conditions de possibilité de flambement. -- Pour cela, les études de Dischinger sont toujours fondamentales. Ce problème est d'autant plus important que la flêche est plus -

réduit, du fait qu il augmente dans ce sens la poussée et, en -- plus, les termes hyperstatiques dus à nos agents et à l'affaissement des appuis. Pour supprimer ces termes, il y avait pour norme courante d'avoir recours à l'arc à trois articulations, mais cela aggrave les conditions d'instabilité, car son coefficient - de flambement dans la théorie de Dischinger est environ le tiers de celui correspondant à celui de l'arc encastré. En outre, la - déformabilité par fluage donne lieu à une réduction relative de la flèche plus grande que pour les surbaissements normaux, raison pour laquelle les conditions d'instabilité s'aggravent dans une plus grande proportion. Cela a été l'une des epériences les plus vives et dramatiques que Freyssinet a éprouvée en 1905 lors de - l'exécution de ses ponts de la Veurdre, où il a appliqué, pour - la première fois, le décintrement à l'aide de vérins, lesquels - ont sauvé la structure. Crâce à ceux-ci, il a pu, lui-même, une année plus tard, redresser la clé, dont l'affaissement lent --- aurait eu pour effect l'effondrement du pont.

Une autre advertissement de nos phénomènes est celle d'apporteraux arcs très súrbaissés la solution d'arcs tympans qui, en donnant des sections beaucoup plus grandes, réduisent les déformations unitaires, d'où le raccourcissement de la directrice.

Les articulations des ponts en arcs en béton ont également dérivé des ponts métalliques mais il'y'a aussi la disposition en étranglement de la section. En général, comme les forces transmises sont très importantes, lesrevêtements métalliques sur les -- surfaces de transmission, et même sur les parements, sont bien - appropriés. Une précontrainte dans les deux directions perpendiculaires à l'axe peut être également fort utile.

EDIFICES

Pour les structures du bâtiment, type réticulaire spatiale, la solution adoptée a été d'atténuer les effets de nos phénomènes par la subdivisión en parties, découpant l'ensemble en halls oú les élongations ne s'accumulent pas jusqu'à produire des flexions importantes aux piliers et poutres. En réalité, l'effet important réside aux niveaux inférieurs et atteint presque exclusivement les piliers, l'effet maximum se manifestant aux piliers - périmétraux. Si la structure émerge du sol, l'influence s'exerce presque uniquement sur ceux du niveau inférieur, dont les pieds restant pratiquement immobiles du fait qu'ils sont encastrés ---

dans les fondations, tandis que leurs extrémités sont soumises aux élongations subies par les planchers à partir du centre élastique de l'ensemble de leur sections. Si la structure comporte des niveaux au-dessous du rez-de-chaussée, nous aurons une situation intermédiaire en passant des zones en sous-sol, où le cycle thermique est plus réduit, aux niveaux supérieurs déjà soumis au cycle normal.

Aux niveaux intermédiaires, comme tous les planchers se trouvent dans des conditions analogues, les piliers ne sont pas sollicités à la flexión, les déplacement de pieds et de têtes pratiquement égaux.

Par la subdivisión en halls ayant des longueurs qui dépendent des conditions climatologiques et, très particulièrement, des conditions hygrothermiques (en Espagne, la longueur type est de 40 m.), les effets de nos agents peuvent être négligés avant de les prendre en considération pour le calcul, mais il est nécessaire de vérifier la régularité des réticules et la situation de creux dans les planchers. Un cas typique de manque de précaution, qui ne passe pas inaperçu à nos actions, est de laisser de côté les piliers courts intercalés, pour irrégularité de hauteurs particulièrement aux niveaux inférieurs. L'effort tranchant qui correspond à la flexión pour déplacement des têtes peut être tellement ample qu'elle suit metériellement le pilier en question.

Dans quelques cas exceptionnels, il convient de parvenir à des longueurs de planchers supérieurs à la longueur type, par exemple, lorsqu'il faut déplacer les efforts du vent à des noyaux spécialement destinés à leur résister. Dans ce cas, il sera nécessaire d'étudier l ossature spatiale et de déduire les efforts en poutres et piliers, ce qui est réalisé, en toute son ampleur, à l'aide des ordinateurs électroniques.

La manière la plus simple d'effectuer la subdivisión en halls consiste à utiliser les plans d'union entre les différents corps d'un édifice, ou bien couper transversalement l'un de ces corps, lorsqu'il sera excessivement long. Le plus normal, c'est que les plans de coupe coincident avec ceux de quelque portique, qui devient double, bien qu'en réduisant les largeurs de poutres et de piliers. Lorsque l'apparition d'un pilier coupé par la moitié ou apparemment plus gros n'est pas compatible avec le bon aspect de l'intérieur, on a alors recours à la coupure entre pi-

liers, en divisant les poutres par la section moyenne et en --- laissant, si possible, les deux moitiés en console, ou, quand la portée est importante, en coupant les poutres vers le quart de - la portée, et en effectuant l'asemblage à mi-bois tout en laissant une articulation de glissement, qui doit être proprement -- placée, car, sinon, des déchirures peuvent se produire, lesquelles enlaidissent l'aspect, bien que cela n'ait pas d'importance structurale.

Les plans de joint doivent être matérialisés, tant à la -- structure qu'à tout autre élément additionnel. Si cette condition n'est pas observée, la división se ferait automatiquément par de fissures irrégulières.

Dans les batiments en tour, des problemes de fluage peuvent se presenter dans le cas de noyan central de grand hauteur, si - la distribution de charge permanent n'est pas symmetrique. Le -- probleme est plus grave dans le cas de tour avec planchers suspendus, du fait de que toutes les charges sont transmises par le -- noyau.

COUVERTURES

Pour les grandes couvertures isostatiques, il est nécessaire d'assurer leur fonctionnement correct à partir des supports, les mouvements étant très importants quand les portées sont considérables. A Madrid, une couverture à fermes métalliques s'est effondrée sur salle de théâtre quelques jours avant son inaguration, du fait qu'un parcours insuffisant avait été prévu pour les articulations de glissement qui, lors d'une baisse brusque de température, épuisèrent complèment la zone d'appui des poutres de - support. Un motif pareil a donné lieu à grande catastrophe de la gare de Lisbonne, il y a peu d'années.

Dans le cas le plus géneral de structures hyperstatiques et particulièrement dans le cas de voiles minces, le problème le -- plus important est de faire face à des variations excessives de forme par l'action du fluage. Il est évident que dans une structure que nous pourrions désigner comme résistante par la forme, la perte lente de celle que nous aurious conçue et construite au début, avec des contre-flèches normales, mettra en état défavorable de travail à la structure obtenue au bout de deux ou trois - ans.

Le problème s'est posé, dans la première décade de cette - type de structure, quand le fluage avait déjà surgi comme une action importante dans le domaine des structures en béton, bien -- qu'à peine dominée seulement pour les structures linéaires. Et les conséquences de son action étaient d'autant plus dangereuses qu'elles pouvaient conduire à des situations catastrophiques -- lorsque la structure serait en usage, sans pouvoir être sûrs de son fonctionnement par un essai de sa résistance lors de sa mise en service. Le cas s'aggrave pour les surfaces à courbure simple comme les voiles cylindriques, puisqu'un aplatissement local -- peut provoquer le flambement de la structure lorsqu'il se répand de long d'une de ses génératrices. Sous cet aspect, ce sont les surfaces à double courbure qui résultent les plus efficaces, dans lesquelles non seulement les déformations tant élastiques que de fluage sont plus réduites, mais encore tout voilement local serait confiné dans un contour fermé. Une solution très efficace - pour les structures à courbure simple consiste à disposer des -- nervures en direction des génératrices.

BARRAGES

Dans les structures volumétriques, comme les murs et les -- barrages, les effets de nos sollicitations sont maximaux et l'énergie mise en jeu est extraordinaire, raison pour laquelle il faut suivre rigoureusement le développement du phénomène. Pour les -- murs, il est nécessaire d'adopter un système de joints de contraction placés à des distances relativement courtes (moins de - 8 m. en Espagne), qui peuvent être les mêmes joints de construction à surfaces delimitées pour qu'ils se manifestent a l'exterieur en lignes verticales, rendus étanches généralement á leur intérieur.

Dans le cas de barrages, il est indispensable d'effectuer - une construction par des tranches transversales avec des joints radiaux en tant que système principal, complété, lorsque les - épaisseurs l'exigent, par des joints longitudinaux, ou dans le - plus général, par une construction de chaque tranche èn blocs - parallélépipèdes qui s'imbriquent entre eux conformément à un -- programme de construction très étudié. La distance entre les -- tranches ne dépasse pas généralement 15 m., et la grandeur des - blocs 9 x 9 m.

Les tranches restent isolées jusqu'à la fin de l'ouvrage -- pour se fermer par injection dans tour les cas, lorsqu'il s'agit de barrages-voûte, puisqu'elles doivent se prêter, comme des -- voussoirs, au système de travail en arcs horizontaux. S'il s'agit de barrages-poids, deux critères s'avèrent pour le traitement -- des tranches, soit l'injection des joints comme ceux des barrages-voûte formant un seul bloc face à la poussée de l'eau, soit le fait de les laisser libres; dans ce cas, ils fonctionnent comme des tranches indépendantes. Il ne faut pas attirer l'attention sur l'importance que correspond l'étanchéité des joints, assurée à l'aide de couvre-joints en caoutchouc synthétique ou polyvinyle.

En réalité, le ton de ce système de joints ordonnés dans -- les directions principales avait été déja donné par la Nature -- dans la formation des systèmes de diaclases lors du refroidissement des roches ignées.

Le phénomène du retrait d'un massif est si important, qu'on a été poussé à l'attaquer, dés le début, dans sa production elle même, en fabriquant des ciments á faible chaleur de prise et en réduisant la température de la masse par réfrigération de l'intérieur à travers un réseau de tuyaux qui, en dégageant de grandes quantités de chaleur, abaissent la température maximale atteinte.

FINAL

Nous allons terminer par un résumé de l'etat actuel de la - question au point de vue des facilités du calcul.

Changements de temperature et retrait sont considerés dans le calcul, presque toujours, conjointement, comparant le second a une diminution de temperature, çet item a eté toujours classique dans le calcul des structures hyperstatiques.

La mise en consideration du fluage dans le calcul normal -- des ouvrages apartient a une epoque beaucoup plus récènte. Dans une prêmiere etape aux années 30 on a eu compte mais d'une façon plutot qualitative, qoique la consideration de la redistribution dans les piliers de béton armé a conduit a un premier calcul a la rupture de çes elements dans quelques reglaments nordiques. Dans cette premiére etape les travaux de Freyssinet a partir du pont de Plougastel et ceus de Faber, Whitney, Davis et Shank ont conduit a des diagrammas experimentales, utilisables.

Après, dans une seconde etape nous devons mentioner les -- etudes de Dischinger, Leonhardt et A.D. Ross qui ont eté tres in

teresants dans le projet du béton precontraint.

Au moment present l´incorporation au calcul normale est de-- finitivament acompli avec la publication des Recomandations pour le calcul et Execution des ouvrages en béton du Comité CEB-FIP. On etudie l´evolution du phénomene au moyen du coefficient de dé formation, lequel est fontion d´autres cinq coeffients que sont: conditions climatiques, durçisement a l´age de la mise en charge, composition du béton, epaisseur fictive et variation en fonction du temps. Ceux cinq coefficients son donnés en diagrammas.